

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Ciências Biológicas - Bacharelado

**ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE UMA DOLINA
CÁRSTICA INUNDADA**

Regiane dos Santos Dias

DOURADOS - MS
2024

REGIANE DOS SANTOS DIAS

**ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE UMA DOLINA
CÁRSTICA INUNDADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais
Bacharelado, como parte da exigência para obtenção
do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Giaretta de Oliveira

DOURADOS - MS

2024

REGIANE DOS SANTOS DIAS

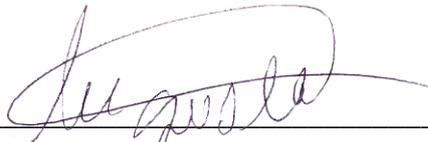
**ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE UMA DOLINA
CÁRSTICA INUNDADA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, da Universidade Federal da Grande Dourados.

Orientador: Augusto Giaretta de Oliveira

Aprovado em: *04 de março de 2024*

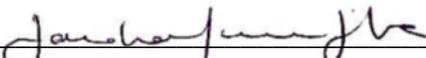
BANCA EXAMINADORA



AUGUSTO GIARETTA DE OLIVEIRA
Presidente



MARIANA MACIEL MONTEIRO
Membro



SANDRO MENEZES SILVA
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, principalmente ao meu pai (in memoria) que sempre me incentivou nos estudos e por ajudar a despertar o carinho pela biologia em mim desde criança, e a minha mãe e irmãs por todo amor e apoio nos momentos difíceis.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Augusto Giaretta, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade e pela paciência e conselhos ao longo da orientação, e por ter aceitado a minha sugestão para trabalhar com macrófitas aquáticas, mesmo não sendo muito a sua área. Fico muito grata pelo apoio e incentivo a este estudo. E aos demais professores, principalmente Claudio Arcanjo, Joelson Pereira, Josué Raizer, Sandro Menezes pelos ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Aos meus amigos de graduação Amanda Araújo, Danielle Fernandes, Elis Adomaitis, Gabrielli Duarte, Gabrieli Notário, Luciana da Cruz, Monique Lopes Bicudo e Raquel Layna com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formanda, e pelo suporte em momentos delicados. Gostaria de agradecer também a minha colega de graduação Isabela Caroline por ter me incentivado a trocar a área de exatas para ciências biológicas. Fico muito grata pelo incentivo e companheirismo na troca de curso. Agradeço também aos colegas que ajudaram na realização da amostragem deste trabalho, disponibilizando seu tempo e indo até a área de estudo.

Agradeço a UFGD e FCBA, pois foram essenciais no meu processo de formação profissional e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso e a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, participando de forma direta ou indiretamente do desenvolvimento desta pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a realização da análise fitossociológica e do levantamento da composição florística das macrófitas aquáticas da dolina cárstica Lagoa Misteriosa (LM), localizada no município de Jardim (MS). A amostragem da comunidade de macrófitas foi realizada durante dois anos, de outubro de 2021 a setembro de 2023, monitorada a cada 2 meses. As amostragens foram realizadas na porção sul da LM, por ser a margem que incide mais luz solar. Foram utilizadas parcelas de 0,5 x 0,5 m, intervaladas por 1 m entre si. Foi incluída toda cobertura vegetal na área de projeção vertical das parcelas até a profundidade de 1 m. Os parâmetros fitossociológicos da comunidade foram obtidos utilizando a cobertura, frequência e valor de importância (VI). Foram alocadas entre 32 e 39 parcelas em 12 amostragens. As espécies registradas foram: *Chara rusbyana* (Characeae), *Chrysohypnum elegantulum* (Hypnaceae), *Heteranthera zosterifolia* (Pontederiaceae), *Leptodictyum riparium* (Amblystegiaceae), *Pistia stratiotes* (Araceae) e um tipo de alga filamentosa. As espécies possuem forma de vida submersa fixa, exceto *Pistia stratiotes* e a espécie de alga filamentosa, as quais possuem forma de vida flutuante livre. A partir dos parâmetros fitossociológicos foram realizadas uma análise de regressão linear e a Análise de Componentes Principais, com o objetivo de correlacionar estes dados às variáveis de pluviometria, nível de água e visibilidade. A cobertura de macrófitas tende ao aumento no período eutrófico da LM, o que sugere que estas espécies possam ter se tornado mais tolerantes ao acréscimo de nutrientes e baixa visibilidade, devido à constante perturbação de eutrofização que ocorre na LM. O fenômeno observado infere uma adaptação das macrófitas ao ambiente alterado.

Palavras-chave: água doce, eutrofização, fitossociologia, plantas aquáticas.

ABSTRACT

This study aimed to perform a phytosociological analysis and survey the floristic composition of aquatic macrophytes in Lagoa Misteriosa (LM), located in the municipality of Jardim (MS). Sampling of the macrophyte community was conducted over two years, from October 2021 to September 2023, with sampling occurring every 2 months. Samples were taken in the southern portion of LM, as it receives more sunlight. Plots measuring 0.5 x 0.5 m, spaced 1 m apart, were used. All vegetative cover within the vertical projection area of the plots up to a depth of 1 m was included. Phytosociological parameters of the community were obtained using coverage, frequency, and importance value (IV). Between 32 and 39 plots were allocated in 12 samplings. The recorded species included *Chara rusbyana* (Characeae), *Chryso-hypnum elegantulum* (Hypnaceae), *Heteranthera zosterifolia* (Pontederiaceae), *Leptodictyum riparium* (Amblystegiaceae), *Pistia stratiotes* (Araceae), and a type of filamentous algae. The species have a fixed submerged life form, except for *Pistia stratiotes* and the filamentous algae, which have a free-floating life form. Linear regression analysis and Principal Component Analysis were performed based on the phytosociological parameters to correlate these data with rainfall, water level, and visibility variables. The macrophyte coverage tended to increase during the eutrophic period of LM, suggesting that these species, due to the constant disturbances in LM, may have become more tolerant to nutrient additions and low visibility, becoming better adapted to this environment.

Keywords: aquatic plants, eutrophication, freshwater, phytosociology.

Trabalho de conclusão de curso apresentado no formato de artigo e nas normas da revista
Aquatic Botany

Destaques

- Aumento da cobertura de macrófitas aquáticas no período eutrófico.
- Diminuição da cobertura de macrófitas aquáticas no período oligotrófico.
- Nível de água e pluviometria influenciam a cobertura de macrófitas aquáticas no período eutrófico.
- Visibilidade influencia a cobertura de macrófitas aquáticas no período oligotrófico.

Estrutura da Vegetação de Macrófitas Aquáticas de uma Dolina Cárstica Inundada

Regiane dos Santos Dias ^{a,b*,**}, Augusto Giaretta de Oliveira ^{a,b,c}

^a Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados, Brasil

^b Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA, Dourados, Brasil

^c Herbário DDMS, Dourados, Brasil

Resumo:

Este trabalho teve como objetivo a realização da análise fitossociológica e do levantamento da composição florística das macrófitas aquáticas da dolina cárstica Lagoa Misteriosa (LM), localizada no município de Jardim, Mato Grosso do Sul. As amostras foram coletadas ao longo de dois anos, de outubro de 2021 a setembro de 2023, a cada dois meses, na porção sul da lagoa, onde há maior incidência de luz solar. Utilizaram-se parcelas de 0,5 x 0,5 m, espaçadas por 1 m, abrangendo toda a cobertura vegetal até 1 m de profundidade. Foram registradas entre 32 e 39 parcelas em cada uma das 12 amostragens. As espécies identificadas incluíram *Chara rusbyana*, *Chryso-hypnum elegantulum*, *Heteranthera zosterifolia*, *Leptodictyum riparium*, *Pistia stratiotes* e um tipo de alga filamentosa. A maioria das espécies apresentou forma de vida submersa fixa, exceto *Pistia stratiotes* e a alga filamentosa, que são flutuantes. Parâmetros fitossociológicos como cobertura, frequência e valor de importância foram usados para análise. Uma regressão linear e uma Análise de Componentes Principais foram realizadas para correlacionar esses dados com variáveis como pluviometria, nível de água e visibilidade. A cobertura de macrófitas tendeu a aumentar durante o período eutrófico da LM, sugerindo uma possível adaptação dessas espécies à elevada carga de nutrientes e baixa visibilidade causadas pela eutrofização. Esse fenômeno pode indicar uma adaptação das macrófitas ao ambiente alterado da lagoa.

Palavras-chave: água doce, eutrofização, fitossociologia, plantas aquáticas.

* Autor correspondente em: Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

** Autor correspondente.

Endereço de email: regiane.dias070@academico.ufgd.edu.br

1.INTRODUÇÃO

As macrófitas aquáticas são espécies vegetais visíveis a olho nu (Irgang e Gastal JR., 1996; Xavier et al., 2021), como macroalgas, briófitas, pteridófitas e angiospermas (Nunes e Camargo, 2023), que abrangem vários locais de água doce como rios, lagos, lagoas, pântanos, brejos (Lopes et al., 2015), temporários ou permanentes, e se distribuem principalmente nas porções próximas às margens em ambientes lênticos (Cunha-Santino e Bianchini, 2011). A distribuição de macrófitas em corpos d'água é muito variável, assim como a variedade de hábitos que apresentam, desde submersas, flutuantes, emergentes a anfíbias (Irgang e Gastal JR., 1996; Pompêo, 2017). As macrófitas pertencem a diversos grupos botânicos, sendo que o hábito aquático está presente em cerca de 80 famílias de angiospermas, sendo exclusivo em apenas algumas como Alismataceae, Cabombaceae, Hydrocharitaceae, Nymphaeaceae, Pontederiaceae e Potamogetonaceae (Pott e Pott, 2000). Além de também serem representados por algumas espécies de musgos e algas (Seremin-Dias et al., 1999). Elas também apresentam uma notável capacidade de adaptação (Pompêo, 2017) e desempenham um relevante papel funcional (Bianchini Jr. et al., 2008; Thomaz et al., 2009) na manutenção da biodiversidade de ambientes associados a corpos d'água (Agostinho et al., 2007a; Thomaz et al., 2009).

As macrófitas aquáticas são as principais produtoras de biomassa e matéria orgânica, e por isso sustentam a produção heterotrófica (Esteves, 1988; Rasmussen e Anderson, 2005; Kafer, 2013). Assim, a macrofauna de sistemas lacustres lênticos é particularmente beneficiada por uma maior diversidade de habitats (Rasmussen e Anderson, 2005; Thomaz et al, 2009), refúgios e fonte de alimentos, tanto para os vertebrados quanto para os invertebrados (Kafer, 2013; Esteves, 1998). Muitas macrófitas aquáticas são de interesse econômico e servem como fonte de matéria-prima para produtos de origem apícola, ornamental, têxtil, alimentar, forrageiro, medicinal e despoluidor. Além disso, podem ser utilizadas como algicidas, pois monopolizam os nutrientes disponíveis durante seus períodos de desenvolvimento eliminando muitas algas por competição (Spindola, 2007; Kantek, 2018).

As macrófitas são muito suscetíveis aos fatores bióticos e abióticos, pois são eles que acabam determinando quais espécies e formas de vida colonizam determinado ambiente aquático (Moura e Henry-Silva, 2018). As variações de luminosidade, disponibilidade de nutrientes, temperatura, pH, alcalinidade, salinidade, velocidade das correntes, a variação do nível de água e os elementos da paisagem, como a geomorfologia e o sombreamento, são fatores que influenciam a estrutura das comunidades de macrófitas aquáticas, principalmente das espécies que são fixas ao substrato (Yin et al., 2016; Aoki et al., 2017; Moura e Henry-Silva, 2018). No entanto, os fatores mais relevantes para a diversidade dessas plantas são aqueles relacionados com o movimento da água, disponibilidade de

luz, estrutura do substrato e o conteúdo de nutrientes que são disponibilizados na água (Stefanidis et al., 2019). Adicionalmente, a interação com herbívoros é um importante fator biótico que modula a estrutura destas comunidades (Moura e Henry-Silva, 2018).

Dada a estreita relação de dependência com o ambiente, as macrófitas aquáticas são muito sensíveis ao estresse ambiental (Yang et al., 2020). Dessa maneira, são recorrentemente utilizadas para o monitoramento do estado de conservação dos corpos de água (Stefanidis et al., 2019), pois são consideradas bioindicadoras de extrema importância para a qualidade ambiental. A combinação da diversidade e das características funcionais das macrófitas aquáticas podem ser utilizadas para compreender a dinâmica ecológica dos ecossistemas aquáticos (Zervas et al., 2019). Particularmente, o monitoramento de macrófitas em ambientes lênticos, como lagoas, é um importante indicador para a avaliação ambiental (Kuhar et al., 2007; Demars e Trémolières., 2009; Grinberga, 2011; Steffen et al., 2013). Apesar das macrófitas aquáticas se apresentarem extremamente importantes para estes locais, ainda há poucos estudos entre a relação destas plantas com os ambientes de lagoas (Pott e Pott, 1997), especialmente lagoas originadas de cavernas subterrâneas como a deste estudo.

A Lagoa Misteriosa (LM), localizada no município de Jardim, no Mato Grosso do Sul, é classificada como uma caverna inundada cuja coluna d'água pode atingir mais de 220 m de profundidade (Auler et al., 2011; Dias, 2021). A LM se formou por meio do colapso do teto de uma caverna subterrânea inundada pelo afloramento de águas carbonatadas e límpidas (Coelho, 2008, 2009, Scheffler et al., 2019). A LM se tornou um dos principais pontos turísticos do estado devido à beleza de suas águas cristalinas e de sua paisagem cênica, o que tem contribuído grandemente para a sua preservação.

A turbidez da LM varia sazonalmente, e na estação seca, aproximadamente entre meados de abril e início de outubro, as águas da lagoa permanecem cristalinas e com uma tonalidade azul, com aproximadamente 45 m de visibilidade (Scheffler et al., 2019). Aparentemente, isso implica numa maior densidade de macrófitas aquáticas devido a maior passagem dos raios solares (Coelho, 2009). De maneira alternativa, durante a estação chuvosa, as águas apresentam uma tonalidade esverdeada bem intensa devido a um fenômeno anual de floração de algas e, conseqüentemente, reduz a penetração da luz. O aumento da turbidez da água ocorre, em grande medida, pelo carreamento e depósito de substâncias químicas da área do entorno da LM, especialmente, fósforo e nitrogênio, que gera um ambiente mesotrófico a eutrófico e, portanto, condições favoráveis para floração de microalgas (Scheffler et al., 2019). A porção sul da LM, é caracterizada por possuir uma alta concentração de

macrófitas, pois é a margem que incide a luz solar por mais tempo, ao contrário da porção norte, que em algumas épocas do ano não há praticamente nenhuma incidência direta de luz solar (Coelho, 2009).

Durante o período de seca, os nutrientes que foram levados à lagoa no período chuvoso são sedimentados e não retornam mais à superfície devido a profundidade da lagoa, ocasionando a diminuição do nível de nutrientes na coluna d'água. Como resultado, espera-se um aumento da biomassa das macrófitas aquáticas no período oligotrófico, quando as águas se tornam mais cristalinas e pobres em nutrientes. No entanto, durante o período oligotrófico, geralmente há menor disponibilidade de recursos, o que significa que as macrófitas podem se tornar uma fonte alimentar alternativa para a fauna aquática. A diversidade da fauna subaquática na lagoa é significativa, embora relativamente limitada em termos de espécies, com a documentação de apenas duas espécies de peixes, lambaris, pertencentes à Subfamília Tetragonopterinae (Scheffler et al., 2019). Essas espécies têm como principais fontes alimentares o consumo de fragmentos de macrófitas e algas filamentosas (Caldatto, 2023). Tal evento pode levar a redução na produção de macrófitas durante esse período, já que elas podem ser consumidas pela fauna.

Assim, este estudo visa investigar a hipótese de que há um aumento na cobertura vegetal das macrófitas aquáticas durante o período oligotrófico, por meio da realização de uma análise fitossociológica e levantamento da composição florística das macrófitas aquáticas da dolina cárstica Lagoa Misteriosa (LM)¹. Tal suposição se fundamenta na elevada transparência da água neste intervalo temporal, que propicia vantagens à comunidade de macrófitas, apesar da escassa disponibilidade de nutrientes no ambiente aquático da LM e do aumento do consumo por parte da fauna dessas plantas aquáticas. Além disso, o estudo teve como objetivos específicos catalogar as espécies de macrófitas aquáticas presentes na LM e analisar a variação dos parâmetros fitossociológicos da comunidade de macrófitas ao longo de 12 meses, utilizando medidas de cobertura (absoluta e relativa), frequência (absoluta e relativa) e valor de importância.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na dolina cárstica Lagoa Misteriosa (21°27'30"S e 56°27'12"W) (Fig. 1), localizada no Km 515 da BR 267, próxima a Reserva Particular do Patrimônio Natural Recanto Ecológico Rio da Prata, no município de Jardim, sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul. Este local integra o Carste da Serra da Bodoquena, que inclui mais de 200 cavernas já

¹ LM - Lagoa Misteriosa

catalogadas (Sallun Filho et al., 2010), oferecendo uma ampla variedade de habitats subterrâneos, como sistemas de cavernas freáticas, submersas e secas (Cordeiro et al., 2014). Está localizado na Província Espeleológica da Serra da Bodoquena (Sallun Filho e Karmann, 2007), caracterizada pela presença de calcários dolomíticos cobertos pelos arenitos permo-carboníferos da Formação Aquidauana.

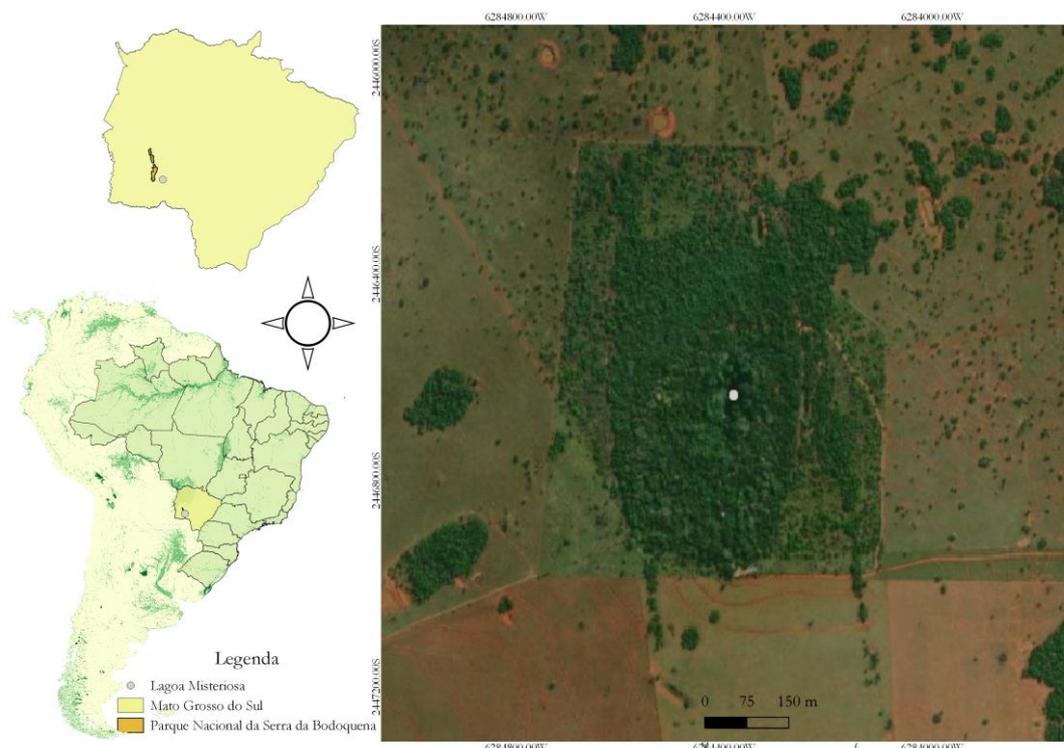


Fig. 1. Área de amostragem, dolina cárstica Lagoa Misteriosa, localizada no Estado do Mato Grosso do Sul.

A LM é uma típica dolina de abatimento, inundada, e que expõe paredes verticais escalonadas de calcário com aspecto marmóreo, permitindo em seu fundo o afloramento do lençol freático em forma de uma lagoa inundada, sendo assim, formada pelo afloramento de águas subterrâneas carbonatadas e límpidas, que acaba formando esta lagoa de cerca de 65 m de comprimento, 24 m de largura e de pelo menos 220 m de profundidade (Coelho, 2008, 2009, Scheffler et al., 2019). A área do entorno da LM apresenta um raio entre 100 e 200 m de vegetação de Floresta Estacional Decidual, que se encontra na depressão até alcançar a lagoa, bem como Savana Florestada (cerradão), distribuída em área plana, mais distante da lagoa. A transparência das águas da LM se deve ao fato de serem calcárias e ricas em carbonatos que acabam formando complexos entre o material em suspensão e os carbonatos dissolvidos que se precipitam (Coelho, 2009).

Segundo Amaral Filho (1989), o clima na região é Termoxeroquimênico atenuado “Tropical Atenuado do Centro-Sul do Mato Grosso do Sul”. A temperatura média do mês mais frio é maior que 15 °C e menor que 20 °C, com período de seca de 3 a 4 meses e precipitações entre 1.200 a 1.500 mm

anuais. Apresenta moderada deficiência de água no inverno, sendo que a evapotranspiração anual é superior a 1.140 mm (Coelho, 2009). O nível da água da LM varia de forma muito rápida de acordo com a pluviometria da área, sendo que o nível máximo anual normalmente é atingido nos meses de março ou abril, devido a maior concentração pluviométrica deste período do ano nos meses de novembro, dezembro e janeiro (Scheffler et al., 2019).

2.2. Amostragem da vegetação e obtenção dos parâmetros físicos da água

As amostragens da comunidade de macrófitas aquáticas ocorreram a cada 2 meses durante dois anos, entre outubro de 2021 a setembro de 2023 nos períodos oligotrófico e eutrófico da LM (Fig. 2), sendo alocadas entre 32 e 39 parcelas, isso devido a variação do nível da água ao longo das 12 amostragens (Tabela 1). Foram utilizadas parcelas de 0,5 x 0,5 m, e intervaladas por 1 m entre si. Devido à flutuação do nível da água durante as amostragens, o ponto inicial não pode ser estabelecido de forma fixa, o que se configura como um fator potencial de interferência nas amostras. Foi incluída toda cobertura vegetal na área de projeção vertical das parcelas até a profundidade de 1 m. As amostragens foram realizadas na porção sul da lagoa (Fig. 3), por ser a margem que incide luz solar por mais tempo e por possuir uma maior concentração de macrófitas.



Fig. 2. Períodos de amostragem (A) no período oligotrófico (O) e (B) no período eutrófico (E), na dolina cárstica Lagoa Misteriosa, Mato Grosso do Sul, Brasil.



Fig. 3. Ponto de Amostragem (PA) correspondente a porção sul da dolina cárstica Lagoa Misteriosa, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Tabela 1. Amostragens com seus respectivos meses, anos, período trófico em que a lagoa se encontrava e a estação. E = eutrófico, O = oligotrófico.

Amostragens	Mês	Ano	Período	Estação
1	Outubro	2021		
2	Dezembro	2021		
3	Fevereiro	2022	E	Chuvosa
4	Abril	2022		
5	Junho	2022		
6	Agosto	2022	O	Seca
7	Outubro	2022		
8	Dezembro	2022	E	Chuvosa
9	Março	2023		
10	Maio	2023		
11	Julho	2023		
12	Setembro	2023	O	Seca

Os parâmetros fitossociológicos da comunidade foram obtidos utilizando a cobertura (absoluta e relativa), a frequência (absoluta e relativa) e o valor de importância (somatória dos valores de

cobertura e frequência relativas). A proporção de cobertura vegetal, ocupando a área da parcela, foi estimada em campo, sempre pelo mesmo membro da equipe, com auxílio de referências métricas sinalizadas nas hastas das parcelas. O reconhecimento das espécies foi realizado em campo. Caso a espécie não pudesse ser reconhecida em campo, foi realizada coleta para morfotipagem e posterior determinação em laboratório. Todo material coletado foi herborizado de acordo com técnicas usuais (Peixoto e Maia, 2013) e depositado no Herbário DDMS, localizado na Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados.

As espécies foram classificadas em campo quanto à sua forma biológica de acordo com a proposta de Irgang e Gastal JR. (1996) (i.e. flutuantes livres, flutuantes fixas, submersas fixas, submersas livres, emergentes, anfíbias e epífitas). As variáveis físicas dos meses amostrados foram fornecidas pela gestão da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cabeceira do Prata e corresponderam à visibilidade horizontal e vertical da água, bem como o nível d'água e à pluviometria. Foram utilizadas a média mensal de cada uma das variáveis referente aos meses de amostragem.

2.3. Análise de dados

Os cálculos relativos aos valores de cobertura e frequência, tanto absoluta quanto relativa, foram realizados por meio de uma planilha eletrônica. A correlação entre a cobertura de todas as espécies e os parâmetros da água, incluindo visibilidade, nível d'água e pluviometria, foi estabelecida a partir dos cálculos dos parâmetros fitossociológicos. Em seguida, procedeu-se à Análise de Componentes Principais (PCA)² para identificar as variáveis correlacionadas, e à regressão linear simples, para examinar a relação entre as variáveis ambientais e a cobertura de macrófitas. Todas as análises foram executadas utilizando o software RStudio, versão 4.2.1 (R Development Core Team, 2023). O pacote FactoMiner foi empregado para a análise de PCA, enquanto as funções *lm()* e *summary()* foram utilizadas para a realização da regressão linear.

3. RESULTADOS

3.1. Variáveis físicas da água e climáticas

Os valores mais elevados com até 63 m de visibilidade horizontal e 52 m de visibilidade vertical foram obtidos no período oligotrófico, enquanto no período meso a eutrófico a visibilidade horizontal e vertical não ultrapassou 5 m (Fig. 4). O nível d'água reduziu paulatinamente desde o início do

² PCA - Análise de Componentes Principais

monitoramento, tendendo ao aumento a partir da oitava amostragem (dezembro/2022/E³), alcançando os menores valores na sexta e sétima amostragens (agosto/2022/O⁴; outubro/2022/E) (Fig. 5).

A pluviometria variou ao longo dos meses de amostragens (Fig. 5). O mês de maior precipitação, referente à primeira amostragem, foi o mês de outubro de 2021, seguido pela sétima (outubro/2022/E) e oitava (dezembro/2022/E) amostragens. Os menores valores de precipitação foram registrados nos meses de fevereiro (terceira amostragem/2022/E), junho (quinta amostragem/2022/O) e julho (décima primeira amostragem/2023/O).

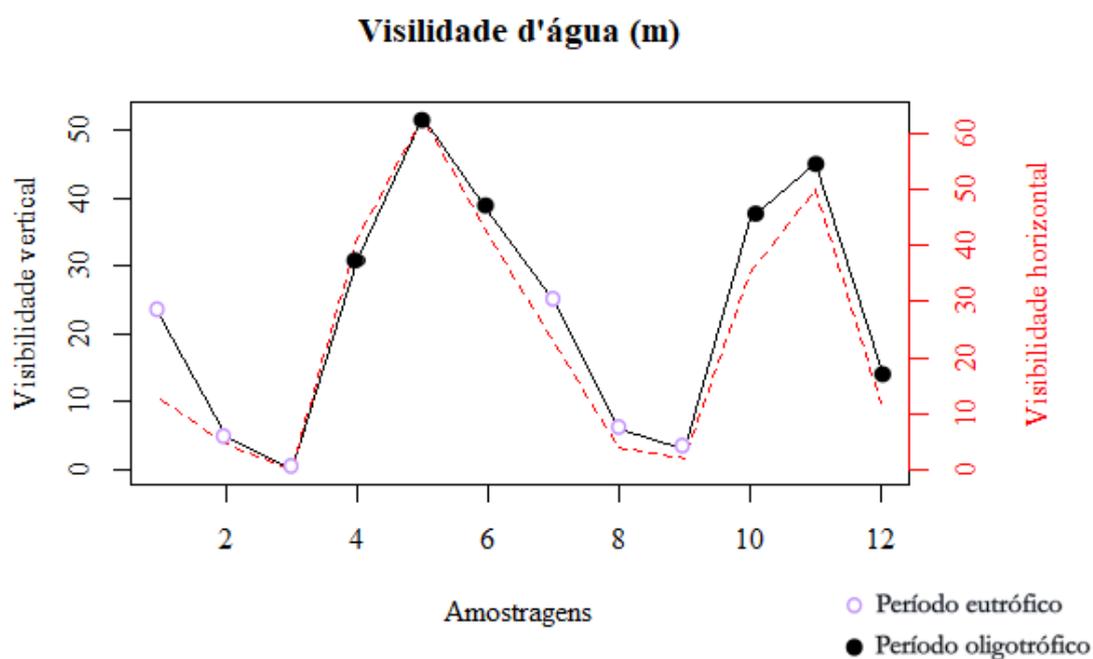


Fig. 4. Visibilidade vertical e horizontal da água ao longo dos meses de amostragens, Caverna Natural Lagoa Misteriosa, Jardim, MS.

³ E - Eutrófico

⁴ O - Oligotrófico

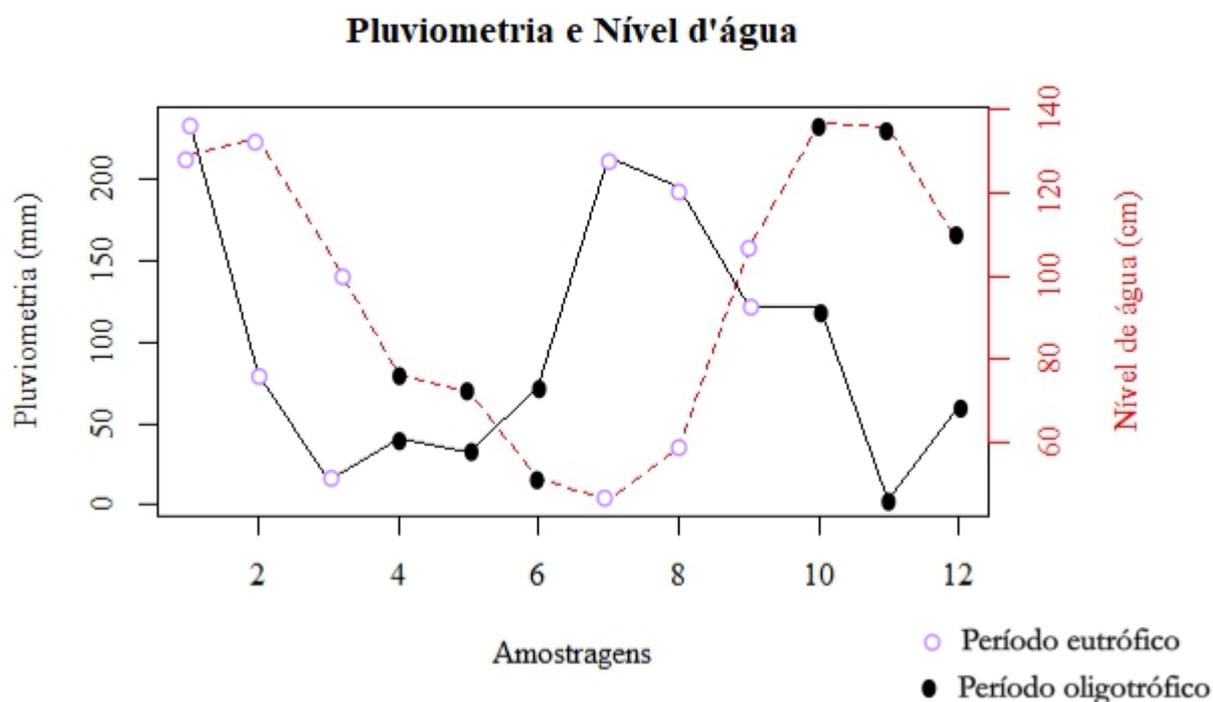


Fig. 5. Nível da água na Caverna Natural Lagoa Misteriosa e pluviometria da região de Jardim, Mato Grosso do Sul.

3.2. Composição florística e estrutura

O levantamento florístico revelou seis espécies de macrófitas aquáticas (Tabela 2), sendo duas angiospermas: *Heteranthera zosterifolia* Mart. (Pontederiaceae) e *Pistia stratiotes* L. (Araceae); dois musgos: *Chryso-hypnum elegantulum* (Hook.) Hampe (Hypnaceae) e *Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst. (Amblystegiaceae); e duas algas: *Chara rusbyana* Howe (Characeae) e uma alga filamentosa. As espécies possuem forma de vida submersa fixa, exceto *Pistia stratiotes* e a alga filamentosa, que possuem forma de vida flutuante livre. As algas filamentosas são uma grande coleção de várias espécies de algas unicelulares constituídas por filamentos finos e verdes, desprovidos de folhas, raízes, caules ou flores, que formam massas verdes e felpudas que podem flutuar livremente ou se manter presas a rochas, detritos ou a outras plantas (Missouri Department of Conservation, s.d).

Tabela 2 - Lista florística das macrófitas aquáticas da Caverna Natural Lagoa Misteriosa, Jardim, Mato Grosso do Sul. FV = Forma de vida. SF = Submersa fixa. LF = Livre flutuante. CA = cobertura absoluta, FA = frequência absoluta, CR = cobertura relativa, FR = frequência relativa, VI = valor de importância.

Espécie	FV	CA	FA	CR	FR	VI
<i>Heteranthera zosterifolia</i> Mart.	SF	3831,09	58,43	38,31	31,91	35,11

<i>Chryso-hypnum elegantulum</i> (Hook.) Hampe	SF	2154,16	43,47	21,54	23,74	22,64
Alga filamentosa	FL	1749,73	23,04	17,50	12,58	15,04
<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.) Warnst.	SF	1474,47	27,79	14,74	15,18	14,96
<i>Chara rusbyana</i> C.Agardh ex Bruzelius.	SF	519,99	13,30	5,20	7,26	6,23
<i>Pistia stratiotes</i> L.	FL	270,56	17,10	2,71	9,34	6,02
Total			183,14	100	100	100

Os menores valores de cobertura total acumulada (Fig. 6) foram registrados na terceira, quinta e décima amostragens (fevereiro/2022/E; junho/2022/O; março/2023/E), enquanto que os maiores valores foram registrados na sétima e oitava (outubro/2022/E; dezembro/2022/E).

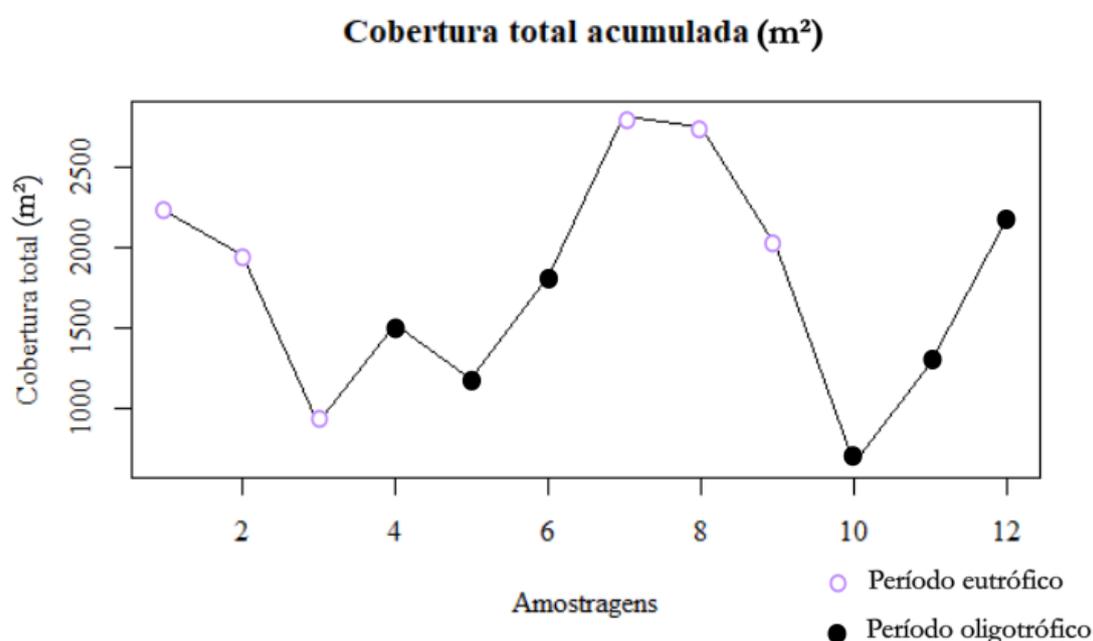


Fig. 6. Cobertura total acumulada das macrófitas aquáticas da Caverna Natural Lagoa Misteriosa, Jardim, MS.

Numa perspectiva dos parâmetros acumulados, as espécies com maior valor de importância, cobertura e frequência foram *Heteranthera zosterifolia*, *Chryso-hypnum elegantulum* e a alga filamentosa, as quais somaram juntas 72,79% do VI total (Tabela 1). A espécie com maior VI foi *H. zosterifolia*, registrando também os maiores valores de cobertura (38,31%) e de frequência (31,91%).

C. elegantulum apresentou um VI de 22,64%, sendo 21,54% de cobertura e de 23,74% de frequência. Alga filamentosa obteve 15,04% de VI, 17,50% de cobertura e 12,50% de frequência.

A Figura 7 representa a variação da cobertura ao longo dos meses de amostragem. Ao longo das amostragens, observa-se que a cobertura de *C. fibrosa* tende a diminuir, com um aumento apenas na terceira (fevereiro/2022/E) e quarta amostragem (abril/2022/O). *Pistia stratiotes* também apresentou uma redução em sua cobertura desde a primeira (outubro/2021/E) e segunda (dezembro/2021/E) amostragens, experimentando um leve aumento na oitava e na nona amostragens (dezembro/2022/E; março/2023/E). A cobertura de *H. zosterifolia* demonstrou uma tendência de aumento ao longo das amostragens, registrando suas menores coberturas na terceira (fevereiro/2022/E) e quarta amostragem (abril/2022/O). *Leptodictyum riparium* sofreu uma perda significativa de cobertura na segunda (dezembro/2021/E), nona (março/2023/E) e nas duas últimas amostragens, atingindo seus picos na primeira (outubro/2021/E), terceira (fevereiro/2022/E) e na décima (maio/2023/O) amostragem. O oposto pode ser observado na cobertura de *C. elegantulum*, que diminuiu à medida que a cobertura de *L. riparium* aumentou. A alga filamentosa atingiu suas menores coberturas na sexta (agosto/2022/O) e nas três últimas amostragens, com aumento na segunda (dezembro/2021/E), sétima (outubro/2022/E), oitava (dezembro/2022/E) e nona (março/2023/E) amostragem.

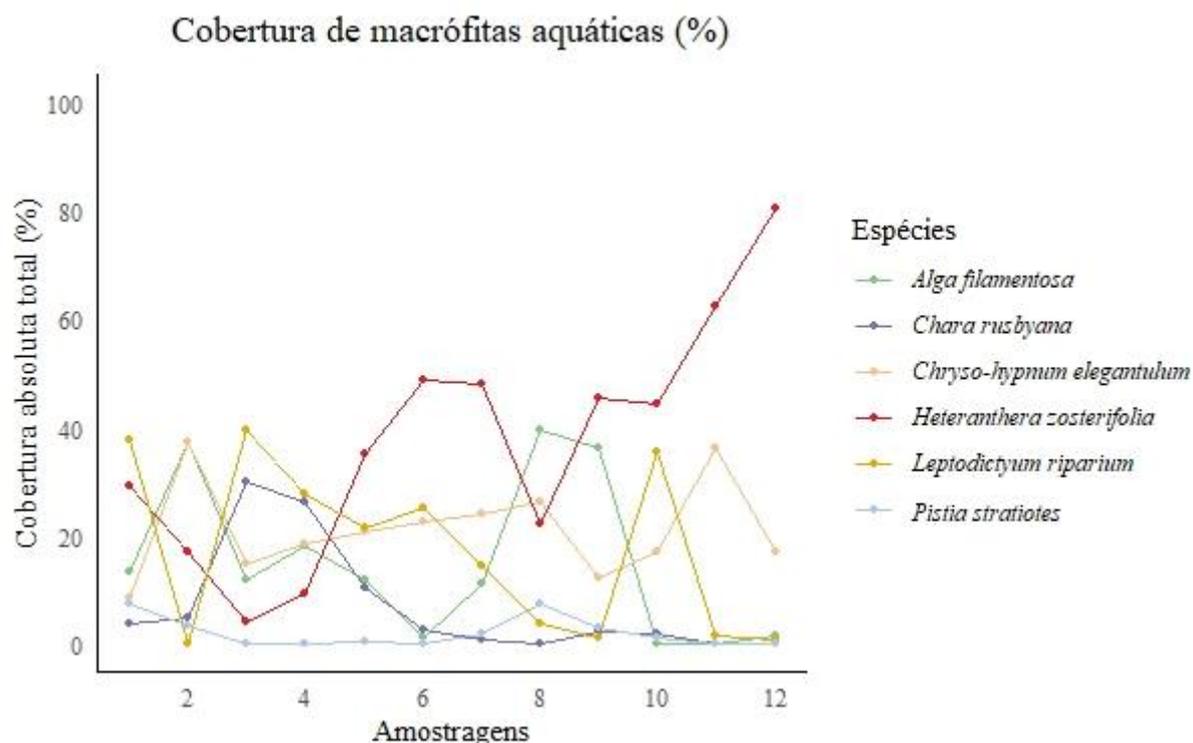


Fig. 7. Cobertura absoluta das espécies de macrófitas aquáticas ao longo de dois anos em 12 amostragens, da Caverna Natural Lagoa Misteriosa, Jardim, MS.

Em relação a frequência (Fig. 8), à medida que as amostragens avançam, nota-se que a frequência de *P. stratiotes* tende a diminuir, sendo mais comum nas duas primeiras amostragens (outubro/dezembro/2021/E). A frequência de *H. zosterifolia* não variou muito ao longo das amostragens, com uma queda significativa apenas na terceira amostragem (fevereiro/2022/E) e os maiores valores de frequência na segunda (28,57%) e décima segunda (48,28%) amostragens (dezembro/2021/E; setembro/2023/O). *Chara rusbyana* apresentou uma maior frequência na terceira (20%) quarta (23,08%) amostragem (fevereiro/2022/E; abril/2022/O) a partir da qual sua frequência tende a declinar. A frequência de *C. elegantulum* foi mais alta na segunda (23,47%), sétima (32,86%) e na oitava (28,24%) amostragem (dezembro/2021/E; outubro/2022/E; dezembro/2022/E), experimentando uma redução da terceira à quinta amostragem (fevereiro/2022/E; junho/2022/O). *L. riparium* teve uma maior frequência na primeira (23,68%) e sexta (30,16%) amostragens (outubro/2021/E; agosto/2022/O), sofrendo uma diminuição na segunda, nona e décima amostragens (dezembro/2021/E; março/2023/E; maio/2023/O).

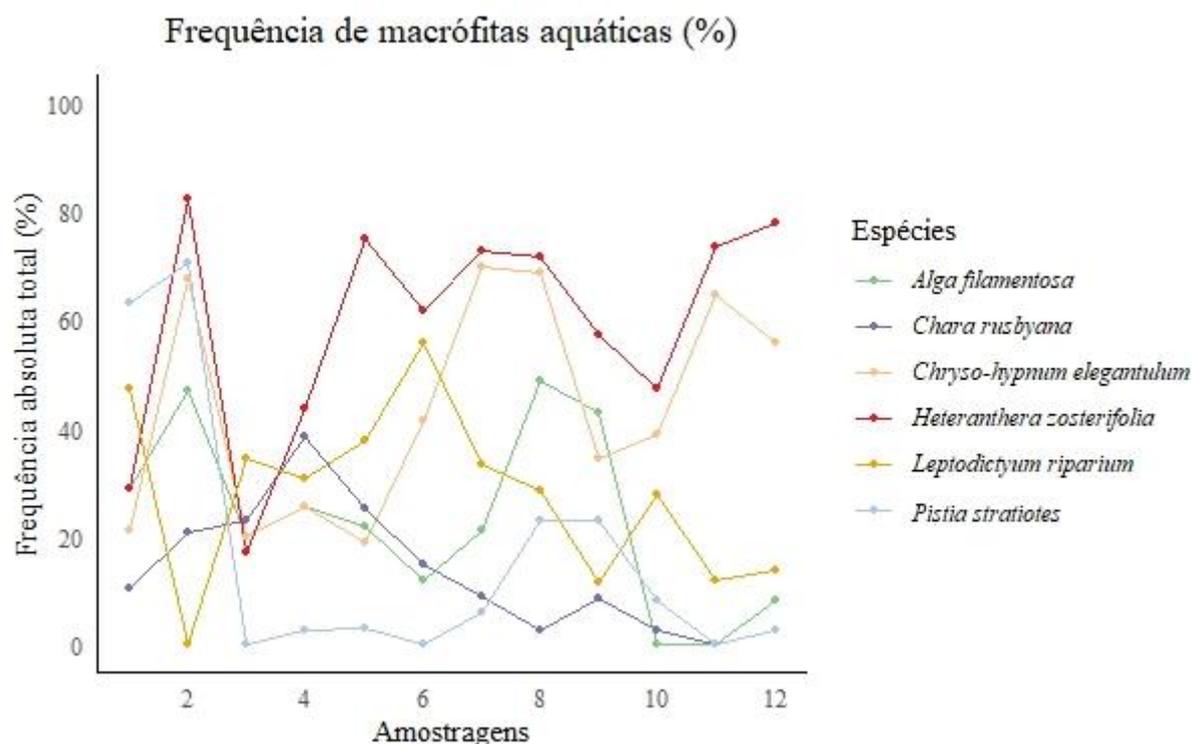


Fig. 8. Frequência absoluta das espécies de macrófitas aquáticas ao longo de dois anos em 12 amostragens, da Cavidade Natural Lagoa Misteriosa, Jardim, MS.

3.3. Regressão linear entre os parâmetros estruturais e variáveis ambientais

A análise de regressão linear evidenciou que a variação na cobertura de macrófitas aquáticas na LM pode ser explicada pelas variáveis de visibilidade e pluviometria. Em relação a alga filamentosa,

42,5% da variação de sua cobertura pode ser explicada pela visibilidade da água ($r^2 = 0,425$; $y = -0,5472x + 27,916$; $p > 0,001$), enquanto 1,89% da variação da cobertura de *C. rusbyana* pode ser explicada pela visibilidade ($r^2 = 0,0189$; $y = -0,0804x + 8,7784$; $p > 0,001$). Para *H. zosterifolia*, 11% da variação de sua cobertura pode ser explicada pela visibilidade ($r^2 = 0,110$; $y = 0,4176x + 27,381$; $p > 0,001$), sendo uma relação positiva.

Em relação a *C. hipnum*, 10,2% de sua cobertura pode ser explicada pela pluviometria ($r^2 = 0,102$; $y = -0,0416x + 22,789$; $p > 0,001$), sendo que à medida que a pluviometria aumenta, a cobertura de *C. hipnum* tende a diminuir. Para *L. riparium*, 11,5% de sua cobertura pode ser explicada pela pluviometria ($r^2 = 0,115$; $y = 0,0785x + 14,6$; $p < 0,001$), enquanto 33,9% da cobertura. *P. stratiotes* pode ser explicada em função da pluviometria ($r^2 = 0,3394$; $y = 0,0244x + 1,2501$; $p > 0,001$). A cobertura de *L. riparium* e *P. stratiotes* tende a aumentar à medida que a pluviometria se intensifica.

3.4. Análise de Componentes Principais - PCA

A análise de componentes principais (PCA) revelou que os eixos 1 e 2 em conjunto explicam 77,9% da variância total das variáveis abióticas. O componente 1 contribui com 46,2% da variância total, enquanto o componente 2 contribui com 31,7% (Fig. 9). Observou-se uma forte correlação entre a pluviometria e o nível d'água. Além disso, no eixo 1, a pluviometria é a variável mais representativa, seguida pelo nível de água, a visibilidade é a mais representativa no eixo 2 (Tabela 3).

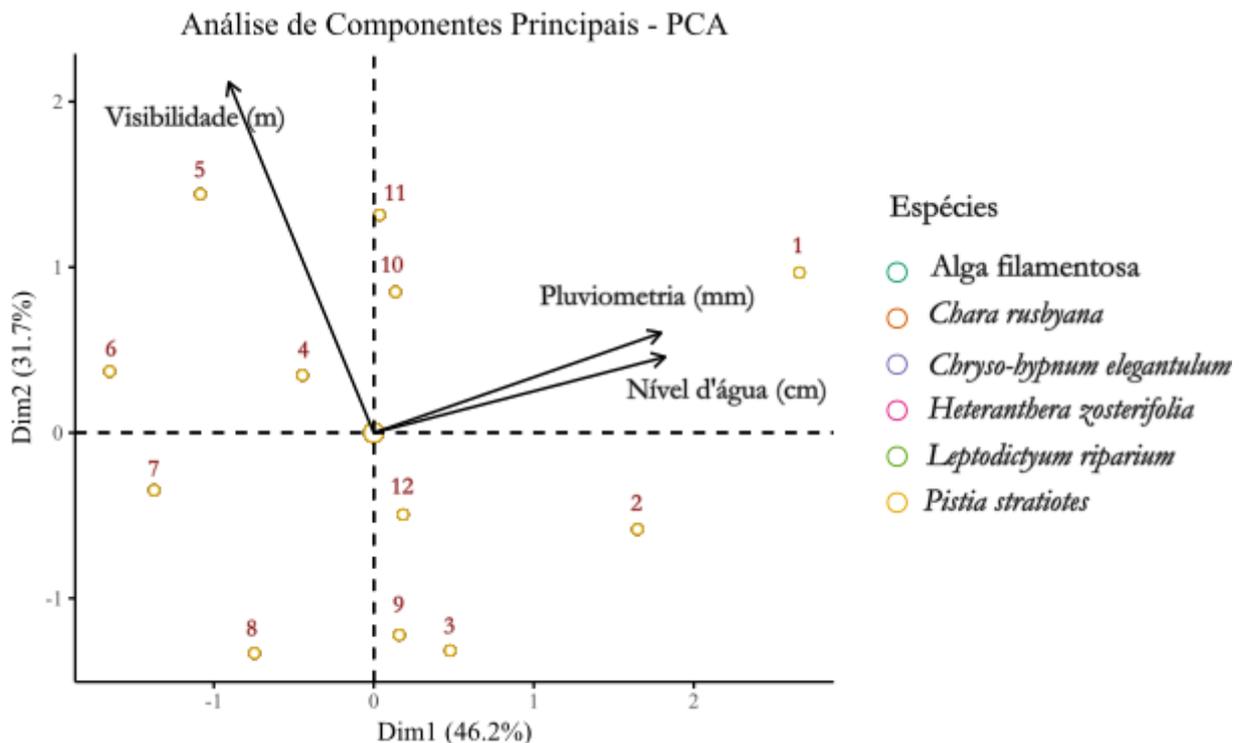


Fig. 9. Análise de correlação, com a Análise de Componentes Principais, entre as espécies de macrófitas aquáticas e variáveis ambientais, Cavidade Natural da Lagoa Misteriosa, Jardim, MS. Os números de 1 a 12 correspondem as amostragens realizadas durante o estudo. Os pontos amarelos, dentro do gráfico, correspondem a todas as espécies de macrófitas, como indicado na legenda ao lado.

Tabela 3. Contribuição das variáveis abióticas para a variância total e os autovalores dos dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais

Variáveis	Autovalores			
	Eixo 1	%	Eixo 2	%
Visibilidade	-0.42181	-42,18	0.89592	89,59
Nível d'água	0.50741	50,74	0.10592	10,59
Pluviometria	0.75141	75,14	0.4314	43,14

A análise de agrupamento da PCA revelou que todas as espécies apresentaram uma resposta positiva à pluviometria, nível de água e visibilidade na primeira amostragem, realizada em outubro de 2021, correspondente ao período eutrófico, e na quinta amostragem, realizada em junho de 2022 no período oligotrófico. Na primeira amostragem (outubro/2021/E), à medida que a pluviometria e o nível de água aumentavam e a visibilidade diminuía, a cobertura de macrófitas aumentava. Já na quinta amostragem (junho/2022/O), à medida que a visibilidade aumentava e a pluviometria e o nível de água diminuíram, a cobertura das macrófitas também apresentava um aumento.

Nas amostragens realizadas em outubro de 2022 (sétima amostragem/E) e dezembro de 2022 (oitava amostragem/E), a cobertura de macrófitas aquáticas apresentou uma resposta negativa à visibilidade, pluviometria e nível de água. Durante esses períodos, a cobertura de macrófitas aquáticas atingiu seus valores mais baixos, não se adaptando bem aos baixos valores de pluviometria e nível de água registrados nesse intervalo. Nas demais amostragens, a cobertura de macrófitas aquáticas não mostrou uma associação significativa com as variáveis abióticas da água.

4. DISCUSSÃO

4.1. Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas

Os valores mais elevados de cobertura total acumulada foram observados durante o período eutrófico da Lagoa Misteriosa (LM), indicando que neste período embora a visibilidade da água esteja baixa devido ao pico de floração de microalgas, ocorre um aumento da cobertura total acumulada,

refutando a hipótese de que haveria um aumento da cobertura de macrófitas no período oligotrófico, como ocorre em outros ambientes de água doce.

O estudo de Ademola et al. (2022) também revelou um número significativo de macrófitas em ambientes de água doce, com alta diversidade e uma prevalência notável durante o período eutrófico. Isso destaca a correlação existente entre a maioria das macrófitas aquáticas e o estado trófico de ambientes aquáticos. O aumento da cobertura de macrófitas no período eutrófico pode ser compreendido pela variação nas tolerâncias de diferentes espécies de macrófitas ao aumento de nutrientes e à redução de luz, e pelo processo mais lento da eutrofização, onde os nutrientes se acumulam ao longo dos anos, contribuindo para uma maior persistência da vegetação de macrófitas e resultando em mudanças na composição de espécies para aquelas mais eutróficas e tolerantes (Blindow et al. 1993; Portielje e Roijackers, 1995, Van den Berg et al. 1999; Sand-Jensen et al., 2008; Bakker et al., 2010).

A relação entre o nível de nutrientes e a composição da comunidade de macrófitas, principalmente das submersas que são a maioria na LM, não é tão forte e portanto, diferentes espécies de plantas aquáticas podem dominar os níveis de nutrientes nos quais condições claras e turvas são possíveis (Vestergaard e Sand-Jensen 2000; Sand-Jensen et al. 2008, Bakker et al., 2010). E apesar da comunidade de macrófitas parecer mais tolerante ao processo de eutrofização em ambientes lacustres, como a LM, o aumento gradual e progressivo de nutrientes ao longo do tempo pode comprometer a diversidade dessa comunidade, levando à homogeneização das populações de macrófitas, como indicado por Salgado et al. (2018).

Em contrapartida, o valor mais baixo foi observado durante o período oligotrófico da LM (décima amostragem/maio de 2023), coincidindo com a estação seca, conforme já documentado em estudos anteriores (Mjelde e Ballot, 2018; Swe et al., 2021). Entretanto, também foram registradas baixas coberturas de macrófitas durante o período eutrófico (terceira amostragem/fevereiro de 2022 e quinta amostragem/junho de 2022) na LM, indicando falta de estabilidade ao longo dos anos de amostragens, independente do período seco ou chuvoso (Swe et al., 2021).

As espécies de *H. zosterifolia* e *C. elegantulum* apresentaram os maiores valores de importância (VI), cobertura e frequência evidenciando assim que estas espécies desempenham um papel fundamental na estrutura da comunidade. Essas espécies podem ser altamente adaptadas às condições específicas do ambiente, tais como temperatura e luminosidade, e esta capacidade de adaptação permite que elas prosperem mais em comparação a outras espécies de macrófitas (Nayaka et al., 2017).

Além disso, essas espécies também podem possuir a habilidade de se ajustar ou tolerar o estresse causado pela eutrofização na LM, sendo esta uma característica crucial que influencia o crescimento, a sobrevivência, a colonização e, conseqüentemente, a distribuição espacial e a formação de comunidades de macrófitas em condições naturais (Zhu et al., 2015; Apudo et al., 2016; Zhu et al; 2017).

Em relação a *C. elegantulum*, que se trata de um musgo, o seu alto valor de importância, frequência e cobertura pode estar relacionado ao fato de algumas espécies de musgos serem mais adaptadas ao ambiente aquático que outras, estas espécies são chamadas de verdadeiramente aquáticas, e são mais dependentes da água em períodos de seca que outras espécies de musgos aquáticos (Glime, 2020; Humpert, 2023). Ao contrário de *C. elegantulum*, que depende exclusivamente da umidade disponível em seu habitat, *L. riparium*, embora seja classificado como um musgo tipicamente aquático, apresenta crescimento vinculado principalmente à intensidade luminosa, evidenciando que esta espécie de musgo aquático não é adaptada apenas para ambientes aquáticos, mas também para ocorrer em ambientes expostos úmidos de cavernas calcárias, como as encontradas na LM, assim as suas adaptações são direcionadas a esse ambiente específico, indo além do contexto aquático (Coelho, 2008, 2009; Scheffler et al., 2019; Glime, 2020).

Os maiores níveis de cobertura de alga filamentosa na primeira, oitava e nona amostragens (outubro/2021/E; dezembro/2022/E; março/2023/E), de *L. riparium* na primeira e terceira (outubro/2021/E; fevereiro/2022/E) e de *P. stratiotes* na primeira e oitava (outubro/2021/E; dezembro/2022/E) amostragens podem estar associados ao período eutrófico em que a LM se encontrava nestes períodos. A elevada cobertura de *H. zosterifolia* na décima primeira e décima segunda (julho/2023/O; setembro/2023/O) amostragem, pode ser atribuída ao período oligotrófico que caracterizava a condição da lagoa nesses momentos. A expressiva cobertura de *C. rusbyana* na terceira e quarta (fevereiro/2022/E; abril/2022/O) amostragens e de *C. elegantulum* na décima segunda e décima primeira amostragens (dezembro/2021/E; julho/2023/O) não parece estar associada ao estado da LM, uma vez que ocorreu alta cobertura tanto no período eutrófico quanto no oligotrófico.

Quanto à frequência, os valores mais elevados de alga filamentosa observados na segunda, oitava e nona amostragens (dezembro/2021/E; dezembro/2022/E; março/2023/E) e de *P. stratiotes* notados na primeira e segunda amostragens (outubro/2021/E; dezembro/2021/E), assim como à cobertura, podem estar associadas ao período eutrófico da LM. As elevadas frequências de *C. rusbyana* durante a terceira e quarta amostragens (fevereiro/2022/E; abril/2022/O), de *C. elegantulum* na segunda, sétima e oitava amostragens (dezembro/2021/E; outubro/2022/E; dezembro/2022/E), de *H.*

zosterifolia na segunda e décima segunda amostragens (dezembro/2021/E; setembro/2023/O) e de *L. riparium* na primeira e sexta amostragens (outubro/2021/E; agosto/2022/O), indicam que a prevalência dessas espécies não está correlacionada com os períodos oligotrófico ou eutrófico da LM, uma vez que apresentaram altas frequências em ambas as condições.

A variação da cobertura de *H. zosterifolia* foi condizente com a variação da visibilidade da água, isto é, a cobertura de *H. zosterifolia* aumentou conforme a visibilidade crescente, ao passo que a variação da cobertura de *C. rusbyana* é inversamente negativa. Portanto, pode-se inferir que há uma relação competitiva entre *H. zosterifolia* e *C. rusbyana*, principalmente devido ao fato de *C. rusbyana* ser uma macroalga, podendo fazer com que seu crescimento seja favorecido em ambientes com maior disponibilidade de nutrientes (Devlin e Brodie; 2023), pois as algas possuem características que aumentam sua eficiência em captar os nutrientes presentes na água, como a taxa de crescimento muito rápidas. A competição entre plantas tem um papel importante na estrutura e na dinâmica das comunidades, pois em condições ambientais adversas a cobertura total é mantida relativamente constante, fazendo com que os resultados possam ser mediados pela disponibilidade de nutrientes do local (Hortal et al, 2017).

No entanto, estudos revelam que ainda pode haver uma rica ocorrência de Characeae em ambientes com águas claras e pobres em nutrientes, como no período oligotrófico da lagoa, e os fatores físico-químicos na água como nutrientes e CaCO_3 , são sugeridos como parâmetros importantes para a composição de espécies de Characeae (Simons e Nat, 1996). Adicionalmente, as Characeae também respondem à variação no nível da água em corpos d'água permanentes e temporários através de plasticidade morfológica e reprodutiva (Bueno et al., 2009).

Pistia stratiotes e a alga filamentosa possuem forma de vida flutuante livre. Ocasionalmente, *P. stratiotes* apresenta forma de vida terrestre. A ocorrência de *P. stratiotes* foi observada nas margens da lagoa, provavelmente, como resultado da mudança do nível de água da lagoa, que é reflexo das variações dos índices pluviométricos registrados nos períodos de amostragens. De acordo com Kafer et al. (2011) em períodos de seca e chuvosos, muitos ambientes sofrem alterações fitofisionômicas e algumas espécies de plantas que ocorrem anualmente desaparecem no período de estiagem, enquanto outras, mesmo que suportando os períodos de seca, tem a sua população reduzida. Foi observado que a cobertura e frequência de *P. stratiotes* em algumas amostragens reduziram de maneira condizente com a pluviosidade e nível da água. Além disso, *P. stratiotes* é considerada uma erva daninha aquática (Prokopuk e Zub, 2022) e a sua não disseminação na lagoa pode estar relacionada também à competição com outras espécies de macrófitas, já que em áreas onde há uma baixa ou nenhuma

competição com outras espécies vegetais esta espécie aumenta rapidamente a sua população, se tornando até um problema (Brundu et al., 2012). Por outro lado, a alga filamentosa apresentou pouca variação em sua frequência ao longo das amostragens.

C. elegantulum e *L. riparium*, apesar de compartilharem a mesma forma de vida submersa e fixa, não apresentam uma relação aparente entre si, uma vez que uma é mais dependente da umidade e a outra da luminosidade. Essa distinção nas necessidades ambientais cria condições que evitam a competição direta entre essas duas espécies.

4.2. Relação entre parâmetros fitossociológicos e variáveis ambientais

A resposta positiva da comunidade de macrófitas aquáticas em relação à pluviometria e ao nível de água na primeira e segunda amostragem (outubro/2021/E; dezembro/2021/E) podem estar relacionadas ao período eutrófico em que a LM se encontrava. Este intervalo corresponde à estação chuvosa, marcada por uma elevada produtividade e uma visibilidade reduzida devido à proliferação de algas, resultando em uma coloração intensamente verde nas águas da LM (Scheffler et al., 2019).

A eutrofização é um fenômeno natural que se manifesta em ambientes de água doce, mesmo em lagos inicialmente cristalinos, ao longo de extensos períodos onde há acúmulo de nutrientes e sedimentos, e durante esse processo a introdução elevada de nutrientes pode favorecer a proliferação de algas e o crescimento desproporcional de macrófitas aquáticas (Rhode Island Department of Environmental Management, s.d; Michigan State University Extension s.d).

As respostas negativas da cobertura de macrófitas aquáticas na sétima e oitava amostragens, (outubro/2022/E; dezembro/2022/E) podem estar relacionadas aos baixos níveis de água registradas neste período na LM, mesmo que ainda esses períodos sejam correspondentes a estação chuvosa e que tenham um elevados índices pluviométricos. A mudança no nível da água é um importante fator ecológico que afeta o crescimento e a reprodução de macrófitas submersas (Zhang et al., 2015; Kang et al., 2022). Outro fator que pode estar relacionado a baixa cobertura é que no período de eutrofização algumas macrófitas submersas enraizadas podem começar a entrar em declínio, em virtude da redução da penetração de luz (Milhomens et al., 2016; Sousa et al., 2021). Durante a floração de algas, a alta densidade de células pode reduzir a penetração de luz na água, sombreando as plantas aquáticas submersas e limitando a quantidade de luz disponível impactando assim o crescimento e o desenvolvimento das macrófitas (Gettys et al., 2020). Além disso, algumas espécies de algas podem consumir rapidamente os nutrientes disponíveis na água, deixando menos recursos para as outras plantas aquáticas.

A variação da cobertura de *C. hipnum*, *L. riparium* e *P. stratiotes* pode ser explicada pela pluviometria. A baixa cobertura de *C. hipnum* quando há aumento da pluviometria, pode estar relacionado ao fato desta espécie de musgo estar mais adaptada ao ambiente úmido que *L. riparium*, e quando exposta a condições de pouca ou nenhuma umidade acabam morrendo, como já observado em outras espécies de musgos da região (Seremin-Dias et al., 1999) e nas paredes da LM durante algumas amostragens.

A cobertura de *L. riparium* e *P. stratiotes* tende a aumentar à medida que a pluviometria se intensifica. O efeito positivo de altos índices pluviométricos sobre a cobertura de *P. stratiotes* pode ser explicado pela sua forma de vida, livre flutuante. A pluviometria pode facilitar a dispersão de sementes, esporos ou outros propágulos das plantas que possuem esta forma de vida, pois o aumento do nível de água mantém a flutuabilidade destas plantas fazendo com que ocupem novas áreas no ambiente aquático ou que haja expansão daquelas já existentes (Lesiv et al., 2020). Além disso, o excesso de nutrientes durante os períodos de chuva muitas vezes estimula o crescimento das plantas aquáticas, especialmente das flutuantes (Lycarião e Dantas, 2017; Schneider et al., 2018). Assim, evidencia-se que a sazonalidade exerce um papel importante no desenvolvimento e crescimento das macrófitas.

Conforme a visibilidade da água na LM aumenta, observa-se uma diminuição na cobertura de alga filamentosa e *C. rusbyana*. Essas duas espécies, sendo algas, tendem a responder positivamente ao período eutrófico da LM, no qual a visibilidade tende a diminuir. Durante o período de baixa visibilidade e aumento da disponibilidade de fatores limitantes de crescimento essenciais para a fotossíntese, como a luz solar, pode ocorrer o crescimento excessivo de algas (Akinawo, 2023).

No mês de junho (2022), que corresponde a quinta amostragem, a resposta positiva da cobertura de macrófitas a visibilidade pode estar relacionada ao período oligotrófico da LM. Durante este período, apesar da lagoa apresentar baixa produtividade, a água possui uma alta transparência (Scheffler et al., 2019). A transparência determina a quantidade de luz que alcança as plantas submersas, visto que as plantas aquáticas dependem da luz para a fotossíntese, sendo este um processo crucial para o crescimento e desenvolvimento das macrófitas aquáticas (Pedersen; Colmer; Sand-Jensen, 2013; Department of Environment, Science and Innovation, 2023).

Outra variável crucial no que diz respeito às plantas submersas da LM, e que não foi considerada neste estudo, é a profundidade. As plantas submersas apresentam plasticidade morfológica, um mecanismo adaptativo vital para as plantas submersas, em resposta à profundidade da água, e estudos sobre as interações entre o crescimento e os gradientes de profundidade da água

indicam que as plantas submersas podem se ajustar à variação na profundidade de crescimento, modificando os padrões de crescimento das raízes (Li et al., 2020).

Com base nestas análises, é possível concluir que a cobertura de macrófitas aquáticas na LM não segue o padrão convencional observado na maioria dos ambientes de água doce. Em suma, ao considerar todas as espécies em conjunto, nota-se uma tendência geral de diminuição da cobertura no período oligotrófico, seguida de um aumento durante o período eutrófico. Essa observação sugere que as espécies de macrófitas estudadas podem ter desenvolvido adaptações específicas para lidar com as condições ambientais variáveis, como o aumento de nutrientes e a redução de luz, comuns nessas áreas frequentemente sujeitas a mudanças no estado trófico da lagoa. No entanto, ao analisar separadamente cada grupo de espécies, observamos variações nesse padrão. A cobertura de *H. zosterifolia* aumenta no período oligotrófico, enquanto *P. stratiotes* se destaca no período eutrófico. Os musgos, *C. elegantulum* e *L. riparium*, juntamente com a alga *C. rusbyana*, apresentam aumento em ambos os períodos da lagoa. Por outro lado, a cobertura de alga filamentosa é mais pronunciada durante o período eutrófico.

Adicionalmente, o estudo destacou que as variáveis que mais impactam a cobertura de macrófitas no período eutrófico são o nível de água e a pluviometria, enquanto no período oligotrófico, é a visibilidade. A cobertura de *C. elegantulum*, *L. riparium* e *P. stratiotes* é influenciada pela pluviometria, enquanto a cobertura de alga filamentosa, *C. rusbyana* e *H. zosterifolia* é afetada pela visibilidade da água na LM.

Essas discrepâncias ressaltam a complexidade das interações entre as espécies vegetais e as condições ambientais, destacando a necessidade contínua de estudos aprofundados para compreender plenamente os padrões de distribuição e adaptação dessas comunidades vegetais em ambientes aquáticos. Além disso, é necessário realizar mais estudos sobre a disponibilidade de nutrientes na água e sobre a ecologia competitiva que ocorre entre algumas espécies de macrófitas da LM, a fim de confirmar verdadeiramente a adaptabilidade e alta tolerância que essas espécies aparentemente adquiriram ao longo dos períodos tróficos recorrentes na LM, visto que o ambiente da lagoa é um ambiente único e tais estudos podem destacar ainda mais a importância deste local.

Agradecimentos

Este estudo foi beneficiado pelo suporte logístico oferecido pela Universidade Federal da Grande Dourados, bem como pela colaboração logística do Recanto Ecológico Rio da Prata na área de estudo e pela disponibilidade dos dados de monitoramento relacionados à Lagoa Misteriosa.

Referências:

- Ademola, B.T., Mahuta, S.I., Abdulkarim, B., Argungu, L.A., 2022. Macrophytes abundance in relation to eutrophication status of peri-urban impoundments in Katsina Metropolis, Nigeria. *Bayero J. Pure Appl. Sci.* 13, 173–179.
- Agostinho, A.A., Pelicice, F.M., Petry, A.C., Gomes, L.C., Júlio Jr., H.F., 2007. Fish diversity in the upper Paraná River basin: habitats, fisheries, management and conservation. *Aquatic Ecosystem Health & Management.* 10, 174-186.
- Amaral Filho, Z.P., 1989. Macrozoneamento Geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. (Relatório do Convênio de Cooperação Técnico-Científica da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e o Estado de Mato Grosso do Sul).
- Aoki, C., Teixeira-Gamarra, M. C., Gamarra, R. M., Medeiros, S. C. H., Pott, V. J., Damasceno-Junior, G. A., Pott, A., & Scremin-Dias, E., 2017. Abiotic factors drive the structure of aquatic plant assemblages in riverine habitats of the Brazilian “Pantanal”. *Brazilian Journal of Botany*, 40, 405–415.
- Apudo, A.A., Cao, Y., Wakibia, J., Li, W., Liu, F., 2016. Physiological plastic responses to acute $\text{NH}_4^+\text{--N}$ toxicity in *Myriophyllum spicatum* L. cultured in high and low nutrient conditions. *Environ. Exp. Bot.* 130, 79–85.
- Auler, A., Rubbioli, E., Brandi, R., 2011. Estudo Lagoa Misteriosa. Lagoa Misteriosa. Disponível em: <https://www.lagoamisteriosa.eco.br/blog/lagoa-misteriosa/>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- Bianchini Jr., I., Cunha-Santino, M.B., Peret, A.M., 2008. Oxygen demand during mineralization of aquatic macrophytes from an oxbow lake. *Rev. Bras. Biol.* 68, 61-67.
- Blindow, I., Andersson, G., Hargeby, A., Johansson, S., 1993. Long-term Pattern of Alternative Stable States in 2 Shallow Eutrophic Lakes. *Freshw. Biol.* 30, 159–167.
- Brundu, G., Stinca, A., Angius, L., Bonanomi, G., Celesti-Grapow, L., D’Auria, G., Griffo, R., Motti, R., Spigno, P., 2012. *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). *Bull. OEPP.* 42, 568–579.

- Bueno, N., De, C., Bicudo, C., Biolo, S., & Meurer, T., 2009. Levantamento florístico das Characeae (Chlorophyta) de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Brasil: Chara. *Revista Brasileira de Botânica*, 32, 759-774.
- Cordeiro, L.M., Borghezán, R., Trajano, E., 2014. Biodiversidade subterrânea na área cárstica da Serra da Bodoquena, bacia do Rio Paraguai, Estado do Mato Grosso do Sul, Sudoeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 14.
- Cunha-Santiago, M.B., Bianchini, I.J., 2011. Colonização de macrófitas aquáticas em ambientes lânticos. *Bol. ABLimno.* 39, 1-14.
- Demars, B. O. L., & Trémolières, M., 2009. Aquatic macrophytes as bioindicators of carbon dioxide in groundwater fed rivers. *Science of the Total Environment*, 407, 4752–4763.
- Department of Environment, Science and Innovation, Queensland., 2023. Clarity and colour, WetlandInfo website. Disponível em: <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/ecology/components/water-physical/clarity/>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2024.
- Devlin, M., Brodie, J., 2023. Nutrientes e Eutrofização. *Nutrients and Eutrophication*. Springer.
- Dias, F., 2021. Conheça os 'mistérios' da 7ª caverna inundada mais profunda do Brasil que passa dos 220 metros de coluna d'água. G1-MS. Disponível em: <https://11nk.dev/FI7xd>. Acesso em: 25 de outubro de 2021.
- EBakker, E.S., Van Donk, E., Declerck, S.A.J., Helmsing, N.R., Hidding, B., Nolet, B.A., 2010. Effect of macrophyte community composition and nutrient enrichment on plant biomass and algal blooms. *Basic Appl. Ecol.* 11, 432–439.
- Filamentous green algae (pond scum). Missouri Department of Conservation., 2024. Disponível em: <https://mdc.mo.gov/discover-nature/field-guide/filamentous-green-algae-pond-scum>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2024.
- Gettys, L.A., Haller, W.T., Petty, D.G., 2020. *Biology and Control of Aquatic Plants*. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, Georgia.
- Grinberga, L., 2011. Macrophyte species composition in streams of Latvia under different flow and substrate conditions. *Estonian Journal of Ecology*, 60, 194–208.

- Hortal, S., Lozano, Y.M., Bastida, F., et al., 2017. Plant-plant competition outcomes are modulated by plant effects on the soil bacterial community. *Sci Rep.* 7, 17756.
- Kafer, D.S., Colares, I.G., Hefler, S.M., 2011. Composição florística e fitossociologia de macrófitas aquáticas em um Banhado continental em Rio Grande, RS, Brasil. *Rodriguésia.* 62, 835-846.
- Kang, C., Li, J., Liu, Y., Tong, Z., 2022. Effects of high nitrogen concentration and low water level on the growth of the submerged macrophyte *Vallisneria spirulosa*. *J. Freshw. Ecol.* 37, 161-172.
- Kantek, D. L. Z., Costa, R. O., Miyazaki, S. S., Deluque Costa, T.,
- Kuhar, U., Gregorc, T., Rencelj, M., Sraj-Krzic, N., & Gaberscik, A., 2007. Distribution of macrophytes and condition of the physical environment of streams flowing through agricultural landscape in north-eastern Slovenia. *Limnologica,* 37, 146–154.
- Lesiv, M.S., Polishchuk, A.I., Antonyak, H.L., 2020. Aquatic macrophytes: ecological features and functions. *Stud. Biol.* 14, 79–94.
- Lopes, A., et al., 2015. Conhecendo as Áreas Úmidas Amazônicas: uma viagem pelas várzeas e igapós. INPA, Brasília.
- Lycarião, T.A., Dantas, E.W., 2017. Interactions between different biological forms of aquatic macrophytes in a eutrophic tropical reservoir in Northeastern Brazil. *Rev. Biol. Trop.* 65.
- Moura, R.S.T., Henry-Silva, G.G., 2018. Is there a Zonation Pattern in Aquatic Macrophytes Communities in the Aquatic Environments of the Brazilian Semiarid?. *Braz. J. Bot.* 41.
- Nayaka, S., Toppo, K., Verma, S., 2017. Adaptation in Algae to Environmental Stress and Ecological Conditions. *Plant Adaptation Strategies in Changing Environment*, Singapore.
- Nunes, L.S.C., Camargo, A.F.M., 2023. Distribuição espacial da vegetação aquática em regiões estuarinas: aspectos ecológicos nos estuários de São Paulo (Brasil). *UNISANTA Biosci,* 159-173.
- Pedersen, O., Colmer, T.D., Sand-Jensen, K., 2013. Underwater Photosynthesis of Submerged Plants – Recent Advances and Methods. *Front. Plant Sci.* 4.
- Portielje, R., Roijackers, R.M.M., 1995. Primary Succession of Aquatic Macrophytes in Experimental Ditches in Relation to Nutrient Input. *Aquat. Bot.* 50, 127–140.

- Pott, V.J., Pott, A., 1997. Checklist of Aquatic Macrophytes in the Pantanal, Brazil. *Acta Bot. Brasil.* 11, 215-227.
- Prokopuk, M., Zub, L., 2022. Ecological Features of the Alien Species *Pistia stratiotes* L. in Different Habitats of the Secondary Distribution Range (Ukraine). *Hacquetia.* 21, 361-370.
- Salgado, J., Sayer, C.D., Brooks, S.J., Davidson, T.A., Goldsmith, B., Patmore, I.R., Baker, A.G., Okamura, B., 2018. Eutrophication homogenizes shallow lake macrophyte assemblages over space and time. *Ecosphere.* 9, 02406–6.
- Sallun Filho, W., & Karmann, I., 2007a. Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, West-Central Brazil. *Journal of Maps,* 282-295.
- Sallun Filho, W., Karmann, I., Lobo, H.A.S., 2010. Cavernas na Serra da Bodoquena. *O Carste.* 22, 27-33.
- Sand-Jensen, K., Pedersen, N.L., Thorsgaard, I., Moeslund, B., Borum, J., Brodersen, K.P., 2008. 100 Years of Vegetation Decline and Recovery in Lake Fure, Denmark. *J. Ecol.* 96, 206–271.
- Scheffler, S.M., Silva, W.M., Pellin, A., Duleba, S., Pellin, A., 2019. Algae Blooming in the Natural Cavity Lagoa Misteriosa (MS 043), Jardim, MS, Brazil: An Integrated Analysis of Physicochemical, Biological, and Climatological Data. *Terr@Plural.* 13, 400-420.
- Schneider, B., Cunha, E.R., Marchese, M., Thomaz, S.M., 2018. Associations between Macrophyte Life Forms and Environmental and Morphometric Factors in a Large Subtropical Floodplain. *Front. Plant Sci.* 9, 195.
- Sousa, W.G.M., Silva, E.L., Pacheco, A.C.L., Pinheiro, T.G., Abreu, M.C., 2021. Richness and Distribution of Aquatic Macrophytes in the Guaribas River, Picos, Piauí. *Bol. Lab. Hidrobiol.* 29.
- Stefanidis, K., Sakira, M., Papastegiadou, E., 2019. Exploring Environmental Predictors of Aquatic Macrophytes in Water-Dependent Natura 2000 Sites of High Conservation Value: Results from a Long-Term Study of Macrophytes in Greek Lakes. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 29, 1133–1148.
- Steffen, K., Becker, T., Herr, W., et al., 2013. Diversity Loss in the Macrophyte Vegetation of Northwest German Streams and Rivers between the 1950s and 2010. *Hydrobiologia.* 713.

- Swe, T., Lombardo, P., Ballot, A., Thrane, J.E., Sample, J., Eriksen, T.E., Mjelde, M., 2021. The importance of aquatic macrophytes in a eutrophic tropical shallow lake. *Limnologia*. 90, 125910.
- Thomaz, S.M., Carvalho, P., Padial, A.A., Kobayashi, J.T., 2009. Temporal and Spatial Patterns of Aquatic Macrophyte Diversity in the Upper Paraná River Floodplain. *Braz. J. Biol.* 69, 617-625.
- Van den Berg, M.S., Scheffer, M., Van Nes, E., Coops, H., 1999. Dynamics and Stability of *Chara* sp and *Potamogeton pectinatus* in a Shallow Lake Changing in Eutrophication Level. *Hydrobiologia*. 408, 335–342.
- Vestergaard, O., Sand-Jensen, K., 2000. Alkalinity and Trophic State Regulate Aquatic Plant Distribution in Danish Lakes. *Aquatic Botany*. 67, 85–107.
- Yang, W., Yan, J., Wang, Y., Zhang, B., Wang, H., 2020. Seasonal Variation of Aquatic Macrophytes and its Relationship with Environmental Factors in Baiyangdian Lake, China. *Sci. Total Environ.* 708, 135112.
- Yin, L., Li, W., Madsen, T.V., Maberly, S.C., Bowes, G., 2016. Photosynthetic inorganic carbon acquisition in 30 freshwater macrophytes. *Aquat. Bot.* 140, 48–54.
- Zervas, D., Tsiaoussi, V., Kallimanis, A.S., Dimopoulos, P., Tsiripidis, I., 2019. Exploring the Relationships between Aquatic Macrophyte Functional Traits and Anthropogenic Pressures in Freshwater Lakes. *Acta Oecol.* 99, 103443.
- Zhang, X., Liu, X., Wang, H., 2015. Effects of water level fluctuations on lakeshore vegetation of three subtropical floodplain lakes in China. *Hydrobiologia*, 747, 43–52.
- Zhu, G., Yuan, C., Di, G., Zhang, M., Ni, L., Cao, T., Fang, R., Wu, G., 2017. Morphological and biomechanical response to eutrophication and hydrodynamic stresses. *Sci. Total Environ.* 622–623, 421-435.
- Zhu, G.R., Zhang, M., Cao, T., Ni, L.Y., 2015. Associations between the morphology and biomechanical properties of submerged macrophytes: implications for survival and distribution in Lake Erhai. *Environ. Earth Sci.* 4, 3907–3916.