

## DIVERSIDADE FITOPLANCTÔNICA E TRAÇOS FUNCIONAIS EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DE UMA ÁREA DE PRESERVAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO

**ANNY KELLY NASCIMENTO RIBEIRO**

**JASCIELI CARLA BORTOLINI**

Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Campus Samambaia, Avenida Esperança, s/n, 74.690-900, Goiânia, Goiás, Brasil, annykelly@discente.ufg.br

**Resumo:** As áreas de conservação desempenham um papel importante para conter a perda de habitat e a biodiversidade. No entanto, pouco se sabe sobre a influência dessas áreas nos ecossistemas aquáticos e, principalmente, na comunidade fitoplanctônica. Aqui, exploramos a riqueza, abundância e traços funcionais do fitoplâncton em diferentes ecossistemas aquáticos em uma área protegida em Niquelândia, Goiás (no Cerrado brasileiro). Nós amostramos quatro lagoas, seis riachos e um rio, durante a estação chuvosa e registramos 78 táxons. Nas lagoas predominaram as algas verdes, flagelados mixotróficos e desmídias, enquanto nos riachos e rio predominaram as diatomáceas, as algas verdes e os flagelados mixotróficos. Diferenças entre ambientes lóticos e lênticos foram evidenciadas, para riqueza e densidade, tanto para táxons quanto para traços funcionais. Os traços funcionais mais frequentes nas lagoas foram flagelos e mixotrofia, enquanto que nos riachos e rio, a presença de sílica também foi importante. A maioria das algas registradas foram unicelulares, nanoplanctônicas e com células ovóides e esféricas. Assim, avaliar a diversidade fitoplanctônica é o primeiro passo para o monitoramento de ecossistemas aquáticos em áreas de conservação e para a avaliação de seus efeitos nesses ambientes. Portanto, com esses resultados será possível comparar ecossistemas em áreas protegidas com ecossistemas semelhantes em áreas desprotegidas.

**Palavras-chave:** áreas de conservação, biodiversidade, fitoplâncton, traços funcionais.

### PHYTOPLANKTON DIVERSITY AND FUNCTIONAL TRAITS IN AQUATIC ECOSYSTEMS IN A CONSERVATION AREA IN THE BRAZILIAN SAVANNA

**Abstract:** Conservation areas plays a major role to contain the habitat's loss and biodiversity. However, it's barely known about the influence of these areas on aquatic ecosystems, and especially on the phytoplankton community. Here, we explore phytoplankton richness, abundance and functional traits in different aquatic ecosystems in a protected area in Niquelândia, Goiás (in the Brazilian Savana). We sampled four lagoons, six streams and one river, during the rainy season and recorded 78 taxa. In the lagoons, green algae, mixotrophic flagellates and desmids predominated, while in the streams and rivers, diatoms, green algae and mixotrophic flagellates predominated. Differences between lotic and lentic environments were evidenced, for richness and density, both for taxa and functional traits. The most frequent functional traits in the lagoons were flagella and mixotrophy, while in the streams and river, the presence of silica was also important. Most of the algae recorded were unicellular, nanoplanktonic and with ovoid and spherical cells. Thus, assessing phytoplankton diversity is the first step for monitoring aquatic ecosystems in conservation areas and for evaluating their effects on these environments. So, with these results it will be possible to compare ecosystems in protected areas with similar ecosystems in unprotected areas.

**Keywords:** biodiversity, conservation areas, functional traits, phytoplankton.

## INTRODUÇÃO

O estudo da biodiversidade aquática é um elemento chave para compreender como a heterogeneidade de habitats influencia a diversificação de nicho e a partição de recursos, e, conseqüentemente, a organização das comunidades biológicas nas diferentes escalas de espaço e tempo. No entanto, nos dias atuais, múltiplos estressores têm afetado os ecossistemas aquáticos, interferindo de forma direta na sua organização e funcionamento (Hillebrand et al. 2018). Assim, a perda de biodiversidade e a consequente perda de serviços ecossistêmicos destaca a importância de ações para prevenir a degradação ambiental e a extinção das espécies (Berkes, 2009). Neste sentido, as áreas de proteção ambiental são essenciais para a conservação desta biodiversidade (Di Minin et al., 2017).

No entanto, pouco se sabe sobre a influência dessas áreas sobre a diversidade aquática, especialmente de microalgas. Estes microrganismos podem ser usados como importantes indicadores ambientais, provendo informações da dinâmica e da saúde ambiental dos ambientes aquáticos em áreas de preservação. O fitoplâncton, por exemplo, é um prático modelo para estudos desta natureza, uma vez que apresenta curto tempo de geração de suas populações, rápida resposta às mudanças ambientais (Reynolds, 2006), e alta diversidade de traços funcionais relacionados a história de vida, comportamento, fisiologia e morfologia (Reynolds et al., 2002; Litchman Klausmeier, 2008; Padisák et al., 2009; Kruk et al., 2010), que refletem diretamente a heterogeneidade e a variabilidade ambiental. Além disso, uma fração importante da produção primária dos sistemas aquáticos é efetuada pelas algas planctônicas, exercendo uma grande influência sobre as redes tróficas aquáticas e a estruturação das funções ecossistêmicas.

Desse modo, avaliar a diversidade e estrutura da comunidade fitoplanctônica nestas áreas pode ser um importante passo na investigação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos, os quais podem apresentar diferentes características na paisagem, como tamanho, fluxo da água, turbidez, concentrações de nutrientes, dentre outros, influenciando diretamente na disponibilidade de recursos e nichos, e conseqüentemente na organização e estrutura da comunidade fitoplanctônica (Burson et al., 2018; Sherman et al., 2016; Reynolds, 1998). Portanto, a integração de informações sobre a biodiversidade em diferentes ambientes dentro de áreas de preservação é essencial para a compreensão das funções e serviços ecossistêmicos, bem como no fortalecimento das estratégias de manejo e conservação.

O objetivo foi avaliar a estrutura da comunidade fitoplanctônica em diferentes ecossistemas aquáticos na área de preservação ambiental Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás. Assim, nós avaliamos a variabilidade espacial da riqueza e abundância taxonômica e dos traços funcionais fitoplanctônicos em ambientes lênticos e lóticos. Os traços funcionais do fitoplâncton avaliados estiveram relacionados com história de vida, comportamento, fisiologia e morfologia dos organismos. Por fim, esperamos que o levantamento desses dados forneça uma importante base para futuras pesquisas e comparações com outros ecossistemas, bem como forneça subsídios para estratégias de manejo e conservação de ecossistemas aquáticos em áreas de preservação.

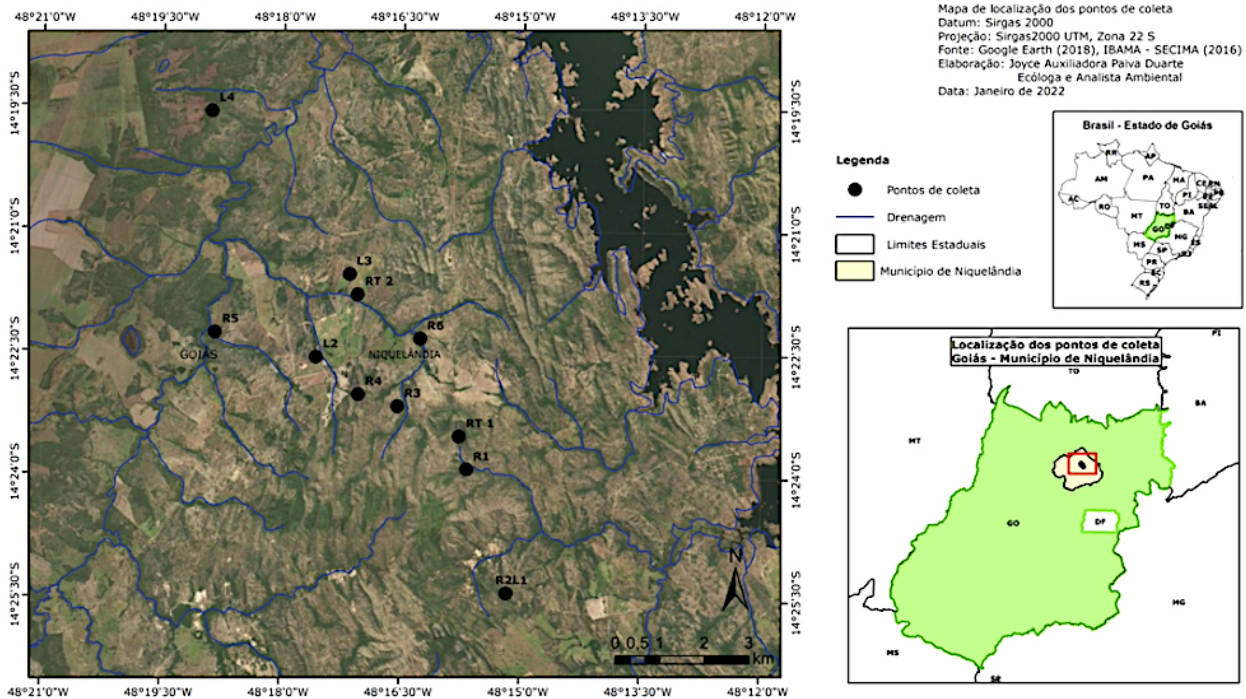
## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo foram analisadas amostras da comunidade fitoplanctônica coletadas em diferentes ecossistemas aquáticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável (RPDS) Legado Verdes do Cerrado, situada no município de Niquelândia, Goiás, a qual compreende cerca de 325 km<sup>2</sup> pertencentes à Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) (Fig. 1). Da área desta RPDS, 270 km<sup>2</sup> são destinados à preservação e 50 km<sup>2</sup> ao ecoturismo, agricultura e pecuária de maneira sustentável (Costa et al., 2017). Na região da RPDS Legado Verdes do Cerrado o clima é do tipo AW com pluviosidade média de 1,400 mm, temperatura média entre 25° - 27 °C, umidade relativa do ar entre 77% a 51% durante o período chuvoso e seco, respectivamente, e altitude entre 550 e 660 m (IBGE, 2002; Cardoso et al., 2014).

Os principais rios que circundam a RPDS são os rios do Peixes, São Bento e Traíras, tendo este último uma extensão de cerca de 90 km, sendo responsável por abastecer o município de Niquelândia, Goiás. Para o rio Traíras, recentemente Silva et al. (2020) analisaram a qualidade da água em trechos localizados na área da RPDS Legado Verdes do Cerrado. No entanto, estudos que tratam da diversidade fitoplanctônica dos corpos d'água localizados dentro da RPDS são inexistentes.

As amostragens da comunidade fitoplanctônica foram realizadas uma vez durante um período chuvoso, em 11 ambientes aquáticos situados dentro da RPDS, sendo quatro lagoas (L1, L2, L3, L4), seis riachos (R1, R2, R3, R4, R5, R6) e um rio (RT1 E RT2) (Fig. 1). Em cada ambiente foram amostrados um local, exceto no rio, onde foram amostrados dois locais distintos, totalizando 12 amostras. As lagoas amostradas estão isoladas na paisagem, não possuindo nenhuma conectividade, além de não



**Fig. 1.** Mapa da área de estudo e locais de amostragem na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Fig. 1.** Map of the study area and sampling sites in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás state, Brazil.

possuírem vegetação aquática e apresentarem águas túrbidas. Os riachos são ecossistemas de pouca profundidade, com águas claras e vegetação ciliar circundante, muitas vezes sombreados. O rio Traíras possui duas nascentes que afloram dentro da RPDS, tendo o curso do rio cerca de 92 km de extensão dentro da reserva, com águas com a presença de material em suspensão, túrbidas, e circundado por vegetação de Cerrado (Silva et al., 2020).

**COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA**

As amostragens da comunidade fitoplanctônica para o estudo qualitativo e quantitativo foram realizadas diretamente com frascos à subsuperfície e fixadas *in situ* com lugol acético (Bicudo & Menezes, 2017). Para a análise das amostras, estimamos a densidade fitoplanctônica mediante o uso de um microscópio invertido, segundo o método de Utermöhl (1958). O volume sedimentado foi definido de acordo com a concentração de algas e/ou detritos presentes na amostra e o tempo de sedimentação conforme a altura da câmara de sedimentação, sendo de, pelo menos, três horas para cada centímetro de altura da câmara (Margalef, 1983). O cálculo dos valores de densidade foi realizado de acordo com APHA (2005), sendo os resultados expressos em indivíduos (células,

colônias ou filamentos) por mililitros, considerando-se as formas em que as algas ocorrem na natureza.

A identificação dos táxons foi realizada seguindo o proposto em Bicudo & Menezes (2017), bem como em artigos científicos especializados, sempre ao menor nível taxonômico possível de gênero ou espécie. Para ajudar na compreensão dos resultados, nós agrupamos os organismos identificados em: cianobactérias (Cyanobacteria), algas verdes (Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Klebsormidiophyceae), diatomáceas (Bacillariophyceae, Mediophyceae), flagelados mixotróficos (Euglenophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae e Chrysophyceae), xantofíceas (Xanthophyceae) e desmídias (Zygnematophyceae).

Os traços funcionais avaliados são aqueles que refletiram além da morfologia, também a fisiologia, comportamento e história de vida das algas planctônicas de acordo com Litchman & Klausmeier (2008). Assim, para cada táxon encontrado foram identificados a capacidade mixotrófica, presença de flagelo, presença de sílica, forma de vida (unicelular, colônia ou filamento), forma da célula (ov: ovoide; esf: esférica; lanc: lanceolada; cil: cilíndrica; elip: elíptica; ob: oblonga; lun: lunada; sub: sub-



retangular; fus: fusiforme; trian: triangular; pol: poliédrica; hel: helicoidal; romb: romboide; subsf: subesférica; aci: acicular; poli: poligonal), e a classe de tamanho (nanoplâncton ou microplâncton). Para as classes de tamanho nós adotamos Reynolds (2006).

As variáveis das comunidades analisadas foram a riqueza total de táxons (por ambiente), densidade total de organismos (por ambiente) e a densidade e riqueza de cada grupo taxonômico (por ambiente). As informações de traços funcionais foram organizadas como riqueza de cada traço (número de táxons com um traço particular em cada ambiente) e a densidade de cada traço (soma dos táxons que apresentaram um traço particular por ambiente).

#### ANÁLISE DOS DADOS

A riqueza de espécies foi considerada como o total de táxons identificados por amostra. Para analisar os dados de riqueza e abundância dos táxons e traços funcionais identificados, nós aplicamos as seguintes análises: (i) *Índice de diversidade de Shannon* – a fim de avaliar a diversidade e equabilidade da comunidade fitoplanctônica em cada ecossistema aquático; (ii) *Análise de Cluster* – para avaliar a similaridade entre os locais amostrados em função da densidade e riqueza taxonômica. Para os dados de densidade nós aplicamos à distância de Bray-Curtis, enquanto para dados de presença e ausência nós aplicamos à distância de Jaccard. Para ambos nós aplicamos o método Single Linkage; (iii) *Análise de Variância (ANOVA one-way)* – para testar a existência de diferenças significativas da riqueza e densidade totais e de cada grupo taxonômico, bem como da riqueza e densidade de cada um dos tipos de traços funcionais, entre os ambientes lênticos e lóticos. Para a ANOVA os dados foram transformados e os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram verificados. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2017), com os pacotes vegan (Oksanen et al., 2019), ggplot2 (Wickham, 2016) e gg dendro (Vries, 2020).

#### RESULTADOS

Foram registrados um total de 78 táxons, distribuídos nos seguintes grupos taxonômicos: algas verdes (Chlorophyceae – 22 táxons; Trebouxiophyceae – 4 táxons; Klebsormidiophyceae – 1 táxon), cianobactérias (Cyanobacteria – 9 táxons), diatomáceas (Bacillariophyceae – 14 táxons; Mediophyceae – 2 táxons), flagelados mixotróficos (Euglenophyceae – 11 táxons; Cryptophyceae – 4 táxons; Dinophyceae – 2 táxons; Raphidophyceae – 1 táxon; Chrysophyceae – 1 táxon), desmídias (Zygnematophyceae – 4 táxons) e xantofíceas (Xanthophyceae – 3

táxons). Os gêneros com os maiores números de táxons registrados foram *Trachelomonas* Ehrenberg, 1894, e *Monoraphidium* Komárková-Legnerová, 1969 com sete e seis táxons, respectivamente, e que estiveram presente em todas as lagoas e em um riacho. O gênero *Chlamydomonas* Ehrenberg, 1833, foi o mais frequente, com 60% de frequência de ocorrência nas amostras analisadas.

Os maiores valores de densidade e riqueza de táxons foram registrados nas lagoas (Tab. 1, Fig. 2). Em relação à riqueza, nós observamos a maior contribuição de táxons do grupo das algas verdes e flagelados mixotróficos nas lagoas, riachos e rio, além de importante contribuição de diatomáceas nos riachos e rio (Fig. 2A). Já para a densidade fitoplanctônica foi registrada a maior contribuição dos grupos de algas verdes, desmídias e flagelados mixotróficos principalmente nas lagoas (Fig. 2B). O táxon de maior contribuição para a densidade fitoplanctônica foi o microplanctônico *Cosmarium* Corda ex Ralfs, 1848, registrado principalmente nas lagoas. Em relação ao índice de Shannon-Weaver nós verificamos que os maiores valores foram registrados nas lagoas (L3 e L4). Em relação a equitabilidade, os maiores valores foram verificados nos riachos e rio, e os menores valores nas lagoas (Tab. 1).

De acordo com a análise de Cluster, nós verificamos tanto para a riqueza (Fig. 3A) quanto para a densidade (Fig. 3B) taxonômica, uma clara separação dos ambientes lênticos e lóticos. Para a riqueza, foi possível observar uma dissimilaridade maior do riacho R3 para os demais, e uma similaridade entre as lagoas. Para a densidade foi possível observar também uma similaridade entre as lagoas, e uma relativa semelhança entre os riachos e rio, com exceção do riacho R3, o qual foi o mais diferente de todos.

Em relação aos traços funcionais, a presença de flagelo e mixotrofia foram dominantes em riqueza tanto nas lagoas como riachos e rio, enquanto a presença de sílica foi dominante nas lagoas e riachos (Fig. 4A). Para a densidade ocorreu uma maior contribuição de flagelos e mixotrofia especialmente nas lagoas (Fig. 4B). As formas de vida foram predominantemente unicelulares, em todos os ambientes, seguidos das colônias e menos representativos os filamentos (Fig. 4C e 4D). Em relação ao tamanho, as espécies nanoplanctônicas foram predominantes em densidade especialmente nas lagoas (Fig. 4E e 4F). As formas das células ovóides e esféricas foram predominantes na riqueza e na densidade (Fig. 5A e 5B).

De acordo com as análises de variância foram verificadas diferenças significativas entre os ambientes lênticos e lóticos para os valores

**Tab. 1.** Locais, coordenadas geográficas, tipo de ambiente, riqueza total de táxons, densidade total de táxons (ind.mL<sup>-1</sup>), diversidade de Shannon-Weaver e equitabilidade nos diferentes ambientes aquáticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil. TA: tipo de ambiente; R: riqueza; D: densidade (ind.mL<sup>-1</sup>); S: diversidade de Shannon-Weaver; J: equitabilidade.

**Tab. 1.** Sampling locations, geographic coordinates, environment type, total phytoplankton richness, total phytoplankton density (ind.mL<sup>-1</sup>), Shannon-Weaver diversity and equitability in different aquatic environments in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás, Brazil. TA: type of environment; R: richness; D: density (ind.mL<sup>-1</sup>); S: Shannon-Weaver diversity; J: evenness.

Local	Coordenadas Geográficas	TA	R	D (ind.mL <sup>-1</sup> )	S	J
R1	143985 S 482613 O	Lótico	5	128	1,49	0,92
R2	144123 S 482556 O	Lótico	4	96	1,24	0,89
R3	143858 S 482758 O	Lótico	4	64	1,38	1,00
R4	143834 S 482840 O	Lótico	2	80	0,67	0,97
R5	14371 S 48314 O	Lótico	10	496	2,07	0,90
R6	14372 S 482712 O	Lótico	7	128	1,90	0,97
RT 1	143918 S 482629 O	Lótico	3	96	0,86	0,78
RT 2	143631 S 482843 O	Lótico	6	128	1,66	0,93
L1	144236 S 482528 O	Lêntico	31	10688	1,39	0,40
L2	143759 S 482929 O	Lêntico	15	2816	1,59	0,58
L3	14359 S 482860 O	Lêntico	19	1296	2,29	0,77
L4	143260 S 48315 O	Lêntico	27	8288	2,38	0,72

13

de riqueza total ( $p < 0,01$ ), bem como para a densidade fitoplanctônica total ( $p < 0,01$ ) (Tab. 2). Foi verificado também diferenças entre os ambientes lênticos e lóticos em relação aos gru-

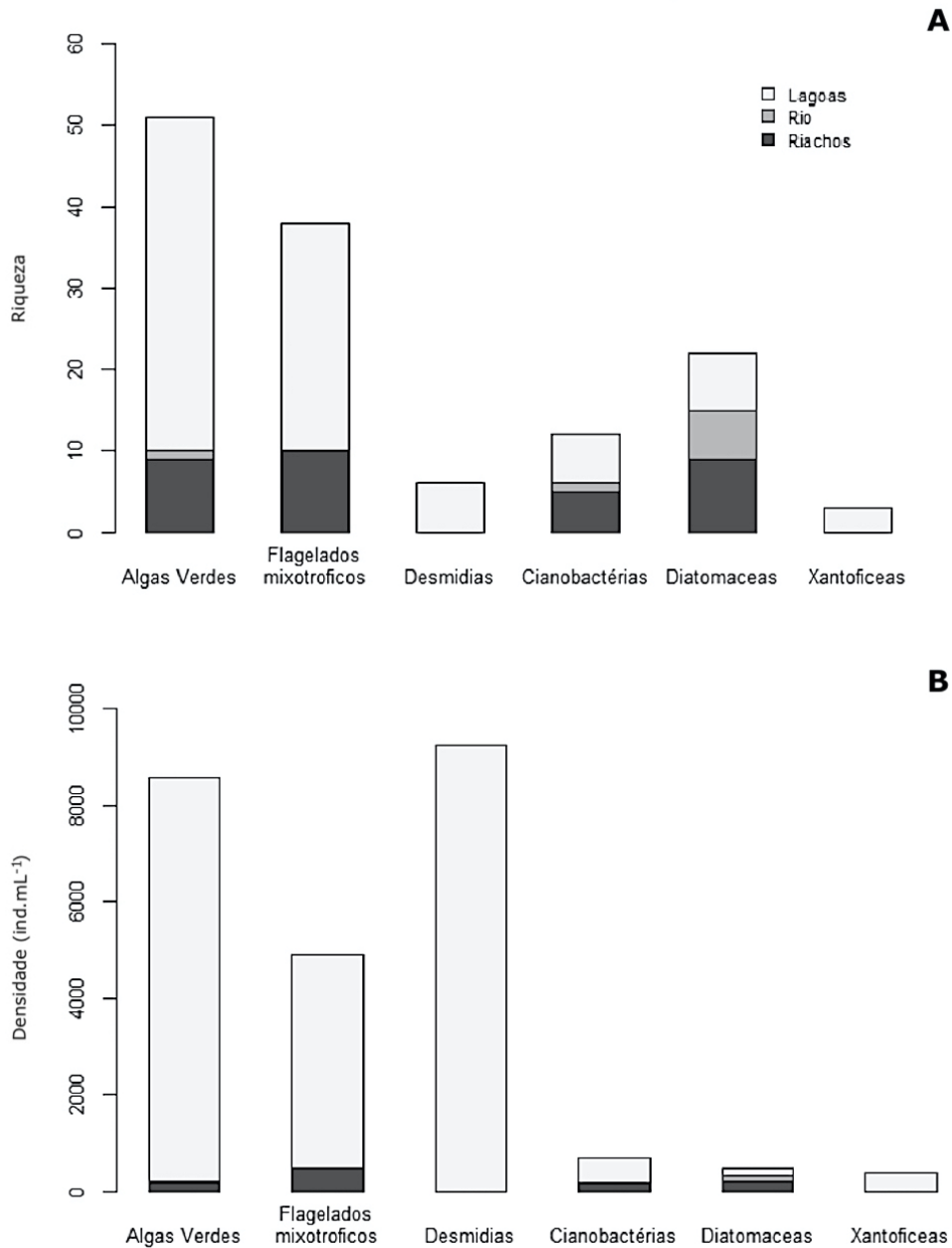
pos taxonômicos, tanto para a riqueza quanto para a densidade de cada grupo (Tab. 3).

Em relação a riqueza de cada tipo de traço funcional, foram verificadas diferenças signifi-

**Tab. 2.** Resultados da Análise de Variância realizada para os diferentes atributos fitoplanctônicos entre ambientes lênticos e lóticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Tab. 2.** Analysis of Variance results performed for the different phytoplanktonic attributes between lentic and lotic environments evaluated in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás, Brazil.

	Graus de liberdade	F	p
Riqueza total de táxons	11	41,6	<0,01
Densidade total de táxons	11	14,2	<0,01



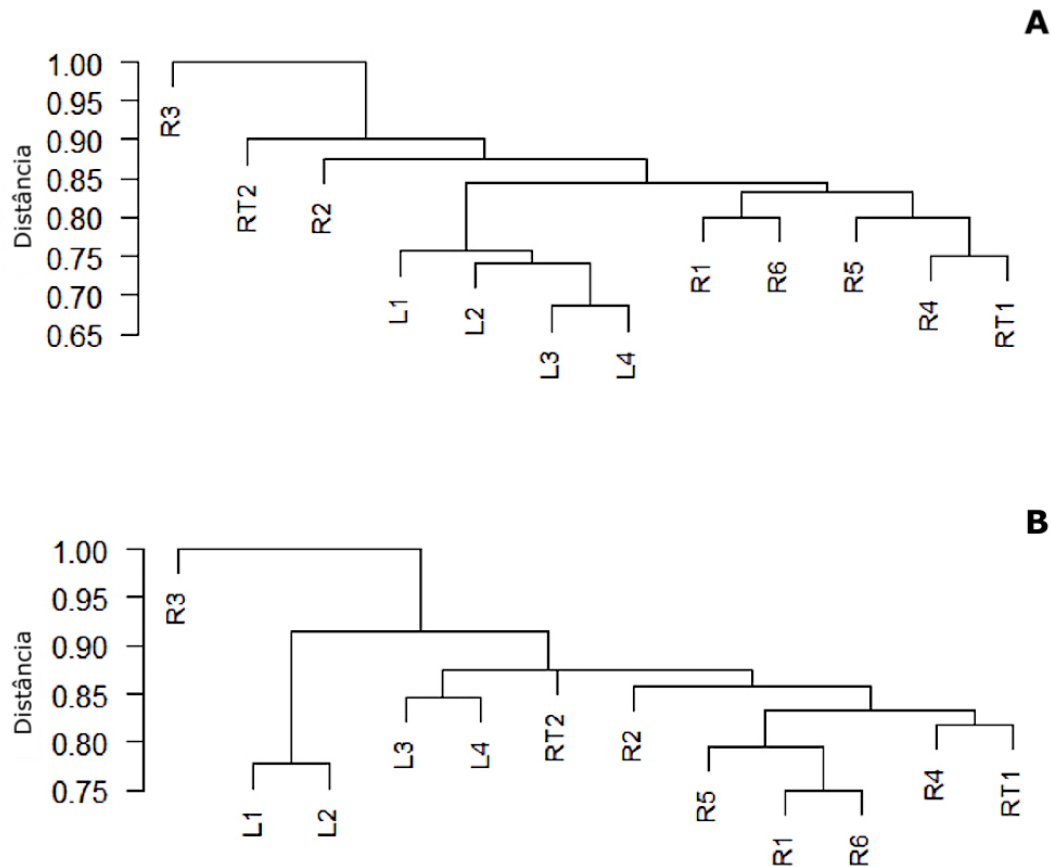
**Fig. 2.** A. Riqueza. B. Densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) fitoplanctônica registrada nos diferentes ambientes na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Fig. 2.** A. Richness. B. Phytoplankton density (ind.mL<sup>-1</sup>) recorded in different environments in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás, Brazil.

ficativas para a presença de sílica, mixotrofia, presença de flagelo e para as formas coloniais e filamentosas. Em relação a densidade de cada tipo de traço funcional, foram verificadas diferenças na densidade de todos os tipos dos traços aferidos entre os ambientes lênticos e lóticos (Tab. 4).

## DISCUSSÃO

Nossos resultados evidenciaram as diferenças da riqueza e abundância fitoplanctônica entre os ecossistemas aquáticos lênticos e lóticos amostrados na RPDS Legado Verdes do Cer-



**Fig. 3.** Análise de Cluster baseada no método de Single Linkage com a similaridade entre os locais amostrados quanto à (A) riqueza (distância de Jaccard) e (B) densidade - ind.mL<sup>-1</sup> (distância de Bray-Curtis) fitoplanctônica na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Fig. 3.** Cluster Analysis based on the Single Linkage method with the similarity between the sampled sites regarding (A) richness (Jaccard distance) and (B) phytoplankton density - ind.mL<sup>-1</sup> (Bray-Curtis distance) in the Private Development Reserve Sustainable Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brazil.

rado. De acordo com nossas análises, foi possível verificar, de maneira geral, a formação de dois grupos distintos contendo as lagoas e outro contendo os riachos e rio. Com isso, nós verificamos a maior contribuição de algas verdes, desmídias e flagelados mixotróficos nos ambientes lênticos, e de diatomáceas nos ambientes lóticos.

Além disso, os traços funcionais analisados também foram importantes para caracterizar os ambientes lênticos e lóticos visto que eles representaram a organização da comunidade. Em nosso estudo, por exemplo, predominaram algas nanoplanctônicas, unicelulares e com formas das células ovoides e esféricas, que auxiliam na flutuação e conseguem garantir um maior sucesso adaptativo na coluna de água aos

indivíduos (Barbosa et al., 2014; Coesel, 1982). O tamanho e a forma influenciam profundamente o desempenho ecofisiológico e a aptidão evolutiva de um organismo, o que sugere uma forte associação entre morfologia e diversidade fitoplanctônica (Ryabov et al., 2021).

O fitoplâncton compreende um sistema ideal para testar abordagens baseadas em traços, pois possuem traços relativamente simples e definidos que determinam o nicho ecológico, e que refletem tanto as funções relacionadas à aquisição de recursos quanto à predação (Lürling, 2021; Weithoff & Beisner, 2019). Portanto, avaliar a presença e abundância dos traços funcionais da comunidade fitoplanctônica pode ser uma importante abordagem que ajude a explicar a variância da

**Tab. 3.** Resultados da Análise de Variância realizada para avaliar as diferenças na riqueza e densidade dos grupos taxonômicos entre os ambientes lênticos e lóticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Tab. 3.** Analysis of Variance results performed for evaluate the richness and density differences of the phytoplanktonic groups between lentic and lotic environments in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás, Brazil.

	Riqueza			Densidade		
	Graus de liberdade	F	p	Graus de liberdade	F	p
Cianobactérias	11	18,7	<0,01	11	12,3	<0,01
Algas verdes	11	9,5	<0,01	11	8,42	<0,01
Diatomáceas	11	11,1	<0,01	11	11,1	<0,01
Flagelados mixotróficos	11	28,9	<0,01	11	30,7	<0,01
Desmídias	11	16,3	<0,01	11	25,8	<0,01
Xantofíceas	11	13,7	<0,01	11	13,7	<0,01

**Tab. 4.** Resultados da Análise de Variância realizada para avaliar diferenças dos traços funcionais fitoplanctônicos entre os ambientes lênticos e lóticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Tab. 4.** Analysis of Variance results performed to evaluate differences of the phytoplanktonic functional traits between lentic and lotic environments in the Private Sustainable Development Reserve Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brazil.

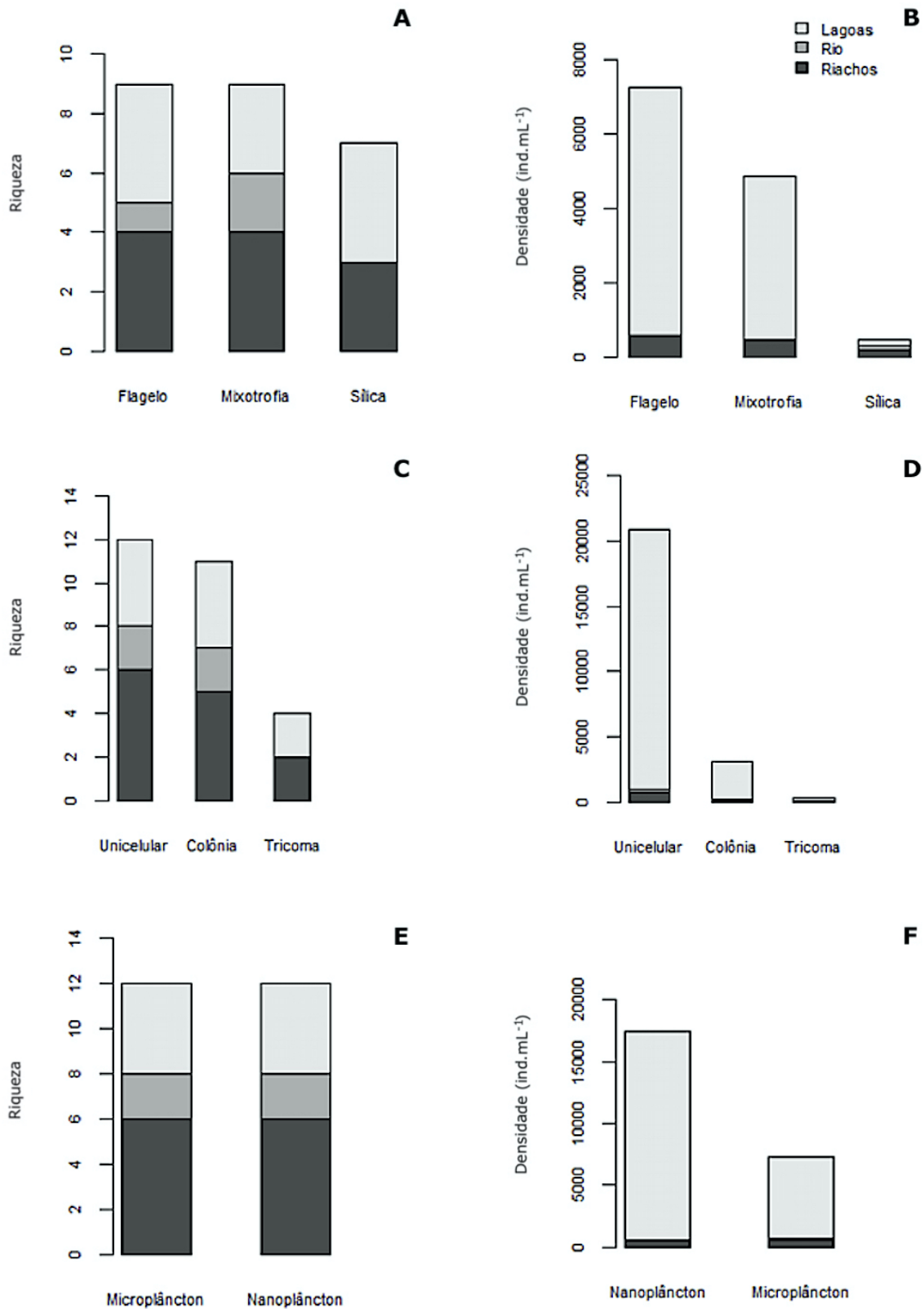
	Riqueza			Densidade		
	Graus de liberdade	F	p	Graus de liberdade	F	p
Mixotrofia	11	17,9	<0,01	11	23,5	<0,01
Sílica	11	11,1	<0,01	11	10,9	<0,01
Flagelo	11	13,5	<0,01	11	56,2	<0,01
Colonial	11	4,12	<0,05	11	244,6	<0,01
Filamento	11	9,4	<0,01	11	14,4	<0,01
Unicelular	11	0,0	>0,05	11	43,5	<0,01
Nanoplâncton	11	0,0	>0,05	11	46,1	<0,01
Microplâncton	11	0,0	>0,05	11	9,63	<0,01

comunidade e seu estado ecológico.

As lagoas foram marcadas principalmente pela maior riqueza e densidade fitoplanctônica, com contribuição de algas verdes, flagelados mixotróficos e desmídias. As algas verdes com-

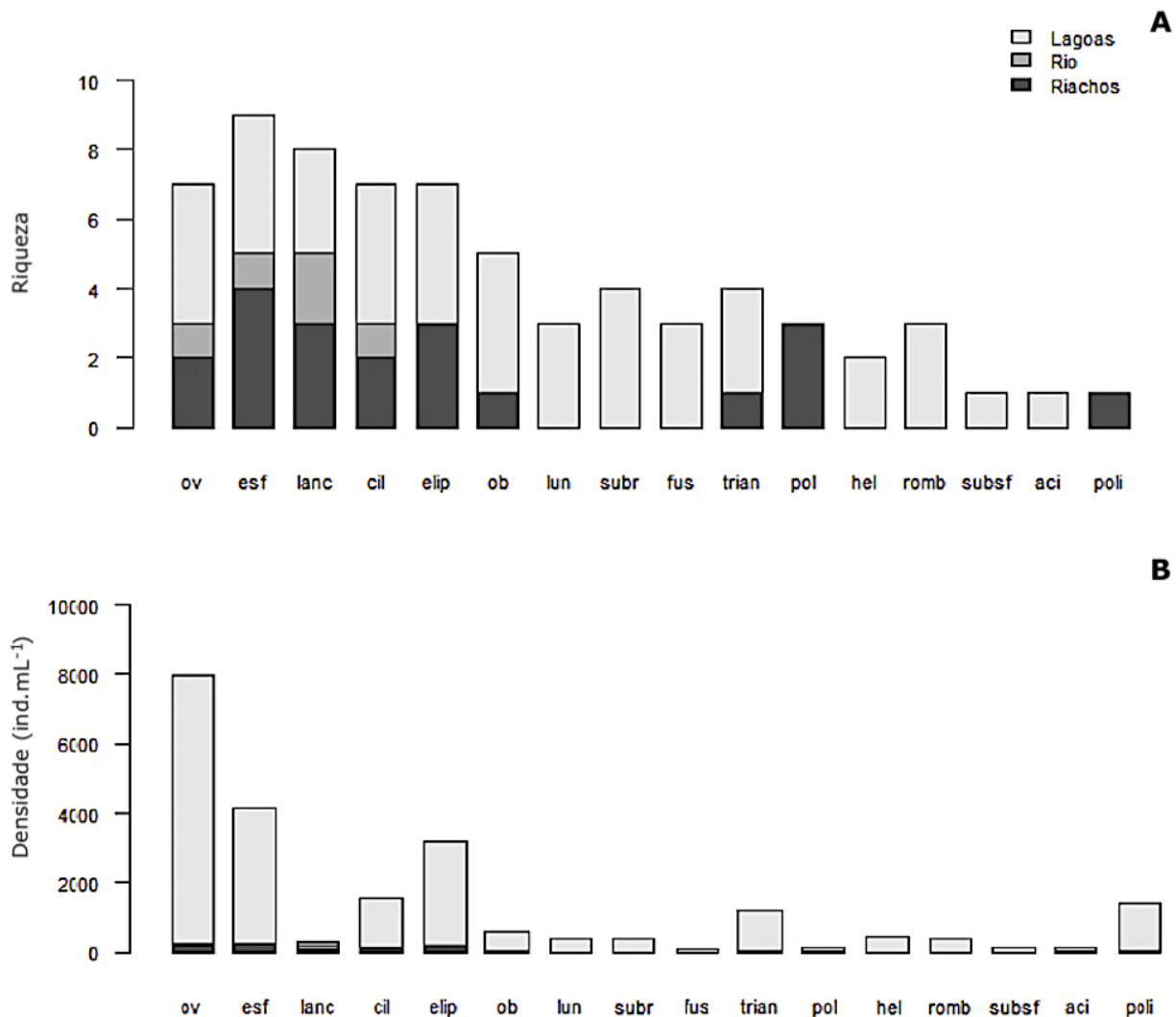
preendem um grupo altamente diverso em termos morfológicos, fisiológicos e ecológicos, incluindo uma vasta gama de arranjos celulares e estruturais (Komárek & Fott, 1983), com uma ampla distribuição geográfica além de serem





**Fig. 4.** Riqueza e densidade de traços funcionais das comunidades fitoplanctônicas registradas nos diferentes ambientes aquáticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil.

**Fig. 4.** Functional traits richness and density in phytoplanktonic communities registered in different aquatic environments in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás state, Brazil.



**Fig. 5.** A. Riqueza. B. Densidade da forma das células das comunidades fitoplanctônicas registradas nos diferentes ambientes aquáticos na Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável Legado Verdes do Cerrado, Niquelândia, Goiás, Brasil. ov: ovoide; esf: esférica; lanc: lanceolada; cil: cilíndrica; elip: elíptica; ob: oblonga; lun: lunada; subr: sub-retangular; fus: fusiforme; trian: triangular; pol: poliédrica; hel: helicoidal; romb: romboide; subsf: subesférica; aci: acicular; poli: poligonal.

**Fig. 5.** A. Richness. B. Density of cell shape of phytoplankton communities registered in different aquatic environments in the Legado Verdes do Cerrado Private Sustainable Development Reserve, Niquelândia, Goiás, Brazil. ov: ovoid; esf: spherical; lanc: lanceolate; cil: cylindrical; elip: elliptical; ob: oblong; lun: lunar; subr: sub rectangular; fus: fusiform; trian: triangular; pol: polyhedral; hel: helical; romb: rhomboid; subsf: sub-spherical; aci: needle; poli: polygonal.

consideradas o grupo mais diverso de algas com importância na produção de biomassa (Bellinger & Sigeo, 2010).

Em nosso estudo, as algas verdes estiveram representadas principalmente por organismos unicelulares e coloniais sem traços especializados. No entanto, nós registramos o

táxon nanoplanctônico *Chlamydomonas* sp. com grande contribuição em abundância, especialmente nas lagoas L3 e L4. Este táxon possui flagelo, o que influencia diretamente na motilidade no ecossistema aquático, o que pode auxiliá-lo na migração pela coluna d'água e garantir vantagem na busca pela captação da luz, man-

tendo sua função na produtividade do ecossistema. A motilidade por sua vez, que está relacionado ao comportamento do organismo, dentre outras características do fitoplâncton, são conservadas dentro de amplas linhagens evolutivas (Litchman & Klausmeier, 2008).

As desmídias, por sua vez, não apresentaram expressivo número de espécies, entretanto, apresentaram alta contribuição para a densidade, especialmente na lagoa L1, devido à alta contribuição de *Cosmarium* sp. O gênero *Cosmarium*, que possui células unicelulares, na maioria das vezes mais longas do que largas, com uma variada forma de suas células e tamanho, é um dos mais antigos gêneros de desmídias e também o que possui o maior número de táxons descritos, e embora seus representantes habitem preferencialmente ambientes de águas ácidas e limpas, várias espécies têm sido encontradas em ambientes alcalinos e ricos e matéria orgânica (Bicudo & Menezes, 2017). A presença de desmídias no ambiente pode ser um indicativo de um bom estado de conservação do ambiente, visto que apesar da plasticidade de suas características tais como processos, espinhos dentre outros, elas ainda estão muito suscetíveis às mudanças ambientais (Wilbraham, 2020). Geograficamente, o grupo das desmídias, é um dos mais bem estudados, devido à sua aparência muitas vezes atraente com muitas formas exóticas e surpreendentes (Coesel & Krienitz, 2008).

A presença de algas com potencial mixotrófico, que é um importante traço fisiológico e comportamental (Litchman & Klausmeier, 2008), pode ser explicada pela capacidade destes indivíduos em tolerar uma ampla faixa de condições ambientais, podendo ser classificados como oportunistas (Reynolds, 1997). Estudos sugerem que a mixotrofia pode ser uma estratégia importante em ecossistemas aquáticos de pouca luz e alta turbidez inorgânica, mesmo que tenham altas concentrações de nutrientes (Costa et al., 2019), como possivelmente ocorra nas lagoas, onde foram registradas as maiores contribuições do grupo.

Este grupo de algas, além do potencial mixotrófico, também exibem traços morfológicos como flagelo e possuem uma ampla variabilidade de tamanhos e formas das células, sendo majoritariamente unicelulares, o que pode auxiliar a sua permanência e motilidade pela coluna de água (Abonyi et al., 2018; Ryabov et al., 2021). Esses traços morfológicos associados a capacidade mixotrófica implicam diretamente nas funções ecológicas de aquisição de recursos, o que garante a sobrevivência e reprodução destes organismos no ambiente (Litchman & Klausmeier, 2008). Em nosso estudo, os organismos mixotróficos incluíram grupos variados como euglenófitas, criptófitas, crisófitas e

dinoflagelados. Este último grupo, teve grande representatividade em abundância nas lagoas L1 e L2, devido à presença do táxon *Parvodinium umbonatum* (F.Stein) Carty. Este táxon tem ampla distribuição em ecossistemas aquáticos continentais brasileiros (Cavalcante et al., 2017).

Nos riachos e no rio foram registradas as menores riquezas e abundâncias de táxons. Nestes ambientes, além da contribuição de flagelados mixotróficos e algas verdes, nós registramos uma maior contribuição das diatomáceas. As diatomáceas foram predominantemente da zona epilimnica, unicelulares, microplanctônicas e com formas lanceoladas, sendo a maioria diatomáceas penadas. Muitas espécies de diatomáceas são consideradas boas bioindicadoras de qualidade da água e estado trófico em ambientes lóticos (Freitas et al., 2021; Lobo, 2016; Pan et al., 1996), além de serem elementos-chave nestes ambientes (Lengyel et al., 2020). A presença de sílica foi um traço bastante relevante nos ambientes lóticos, o que se pode atribuir a predominância de diatomáceas nestes ecossistemas.

Em suma, as comunidades fitoplanctônicas se diferiram entre os ambientes lênticos e lóticos, tanto na riqueza quanto na densidade. Nos ambientes lênticos, foi possível observar uma maior predominância de algas verdes, flagelados mixotróficos e desmídias, com organismos principalmente unicelulares e nanoplanctônicos. Já nos ambientes lóticos foi possível observar a predominância das diatomáceas, unicelulares microplanctônicas com a marcante presença de sílica. As comunidades observadas representam adequadamente ambientes conservados, não eutrofizados. Embora nós não tenhamos avaliado as condições ambientais dos ecossistemas, nós supostamente atribuímos as diferenças às dissimilaridades entre as características hidrológicas e abióticas dos ecossistemas. Assim, nós sugerimos, a partir dos nossos resultados, a ampliação dos estudos, a fim de avaliar as condições ambientais locais e a relação com a comunidade fitoplanctônica.

Nós enfatizamos a importância de se conhecer a biodiversidade em áreas de preservação, a fim de obter um panorama dos efeitos da conservação para a diversidade de espécies aquáticas. Além disso, uma vez que, estudos sobre mudanças climáticas têm se tornado cada vez mais recorrentes e seus efeitos sobre a comunidade fitoplanctônica já podem ser evidenciados (Henson et al., 2021; Winder & Sommer, 2012), estes resultados podem contribuir para as tomadas de decisão no manejo dos ambientes visando a conservação e preservação dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade de ecossistemas aquáticos nestas áreas.

## AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos a Universidade Federal de Goiás pela bolsa de iniciação científica concedida à primeira autora, bem como pela infraestrutura disponível. Nós também agradecemos à FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Goiás) pelo financiamento do projeto de pesquisa "BIODIVERSIDADE, ENDEMISMO E CONSERVAÇÃO NA RESERVA PARTICULAR DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL LEGADO VERDES DO CERRADO, NIQUELÂNDIA, GOIÁS, BRASIL", do qual este estudo fez parte. Também agradecemos ao apoio logístico nas coletas fornecido pela equipe do LEGADO VERDES DO CERRADO.

## REFERÊNCIAS

- Abonyi, A., Z. Hory & R. Ptlacnik.** 2018. Functional richness outperforms taxonomic richness in predicting ecosystem functioning in natural phytoplankton communities. *Freshw. Biol.* 63(2): 178-186.
- APHA.** American Public Health Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21 ed. Washington, American Public Health Association.
- Barbosa, L. G., G. J. M. Araujo, F. A. R. Barbosa & C. E. M. Bicudo.** 2014. Morphological variation in *Staurastrum rotula* (Zygnemaphyceae, Desmidiaceae) in the deepest natural Brazilian lake: essence or accident?. *Braz. J. Biol. Sci.* 74(2): 371-381. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.24412>
- Berkes, F.** 2009. Indigenous ways of knowing and the study of environmental change. *J. R. Soc. N. Z.* 68(14): 3697-3699.
- Bellinger, E. G. & D. C., Sigeo.** 2010. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. Chichester, Wiley Blackwell.
- Bicudo, C. E. M. & M, Menezes.** 2017. Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil – Chave para Identificação e Descrições. São Paulo, Rima.
- Burson, A., M. Stomp, E. Greenwell, J. Grosse & J. Huisman.** 2018. Competition for nutrients and light: testing advances in resource competition with a natural phytoplankton community. *Ecology.* 99(5), 1108-1118.
- Cardoso, M. R. D., F. F. N. Marcuzzo & J. R. Barros.** 2014. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geo.* 8(16): 40-55. DOI: [10.5654/actageo2014.0004.0016](https://doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016)
- Cavalcante, K. P., S. C. Craveiro, A. J. Calado, T. A. Ludwig & L. D. S. Cardoso.** 2017. Diversity of freshwater dinoflagellates in the State of Paraná, southern Brazil, with taxonomic and distributional notes. *Fottea.* 17(2): 240-263.
- Coesel, P. F.** 1982. Structural characteristics and adaptations of desmid communities. *J. Ecol.* 70: 163-177. DOI: <https://doi.org/10.2307/2259871>
- Coesel, P. F. M. & L. Krienitz.** 2008. Diversity and geographic distribution of desmids and other coccoid green algae. pp. 147-158. In: Foissner, W. & D. L. Hawksworth. Proxist Diversity and Geographical Distribution. Dordrecht, Springer.
- Costa, M. R. A., Menezes, R. F., Sarmiento, H., Attayde, J. L. Stemberg, L. S. L. & V. Becker.** 2019. Extreme drought favors potential mixotrophic organisms in tropical semi-arid reservoirs. *Hydrobiologia.* 831: 43-54.
- Costa, W., E. Barbosa, R. Crysthian, F. Popov & B. Cabral.** Retorno da Votorantim para Niquelândia. O Hoje, Goiânia, Goiás, 1 e 2 de abril de 2017. Disponível em <<http://www.flip.ohoje.com>>. Acesso em 10 mar. 2020.
- Di Minin, E., A. Soutullo, L. Bartesaghi, M. Rios, M. N. Szephegyi & A. Moilanen.** 2017. Integrating biodiversity, ecosystem services and socio-economic data to identify priority areas and landowners for conservation actions at the national scale. *Biol. Conserv.* 206: 56-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.037>
- Freitas, N. C. W., C. G. Heinrich, T. Etges, G. de Souza Celente & E. A. Lobo.** 2021. Assessment of potential reference sites for evaluating the ecological status of subtropical and temperate Brazilian lotic systems using the epilithic diatom community. *Environ Sci Pollut Res Int.* 28(7): 8698-8708. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11136-w>
- Henson, S. A., B.B. Cael, S.R. Allen & S. Dutkiewicz.** 2021. Future phytoplankton diversity in a changing climate. *Nat. Comm.*, 12(1): 1-8.

- Hillebrand, H., B. Blasius, E.T. Borer, J.M. Chase, J.A. Downing, B.K. Eriksson, C. Filstrup, W. Harpole, D. Hodapp, S. Larsen, A. Lewandowska, E. Seabloom, D. Van de Waal, A. Ryabov & A.B. Ryabov.** 2018. Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *J. Appl. Ecol.* 55(1): 169-184. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12959>
- IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. Área territorial oficial. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 mar. 2020.
- Lengyel, E., B. Szabo & C. Stenger-Kovacs.** 2020. Realized ecological niche-based occupancy-abundance patterns of benthic diatom traits. *Hydrobiologia.* 847(14): 3115-3127. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04324-9>
- Lobo, E. A., C. G. Heinrich, M. Schuch, C. E. Wetzel & L. Ector.** 2016. Diatoms as Bioindicators in Rivers. pp. 245-271. In: Necchi JR, O. (Ed.). *River Algae*. Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1_11)
- Lüring, M.** 2021. Grazing resistance in phytoplankton. *Hydrobiologia.* 848(1): 237-249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04370-3>
- Litchman, E. & C. A. Klausmeier.** 2008. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39: 615-639. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173549>
- Komárek, J. & B. Fott.** 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Chlorococcales. pp. 1-1044. In: Huber-Pestalozzi G., H. Heynig & D. Mollenhauer. (Eds.) *Das Phytoplankton des Süßwasser: systematik und biologie*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Kruk, C., V. L. M. Huszar, E. Peeters, S. Bonilla, L. Costa, M. Lurling, C. Reynolds & M. Scheffer.** 2010. A morphological classification functional variation in phytoplankton. *Freshw. Biol.* 55: 614-627. DOI: [10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x)
- Margalef, R.** 1983. *Limnología*. Barcelona, Omega.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner.** 2019. *Vegan: Community ecology package*. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html> Acesso em 06 mar. 2021.
- Padisák, J., L. O. Crossetti & L. Naselli-Flores.** 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia.* 621(1): 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>
- Pan, Y., R. J. Stevenson, B. H. Hill, A. T. Herlihy & G. B. Collins.** 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems: a regional assessment. *J. North Am. Benthol. Soc.* 15(4): 481-495. DOI: <https://doi.org/10.2307/1467800>
- Ryanobv, A., O. Kerimoglu, E. Litchman, I. Olenina, L. Roselli, A. Basset, E. Stanca & B. Blasius.** 2021. Shape matters: the relationship between cell geometry and diversity in phytoplankton. *Ecol. Lett.* 24(4): 847-861.
- Reynolds, C. S.** 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status?. *Hydrobiologia.* 369: 11-26.
- Reynolds, C. S.** 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Germany, Ecology Inst.
- Reynolds, C. S., V. L. M. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo.** 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24(5): 417-428. DOI: <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Reynolds, C.** 2006. *Ecology of phytoplankton*. New York, Cambridge University Press.
- Shannon, C. E. & W. Weaver.** 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- Sherman, E., J. K. Moore, F. Primeau & D. Tanouye.** 2016. Temperature influence on phytoplankton community growth rates. *Global Biogeochem. Cycles.* 30(4): 550-559.

**Silva, C. M. S., W. S. Rezende & M. A. S. Sales.** 2020. Análise da qualidade da água do rio Traíras na Reserva Legado Verdes do Cerrado (LVC). *Novos Cadernos NAEA*. 23(1): 81-105.

**Utermöhl, H.** 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9: 1-39. DOI: <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>

**Vries, A.** 2020. 'ggdendro': Create Dendrograms and Tree Diagrams Using 'ggplot2'. Disponível em: <<https://github.com/andrie/ggdendro>>. Acesso em 20 fev. 2020.

**Weithoff, G. & B. E. Beisner.** 2019. Measures and approaches in trait-based phytoplankton community ecology—from freshwater to marine ecosystems. *Front. Ecol. Environ.* 6: 40.

**Wickham, H.** 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York, Springer-Verlag. Disponível em: <<https://ggplot2.tidyverse.org>>. Acesso em 20 fev. 2020.

**Wilbraham, J.** 2020. Conservation challenges for a microscopic world: Documenting desmids. *Br. Psychol. Soc.* Disponível em: <<https://nhm.openrepository.com/handle/10141/622867>>. Acesso em 20 jun. 2020.

**Winder, M. & U. Sommer.** 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*. 698(1): 5-16.

**Editor Científico / Scientific Editor:** Carla Kruk, Universidad de la Republica, Uruguay  
**Recebido / Recibido / Received:** 07.10.2021  
**Revisado / Revised:** 09.05.2022  
**Aceito / Aceptado / Accepted:** 17.05.2022  
**Publicado / Published:** 24.05.2022  
**DOI:** <https://doi.org/10.5216/rbn.v19i1.70501>  
**Dados disponíveis / Datos disponibles / Available data:** Repositório não informado