

---

**ECOLOGIA**

---

**GABRIEL GUIDOLIN RUY**

**COMUNIDADE VEGETAL E RECONSTITUIÇÃO  
PALEOAMBIENTAL DE ÁREAS ÚMIDAS  
GEOGRAFICAMENTE ISOLADAS DO CERRADO:  
ESTUDO DE CASO**



Rio Claro - SP  
2025

GABRIEL GUIDOLIN RUY

**COMUNIDADE VEGETAL E RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL  
DE ÁREAS ÚMIDAS GEOGRAFICAMENTE ISOLADAS DO  
CERRADO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Ecólogo.

Orientador(a): Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Coorientador(a): Dra. Cassy Anne dos Santos Rodrigues

Rio Claro - SP  
2025

R985c	<p>Ruy, Gabriel Guidolin</p> <p>Comunidade vegetal e reconstituição paleoambiental de áreas úmidas geograficamente isoladas do Cerrado: estudo de caso / Gabriel Guidolin Ruy. -- Rio Claro, 2025</p> <p>48 p. : tabs., fotos, mapas</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Vania Silvia Rosolen</p> <p>Coorientadora: Cassy Anne dos Santos Rodrigues</p> <p>1. Wetlands. 2. Comunidades vegetais. 3. Paleoambiente. I. Título.</p>
-------	--

GABRIEL GUIDOLIN RUY

**COMUNIDADE VEGETAL E RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL  
DE ÁREAS ÚMIDAS GEOGRAFICAMENTE ISOLADAS DO  
CERRADO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Ecólogo.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Profa. Dra. Maria José de Oliveira Campos

Me. Juliano Zardetto

Aprovado em: 07 de novembro de 2025

Assinatura do discente

Assinatura do(a) orientador(a)

Assinatura do(a) coorientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus pela oportunidade, persistência e força para superar os desafios ao longo da jornada.

À minha família, principalmente meus pais e minha irmã, por todo o apoio, paciência e compreensão, sobretudo nos momentos de maiores desafios.

À minha orientadora Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen e minha coorientadora Dra. Cassy Anne dos Santos Rodrigues, pelos ensinamentos, acolhimento, disponibilidade e pelo auxílio ao longo do desenvolvimento deste projeto. Sem vocês este trabalho não seria possível.

À Dra. Karen Luko Sulato e Dr. Everton Tiago Sulato pelas trocas e acompanhamento durante as coletas de campo e reuniões para discussão dos resultados.

A meus colegas e professores que, durante as aulas e no dia a dia, me ensinaram tanto.

Por fim, agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC – Edital 8/2024) e ao financiamento obtido através do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023-15396-9. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

## RESUMO

Pequenas áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGIs) são ambientes altamente sensíveis formados em depressões circundadas por elevações topográficas que não apresentam conexão superficial com outro corpo hídrico. As áreas úmidas são locais de grande importância na manutenção de uma elevada e endêmica biodiversidade, além da provisão de serviços ecossistêmicos como estoque de matéria orgânica do solo, recarga de aquífero e regulação da vazão de rios. Este estudo buscou realizar o inventário das comunidades vegetais presentes em uma área úmida perene e outra sazonal, localizadas em paisagens antropizadas na Depressão Periférica Paulista. Também procurou proporcionar uma base para o entendimento da evolução da paisagem tropical através da identificação dos mecanismos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> da vegetação e sua comparação com valores de isótopo estável de Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), obtidos a partir de amostras da matéria orgânica do solo coletadas em perfil. A vegetação foi amostrada em parcelas de 1m<sup>2</sup> para obtenção dos valores de riqueza e cobertura. Para a reconstituição paleoambiental, foi realizada uma diferenciação entre as espécies amostradas através do mecanismo fotossintético, buscando observar o balanço entre plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> e sua relação com a vegetação adaptada às condições paleoclimáticas associadas ao desenvolvimento dessas áreas. Este estudo indicou que o hidroperíodo é um fator mais importante do que o efeito da sazonalidade sobre a composição de espécies das AUGIs, bem como evidenciou a presença de espécies exóticas e a dominância local de algumas espécies em ambas as áreas. Além disso, foi possível observar que tanto a riqueza, diversidade, equitabilidade quanto a estrutura da comunidade, não variaram entre as áreas úmidas. Com o levantamento das espécies foi possível identificar a maior abundância de plantas com mecanismo fotossintético C<sub>3</sub> na AUGI-Perene e de plantas C<sub>4</sub> na AUGI-Sazonal. As informações de caracterização das comunidades e o entendimento da evolução da paisagem tropical são importantes para conhecer as dinâmicas que controlam o delicado equilíbrio das áreas úmidas, principalmente no intuito de desenvolver ações de proteção e embasamento legal pela defesa desses ambientes altamente ameaçados.

**Palavras-chave:** áreas úmidas; comunidade vegetal; reconstituição paleoambiental.

## ABSTRACT

Small geographically isolated wetlands (SGIWs) are highly sensitive environments formed in depressions surrounded by topographic elevations that have no surface connection to another water body. Wetlands are crucial for maintaining a high level of endemic biodiversity, as well as providing ecosystem services such as soil organic matter storage, aquifer recharge, and river flow regulation. This study aimed to contribute in the survey and inventory of plant communities present in a perennial and a seasonal wetland, located in anthropogenic landscapes in the Paulista Peripheral Depression. It also sought to provide a basis for understanding the evolution of the tropical landscape by identifying the C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> photosynthetic pathways of vegetation and comparing them with stable carbon isotope values ( $\delta^{13}\text{C}$ ) obtained from soil organic matter samples collected in profiles. Vegetation was sampled in 1m<sup>2</sup> plots to obtain richness and cover values. For paleoenvironmental reconstruction, the sampled species were differentiated by their photosynthetic mechanisms, seeking to observe the balance between C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants and their relationship with vegetation adapted to the paleoclimatic conditions associated with the development of these areas. This study indicated that hydroperiod is a more important factor than seasonality on the species composition of SGIWs, and also highlighted the presence of exotic species and local dominance of some species in both areas. Furthermore, it was possible to observe that neither richness, diversity, evenness, nor community structure varied between wetlands. The species survey revealed a greater abundance of plants with the C<sub>3</sub> photosynthetic pathway in SGIW-Perennial and of C<sub>4</sub> plants in SGIW-Seasonal. The characterization of the communities and the knowledge of the tropical landscape evolution are important for understanding the dynamics that controls the delicate balance of wetlands, particularly for developing protective actions and legal support for the defense of these highly threatened environments.

**Keywords:** wetlands; plant community; paleoenvironmental reconstruction.

**Title in English:** Plant community and paleoenvironmental reconstruction of Geographically Isolated Wetlands of the Cerrado: a case study.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização, imagens aéreas e imagens no centro das áreas úmidas analisadas .....	16
Figura 2 – Aplicação das parcelas de 1m <sup>2</sup> na AUGI-Perene durante a estação chuvosa (fevereiro de 2025) .....	17
Figura 3 – Cobertura média das espécies por m <sup>2</sup> .....	22
Figura 4 – Distribuição dos valores de diversidade de Shannon (H') em função do hidroperíodo e da sazonalidade .....	24
Figura 5 – Dendrograma gerado com base no Índice de Dissimilaridade de Bray-Curtis com dados de riqueza e cobertura de espécies por m <sup>2</sup> .....	25
Figura 6 – Análise de Coordenadas Principais obtida através da interação entre os fatores “hidroperíodo” e “estação” .....	26
Figura 7 – Valores de assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ em diferentes profundidades nas AUGIs Perene (Rio Claro) e Sazonal (Cordeirópolis) .....	28
Figura 8 – Cobertura média por m <sup>2</sup> de espécies com mecanismos fotossintéticos C <sub>3</sub> e C <sub>4</sub> em ambas as áreas e estações .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de espécies encontradas nas áreas úmidas de Rio Claro e Cordeirópolis nos levantamentos realizados na estação seca (setembro e outubro de 2024) e chuvosa (fevereiro de 2025) .....	20
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
2.1 Hipóteses e predições .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>15</b>
3.1 Sistema de estudo.....	15
3.1.1 Área Úmida Perene .....	15
3.1.2 Área Úmida Sazonal .....	15
3.2 Coleta de dados e desenho experimental.....	16
3.3 Análise de dados.....	18
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
4.1 Composição florística e parâmetros fitossociológicos: frequência e cobertura .....	20
4.2 Riqueza, diversidade e equitabilidade .....	23
4.3 Comparação da composição de espécies entre áreas .....	24
4.4 Composição de espécies: hidroperíodo e sazonalidade .....	25
4.5 Estrutura das comunidades: abundância das formas de crescimento .....	26
4.6 Espécies exóticas.....	27
4.7 Caracterização do $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis de solo .....	28
4.8 Razão entre plantas $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ .....	29
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A conversão e intensificação do uso da terra, especialmente com agricultura intensiva, são fatores que impactam negativamente o solo, a água e a biodiversidade por fragmentarem profundamente as paisagens naturais (Everard; Wood, 2018). Impactos negativos adicionais relacionados com as mudanças climáticas globais contribuem significativamente através das alterações regionais do padrão de chuvas, de temperatura e do ciclo da água (Junk *et al.*, 2014). A perda de biodiversidade global ocasionada por fatores como mudanças no uso da terra, extração de recursos, poluição, invasão de espécies e mudanças climáticas, resulta em impactos que ameaçam não somente as espécies, mas também o funcionamento do ecossistema como um todo (IPBES, 2019). Assim, conhecer a biodiversidade e os fatores que condicionam a existência das espécies como elementos abióticos e interações ecológicas, é de extrema importância para proporcionar um ponto de comparação do que se sabe hoje com as perdas atuais e futuras da biodiversidade (Mora *et al.*, 2011).

Os impactos da perda de biodiversidade e comprometimento do funcionamento do ecossistema são especialmente visíveis em ambientes sensíveis como as pequenas áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGIs) que, quando inseridas em paisagens antropizadas, têm sua estrutura e funcionalidade alteradas, em alguns casos de forma irreversível (Ramsar Convention Secretariat, 2013). As AUGIs podem ser caracterizadas como depressões circundadas por elevações topográficas que não possuem conexão visível com outro corpo hídrico superficial, seja ele rio, lago ou até mesmo outras áreas úmidas (Tinner, 2003). Dentre os principais serviços ecossistêmicos providos por essas pequenas áreas úmidas, destacam-se a regularização de cheias e alagamento, a capacidade de sequestro de carbono, a recarga de aquífero e a manutenção de elevada e endêmica biodiversidade (Clarkson *et al.*, 2013; Langan *et al.*, 2019). Sendo ambientes sensíveis, as AUGIs sofrem impactos negativos diretos das alterações no uso e ocupação da terra, principalmente da conversão de áreas naturais em pastagens e agricultura promovendo o acúmulo de fertilizantes e pesticidas, e também das mudanças climáticas que afetam a hidrologia e área de alagamento, além da diminuição da biodiversidade e aumento da liberação de gases do efeito estufa pela decomposição de matéria orgânica (Fossey, Rousseau, 2016; Xu *et al.*, 2018).

Uma situação particularmente desafiadora é a exclusão das AUGIs do arcabouço da legislação que estabelece parâmetros e critérios para a conservação. Esse é o status atual das AUGIs na bacia do PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá), área de estudo deste projeto, que não foram inventariadas e não foram reconhecidas por nenhum plano de ordenamento territorial ou código ambiental (Junqueira, 2021). O não reconhecimento e ausência de governança ocorrem apesar da contribuição crucial dessas áreas na promoção de serviços ecossistêmicos e na manutenção de rica biodiversidade de flora e fauna (Bolpagni *et al.*, 2019). O pequeno tamanho (< 10 hectares), a ausência de inventário e da caracterização da flora, fauna e feições hidrogeomorfológicas são condições que limitam a avaliação dos impactos ambientais e a proposta de ações para conservação.

Uma característica marcante das zonas úmidas continentais diz respeito ao período de inundação. Essas inundações podem ocorrer em ciclos hidrológicos periódicos ou irregulares, que influenciam diretamente as comunidades de plantas com diferentes adaptações e respostas ecológicas, que permitem sua sobrevivência em solos inundados permanente ou periodicamente (Bao *et al.*, 2018; Cronk, Fennessy, 2001). A saturação hídrica e a dinâmica de pulso de inundação resultam em um ambiente seletivo que promove a ocupação de uma comunidade vegetal específica, caracterizada por apresentar plantas lenhosas e herbáceas com grande tolerância ecológica aos estresses causados por inundações e secas (Cattanio *et al.*, 2022; Ivanauskas *et al.*, 1997; Junk *et al.*, 2014; Tannus, 2007). Isso faz com que a composição florística das áreas úmidas seja distinta das composições encontradas no entorno dessas áreas em solos bem drenados (Tannus, 2007). A importância desses ambientes úmidos nas regiões em que estão inseridos é vital, uma vez que são fonte de recursos alimentares e proporcionam refúgios temporários ou permanentes para as espécies (Diegues, 2002).

Estudos realizados em climas temperados no Hemisfério Norte e na Austrália apontam diferentes épocas para a formação das AUs. No Hemisfério Norte, a gênese das áreas úmidas é datada da última glaciação do Holoceno causada por mudanças climáticas (Van Der Knaap *et al.*, 2011), enquanto que na Austrália, estudos apontam uma formação mais antiga ocorrida na transição Pleistoceno-Holoceno (Fryirs *et al.*, 2014). No Brasil, o estudo de Horák-Terra *et al.*, (2022), data a formação de uma vereda em Minas Gerais na idade do Pleistoceno tardio, através da deposição sucessional de matéria orgânica em ambiente mais ou menos redutor. Para entender

o contexto de formação dos ambientes úmidos, isótopos estáveis vêm sendo empregados com sucesso em estudos de reconstituição paleoclimática. O sedimento de lagos pode ser uma grande fonte de isótopos estáveis, como matéria orgânica, carbonatos e sílica biogênica (Bird *et al.*, 2020), possibilitando a investigação de ciclos hidrológicos e biogeoquímicos e de mudanças ambientais (Van Hardenbroek *et al.*, 2018).

A utilização do isótopo estável de Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) presente na matéria orgânica do solo vem sendo crescentemente empregada em estudos paleoambientais por permitir uma compreensão acerca o tipo de vegetação e, por consequência, do clima passado através da relação entre os processos fotossintéticos  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  (Bird *et al.*, 2020). No processo de fixação do carbono orgânico, altas temperaturas e/ou baixa pressão de  $\text{CO}_2$  podem resultar no processo de fotorrespiração que diminui significativamente a eficiência da fotossíntese (Ehleringer *et al.*, 1997). O mecanismo fotossintético  $\text{C}_3$  fixa o carbono em carboidratos, mas é afetado pelo processo de fotorrespiração; já o mecanismo  $\text{C}_4$  supera o problema de fotorrespiração concentrando o  $\text{CO}_2$  no local de fixação (Bird *et al.*, 2020). De maneira geral, plantas lenhosas estão relacionadas ao mecanismo  $\text{C}_3$ , enquanto as herbáceas graminóides ao mecanismo  $\text{C}_4$ , que, na região tropical com temperaturas mais elevadas, podem superar as plantas  $\text{C}_3$  (Bird *et al.*, 2020; Bond, 2008; Ehleringer *et al.*, 1997; Still *et al.*, 2003). As mudanças na proporção de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  por alterações climáticas impactam sobre a assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  encontrada nas amostras de matéria orgânica do ecossistema, variando de  $\sim -30\text{‰}$  em florestas tropicais mais densas e  $\sim -12\text{‰}$  em campos abertos recobertos por plantas herbáceas (Bird *et al.*, 2020). Os valores de assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  variam tipicamente de  $-32\text{‰}$  a  $-19\text{‰}$  para plantas  $\text{C}_3$  e de  $-16\text{‰}$  a  $-10\text{‰}$  para plantas  $\text{C}_4$  (Kennedy *et al.*, 2010; Sasmito *et al.*, 2020).

Estudos anteriores envolvendo levantamentos detalhados quanto à florística de ambientes úmidos foram realizados em campo úmido localizado no interior do Estado de São Paulo na Estação Ecológica de Itirapina (Leite *et al.*, 2018; Tannus, 2007) e destacaram o predomínio de gramíneas cespitosas, presença de esparsas plantas arbustivas e ausência de plantas do estrato lenhoso. Conhecer a composição florística é etapa inicial para avaliar a extensão dos impactos estabelecidos pela fragmentação da paisagem e da conversão de uso da terra que podem gerar desequilíbrios na diversidade genética, na configuração física e espacial dos habitats e na ciclagem

biogeoquímica dos gases de efeito estufa, principalmente o metano (CH<sub>4</sub>) (Magalhães; Martínez, 2018; Semlitsch; Bodie, 1998).

Os estudos de caso aqui propostos estão inseridos em uma matriz antrópica caracterizada pela monocultura de cana-de-açúcar, voltada para a produção de biocombustível que vem apresentando indicadores de escassez hídrica e redução per capita de água (PCJ, 2019). Portanto, conservar a integralidade das AUIs é contribuir concretamente com a sustentabilidade ambiental através da preservação da biodiversidade, mitigação de emissões de gases de efeito estufa e aumento da disponibilidade hídrica. O objetivo deste estudo consistiu na descrição e análise comparativa de comunidades vegetais do Cerrado presentes em uma área úmida perene e em outra sazonal. A descrição dessas comunidades teve como propósito contribuir para o entendimento do efeito da sazonalidade sobre suas dinâmicas internas, além de resultar em um inventário florístico que objetiva contribuir para o desenvolvimento de projetos de conservação da biodiversidade. Além disso, a caracterização dos processos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> para as espécies presentes atualmente nas comunidades, visa servir de ponto de referência para as assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  encontradas nas amostras de solo em diferentes profundidades, permitindo reconstituir a comunidade vegetal adaptada às condições paleoclimáticas que atuaram na formação e desenvolvimento destes tipos de áreas úmidas.

## 2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar as comunidades vegetais de duas AUGIs com hidroperíodos contrastantes, através de análises de diversidade, composição e estrutura da vegetação, bem como entender os mecanismos ecológicos e paleoambientais associados às comunidades vegetais, avaliando a contribuição relativa dos tipos fotossintéticos ( $C_3$  e  $C_4$ ).

### 2.1 Hipóteses e predições

**H1.** Diversidade de espécies da comunidade:

*Hipótese:* A diversidade local (riqueza e índice de Shannon –  $H'$ ) difere entre a área perene e a sazonal.

*Predições:*

Perene: menor riqueza e  $H'$  por se tratar de uma comunidade mais especializada.

Sazonal: maior riqueza e  $H'$  devido à maior heterogeneidade ambiental ao longo do ano.

Perene em função da estação: pequena variação sazonal de riqueza e  $H'$ .

Sazonal em função da estação: aumento da riqueza e  $H'$  na estação chuvosa em comparação com a seca.

**H2.** Estrutura das comunidades:

*Hipótese:* A distribuição de formas de crescimento (herbáceas graminóides, herbáceas não graminóides, subarbustos, arbustos e trepadeiras) difere entre as AUGIs e varia entre as estações.

*Predições:*

Perene: maior cobertura relativa de herbáceas aquáticas e graminóides adaptadas à inundação, com pouca variação entre estações.

Sazonal: maior participação relativa de arbustos e subarbustos na seca; aumento de gramíneas/herbáceas na chuvosa.

**H3.** Diferenças na composição de espécies entre hidroperíodos e estações:

*Hipótese:* As comunidades perene e sazonal diferem quanto à composição de espécies.

A diferença composicional entre estações é maior na área sazonal do que na perene.

*Predições:*

Sazonal: alta dissimilaridade entre seca e chuvosa devido à entrada e saída de espécies e flutuações de abundância.

Perene: baixa dissimilaridade entre estações (comunidade mais estável ao longo do ano).

**H4. Dominância e equitabilidade:**

*Hipótese:* A área úmida perene é mais dominada por poucas espécies, enquanto a área úmida sazonal apresenta maior equitabilidade.

*Predições:*

Perene: maiores valores de dominância (uma ou poucas espécies com alta abundância).

Sazonal: menor dominância e maior equitabilidade, especialmente na chuvosa.

**H5. Presença de espécies invasoras:**

*Hipótese:* A sazonal apresenta maior riqueza e cobertura de espécies invasoras do que a perene, ambas com flutuações em função das estações.

*Predições:*

Sazonal: maior riqueza e cobertura de exóticas, com pico na chuvosa (melhores condições de estabelecimento).

Perene: presença de exóticas limitada pela inundação contínua; pouca variação sazonal.

**H6. Tipos fotossintéticos (C<sub>3</sub> vs. C<sub>4</sub>):**

*Hipótese:* A composição funcional em termos de metabolismo fotossintético difere entre AUGIs e entre estações.

*Predições:*

Perene: predominância relativa de espécies C<sub>3</sub> (ambiente mais úmido).

Sazonal: maior proporção de espécies C<sub>4</sub>, especialmente entre gramíneas; a proporção C<sub>4</sub> aumenta na seca enquanto C<sub>3</sub> aumenta na chuvosa.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Sistema de estudo

##### 3.1.1 Área Úmida Perene

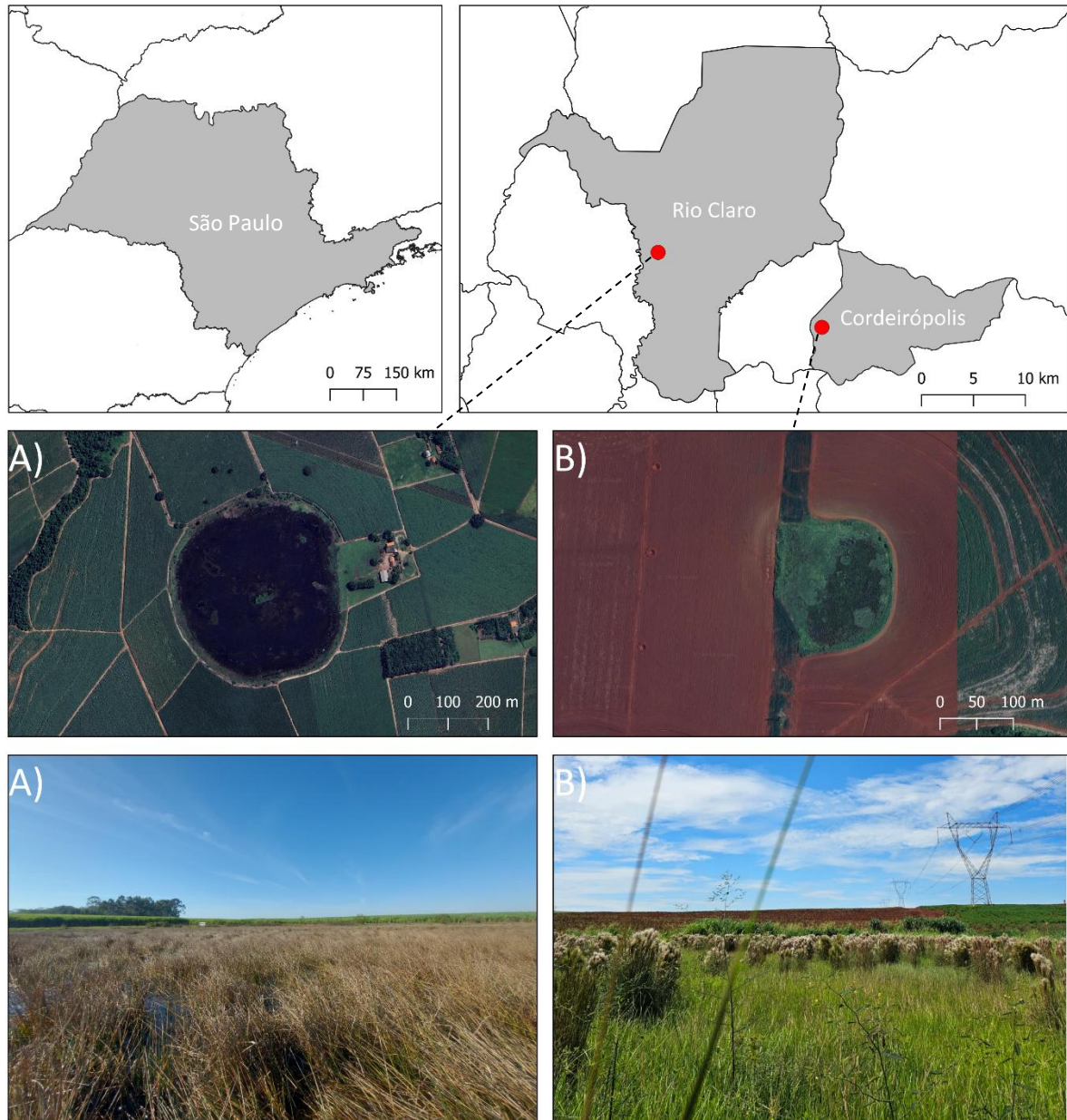
A AUGI-Perene (Figura 1A), também chamada de AU-Campo do Coxo, está localizada no município de Rio Claro (SP). É caracterizada como um sistema permanente com área total de aproximadamente 17,7 ha. No entorno da área úmida domina a cultura semiperene (cana-de-açúcar), pequena área de pastagem e solo exposto nos períodos de entressafra. O município de Rio Claro faz parte da sub-bacia hidrográfica do Rio Corumbataí com exutório no Rio Piracicaba (PMSB Rio Claro, 2014). Possui temperaturas médias máximas e mínimas em torno de 28°C e 15,1°C, respectivamente, e pluviosidade média de 1.300 mm por ano, sendo caracterizado como subtropical de invernos secos e verões quentes. As áreas úmidas perenes se desenvolvem sobre material sedimentar argiloso que forma uma camada compacta que impede o fluxo vertical rápido para o aquífero (Furlan *et al.*, 2023). O longo tempo de permanência de água forma solos saturados do tipo Gleissolo (Embrapa, 2025), contendo horizontes superficiais enriquecidos com matéria orgânica e matriz cinza clara desferruginizada.

##### 3.1.2 Área Úmida Sazonal

A AUGI-Sazonal (Figura 1B), também chamada de AU-Cordeirópolis, é caracterizada como um sistema sazonal e está localizada no município de Cordeirópolis (SP). Possui área de 2,7 ha e seu entorno imediato é composto por cultura semiperene (cana-de-açúcar), solo exposto nos períodos de entressafra e alguns fragmentos de campo natural. O município encontra-se na área das sub-bacias dos rios Jaguari e Piracicaba, e sua hidrografia é caracterizada por drenagem de baixa a média intensidade (PMSB Cordeirópolis, 2015). O Clima é caracterizado como subtropical com invernos secos e verões quentes, tendo temperaturas médias máximas e mínimas de 27,6 °C e 14,9 °C, respectivamente, com pluviosidade média de 1.370 mm. Desenvolvida sobre diabásio, a sazonalidade da área úmida pode estar relacionada com a rede de fraturas na rocha que possibilita uma drenagem rápida da água superficial para o aquífero (Casagrande *et al.*, 2021). Nessas condições, o solo

se caracteriza como Plintossolo (Embrapa, 2025), apresentando segregação localizada de ferro sob condições de restrição à percolação da água.

**Figura 1:** Localização, imagens aéreas e imagens no centro das áreas úmidas analisadas. A) AUGI-Perene (Rio Claro, SP) e B) AUGI-Sazonal (Cordeirópolis, SP).



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Coleta de dados e desenho experimental

O levantamento das espécies vegetais ocorreu através da utilização de 10 parcelas de 1m<sup>2</sup> distribuídas de maneira aleatória em ambas as áreas úmidas (Silva *et al.*, 2016; Silva Filho *et al.*, 2017). Não foram observados parâmetros como distância

da borda ou distância de indivíduos arbóreos para a distribuição das parcelas, garantindo apenas que não se aglomerassem em um ponto específico da área úmida. A única restrição à distribuição das parcelas foi determinada pela possibilidade de acesso ao interior das áreas úmidas devido ao nível da água, principalmente na estação chuvosa. Como critério de inclusão, foram levantadas espécies do estrato herbáceo, sendo elas graminóides e não graminóides, subarbustos, arbustos e trepadeiras; as espécies de porte arbóreo não foram contempladas neste estudo. As áreas foram amostradas em dois períodos distintos: estação seca (setembro e início de outubro de 2024) e estação chuvosa (fevereiro de 2025), com o objetivo de verificar a influência da sazonalidade sobre as comunidades. Em cada parcela estimou-se visualmente a área de cobertura de cada espécie. As espécies foram inicialmente diferenciadas em morfotipos com obtenção de registros fotográficos de suas principais características. As identificações taxonômicas ocorreram com o auxílio de literatura especializada, especialmente de livros como *Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG IV* (Souza; Lorenzi, 2019), e *Plantas Pequenas do Cerrado: biodiversidade negligenciada* (Durigan *et al.*, 2018).

**Figura 2:** Aplicação das parcelas de 1m<sup>2</sup> na AUGI-Perene durante a estação chuvosa (fevereiro de 2025).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A identificação dos mecanismos fotossintéticos deu-se a partir de buscas em literaturas específicas com base na lista de espécies obtida após o levantamento da vegetação. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram obtidos através da matéria orgânica do solo (MOS) coletada no centro das AUs com auxílio de um trado manual do tipo gouge com comprimento de 100 cm, que permite a extração das amostras não perturbadas da coluna do solo (Rosolen *et al.*, 2023). A determinação das assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  (Fórmula 1) encontradas no solo da AUGI-Perene foi realizada em 14 amostras, coletadas em intervalos de 7 cm, totalizando 98 cm de profundidade. Na AUGI-Sazonal, o solo foi amostrado em uma profundidade total de 63 cm, também dividido em intervalos de 7 cm, totalizando 9 amostras de onde foram obtidos os valores da assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  (Rosolen *et al.*, 2023).

$$\delta^i E_{(‰)} = \frac{R(^i E / ^j E)_{amostra}}{R(^i E / ^j E)_{padrão}} - 1 \quad (1)$$

Onde  $^i E$  é o isótopo raro,  $^j E$  o isótopo abundante e  $R(^i E / ^j E)_{padrão}$  são as razões padrões internacionais VPDB. A incerteza padrão da análise foi estimada em  $\pm 0,10‰$  para  $\delta^{13}\text{C}$ .

Este estudo não conta com réplicas espaciais, uma limitação comum em trabalhos com pequenas áreas úmidas geograficamente isoladas. Ainda assim, a abordagem adotada permite comparar, de forma exploratória, as comunidades vegetais de duas áreas contrastantes em termos de hidroperíodo. Portanto, os resultados devem ser interpretados como um estudo de caso, que aponta tendências e hipóteses a serem testadas em futuras pesquisas com maior número de áreas.

### 3.3 Análise de dados

As análises estatísticas foram realizadas no software de programação RStudio, versão R 4.3.0 (R Core Team, 2023). Para este estudo, como critério espacial de análise, as áreas úmidas foram consideradas como duas regiões distintas e as parcelas como comunidades inseridas nessas regiões. Empregaram-se análises que visam comparar a composição da comunidade em cada AUGI e que, portanto, buscam identificar a similaridade ou dissimilaridade entre as comunidades. Foram calculadas

para cada espécie as médias de cobertura e o erro padrão por área úmida e também por estação para verificar a composição florística e os parâmetros fitossociológicos. Para cada amostra, foi calculado o índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e o índice de Equitabilidade de Pielou ( $J'$ ), cujo valor de abundância foi obtido através da cobertura vegetal de cada espécie por parcela. Foram obtidos valores médios e de erro padrão dos índices de diversidade e equitabilidade para cada área úmida e estação. Para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos, os valores de diversidade e equitabilidade foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Na análise de comparação entre as áreas fez-se uso do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis (BC) que leva em consideração as abundâncias relativas de cada espécie, e que, portanto, é mais sensível às mudanças na composição das comunidades. Com base no índice de dissimilaridade, os dados foram agrupados em um dendrograma para verificar a distribuição dos grupos em relação às variáveis hidroperíodo e sazonalidade. Foi empregada uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para verificar a influência dos fatores hidroperíodo e sazonalidade sobre a composição de espécies das comunidades e por fim, foi realizada uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) que proporcionou a ordenação da matriz de composição de espécies obtida através do índice de Bray-Curtis.

A estrutura da comunidade foi analisada com base nas médias e erros padrão de cada forma de crescimento por área e por estação e também na média e erro padrão para a cobertura das espécies nativas e exóticas. A riqueza de espécies (espécies/m<sup>2</sup>) também foi avaliada a partir de valores de média e erro padrão por área. Todos os valores de média e erro padrão foram comparados numericamente, a fim de fazer uma análise descritiva das comunidades vegetais estudadas.

A análise de reconstituição paleoambiental consistiu na comparação das assinaturas do isótopo estável de Carbono ( $\delta^{13}C$ ) obtidas em diferentes profundidades do perfil amostrado, com as assinaturas esperadas pela assembleia de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, permitindo inferir a predominância de um determinado tipo de vegetação em um contexto passado e sua variação ao longo do tempo. Para determinar a composição das comunidades com base nos mecanismos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, foram obtidos valores médios e de erros padrão para a cobertura de cada mecanismo em ambas as áreas úmidas e estações.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Composição florística e parâmetros fitossociológicos: frequência e cobertura

A amostragem resultou no levantamento de 31 espécies (Tabela 1), das quais 12 são encontradas apenas na AUGI-Sazonal, e 11 encontradas apenas na AUGI-Perene.

**Tabela 1:** Lista de espécies encontradas nas áreas úmidas de Rio Claro e Cordeirópolis nos levantamentos realizados na estação seca (setembro e outubro de 2024) e chuvosa (fevereiro de 2025). Cord. = Cordeirópolis; RC. = Rio Claro; Herbácea = Herbácea não graminóides.

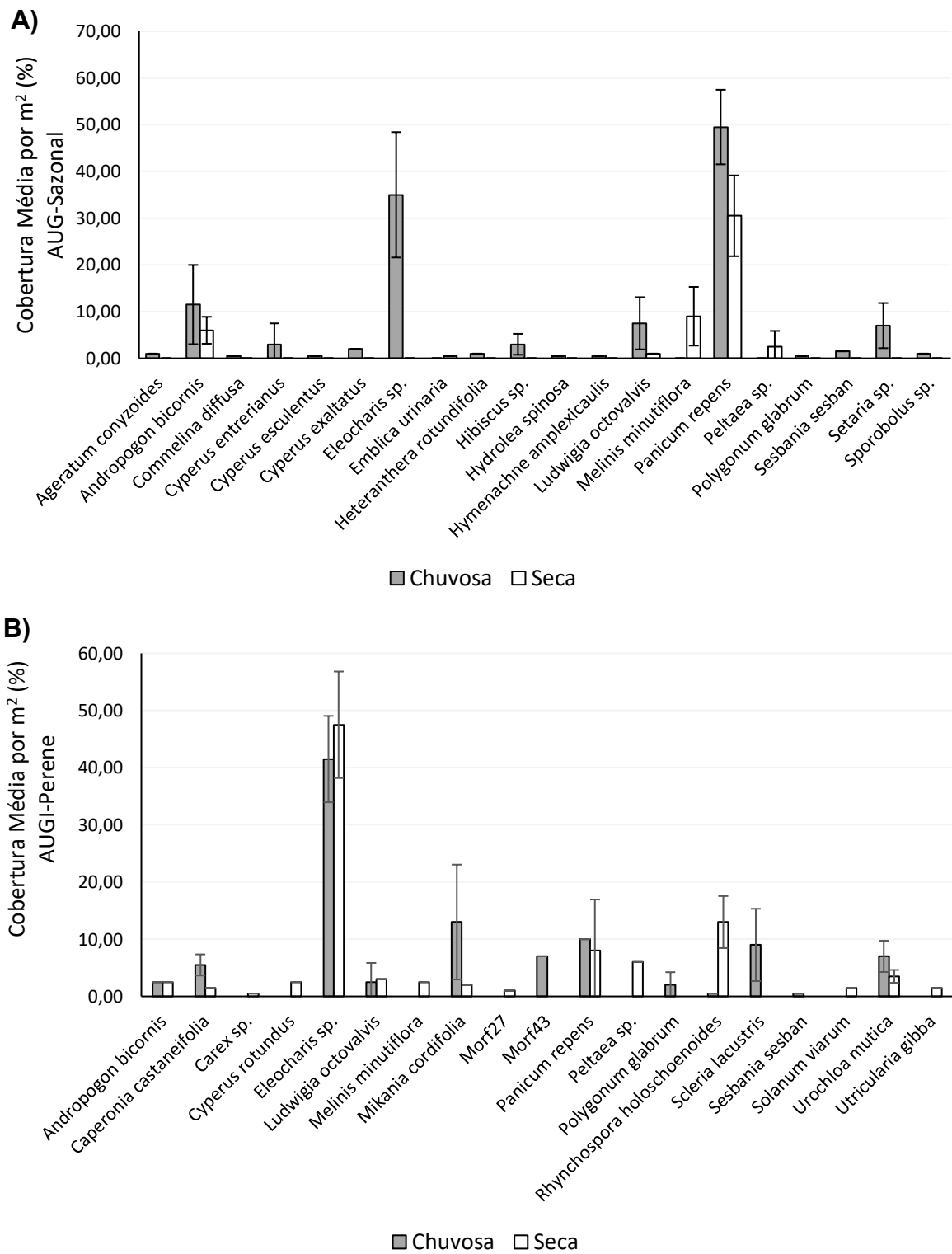
<b>Família</b> <b>Espécie</b>	<b>Local</b>	<b>Hábito</b>	<b>Origem</b>
<b>Asteraceae</b>			
<i>Mikania cordifolia</i> (L.f.) Willd.	RC.	Trepadeira	Nativa
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Cord.	Herbácea	Nativa
<b>Commelinaceae</b>			
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Cord.	Herbácea	Nativa
<b>Cyperaceae</b>			
<i>Carex</i> sp. L.	RC.	Graminóide	Nativa
<i>Cyperus entrerianus</i> Boeckeler	Cord.	Graminóide	Nativa
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cord.	Graminóide	Exótica
<i>Cyperus exaltatus</i> Retz.	Cord.	Graminóide	Nativa
<i>Cyperus rotundus</i> L.	RC.	Graminóide	Exótica
<i>Eleocharis</i> sp. R.Br.	RC./Cord.	Graminóide	Nativa
<i>Rhynchospora holoschoenoides</i> (Rich.) Herter	RC.	Graminóide	Nativa
<i>Scleria lacustris</i> C.Wright	RC.	Graminóide	Nativa
<b>Euphorbiaceae</b>			
<i>Caperonia castaneifolia</i> (L.) A.St.-Hil.	RC.	Herbácea	Nativa
<b>Fabaceae</b>			
<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merr.	RC./Cord.	Arbusto	Exótica
<b>hydroleaceae</b>			
<i>Hydrolea spinosa</i> L.	Cord.	Subarbusto	Nativa
<b>Lentibulariaceae</b>			
<i>Utricularia gibba</i> L.	RC.	Herbácea	Nativa
<b>Malvaceae</b>			
<i>Peltaea</i> sp. (C.Presl) Standl.	RC./Cord.	Herbácea	Nativa
<i>Hibiscus</i> sp. L.	Cord.	Arbusto	Nativa
<b>Nymphaeaceae</b>			
Morf27	RC.	*	*
<b>Onagraceae</b>			
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven	RC./Cord.	Subarbusto	Nativa
<b>Phyllanthaceae</b>			
<i>Emblica urinaria</i> (L.) R.W. Bouman	Cord.	Herbácea	Exótica

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Local</b>	<b>Hábito</b>	<b>Origem</b>
<b>Poaceae</b>				
	<i>Andropogon bicornis</i> L.	RC./Cord.	Gramínea	Nativa
	<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	Cord.	Gramínea	Nativa
	<i>Melinis minutiflora</i> P.Beauv.	RC./Cord.	Gramínea	Exótica
	<i>Panicum repens</i> L.	RC./Cord.	Gramínea	Exótica
	<i>Setaria sp.</i> P. Beauv.	Cord.	Gramínea	Nativa
	<i>Sporobolus sp.</i> R.Br.	Cord.	Gramínea	Nativa
	<i>Urochloa mutica</i> (Forssk.) T.Q.Nguyen	RC.	Gramínea	Exótica
<b>Polygonaceae</b>				
	<i>Polygonum glabrum</i> Willd.	RC./Cord.	Herbácea	Nativa
<b>Pontederiaceae</b>				
	<i>Heteranthera rotundifolia</i> (Kunth) Griseb.	Cord.	Herbácea	Nativa
<b>Solanaceae</b>				
	<i>Solanum viarum</i> Dunal	RC.	Arbusto	Nativa
<b>Morf43</b>		RC.	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

As famílias com maiores números de espécies foram Cyperaceae (8) e Poaceae (7). As espécies mais frequentes foram *Eleocharis sp.*, *Panicum repens* e *Andropogon bicornis*, encontradas, respectivamente, em 18, 17 e 11 parcelas do total das 40 amostradas. Na área úmida sazonal, as maiores coberturas médias por m<sup>2</sup> foram observadas para as espécies *Panicum repens*, tanto na estação chuvosa (49,5 ± 8%) quanto na seca (30,5 ± 8,6%), e *Eleocharis sp.* durante a estação chuvosa (35 ± 13%) (Figura 3A). As espécies com maiores coberturas por m<sup>2</sup> na AUGI-Perene foram *Eleocharis sp.* tanto na estação seca quanto chuvosa (47,5 ± 9% e 41,5 ± 7,5%, respectivamente), seguidas pelas espécies *Mikania cordifolia* na estação chuvosa (13 ± 10%) e *Rhynchospora holoschoenoides* na estação seca (13 ± 4,5%) (Figura 3B).

**Figura 3:** Cobertura média das espécies por m<sup>2</sup> encontradas na AUGI-Sazonal (A) e na AUGI-Perene (B) e valores de erro padrão.



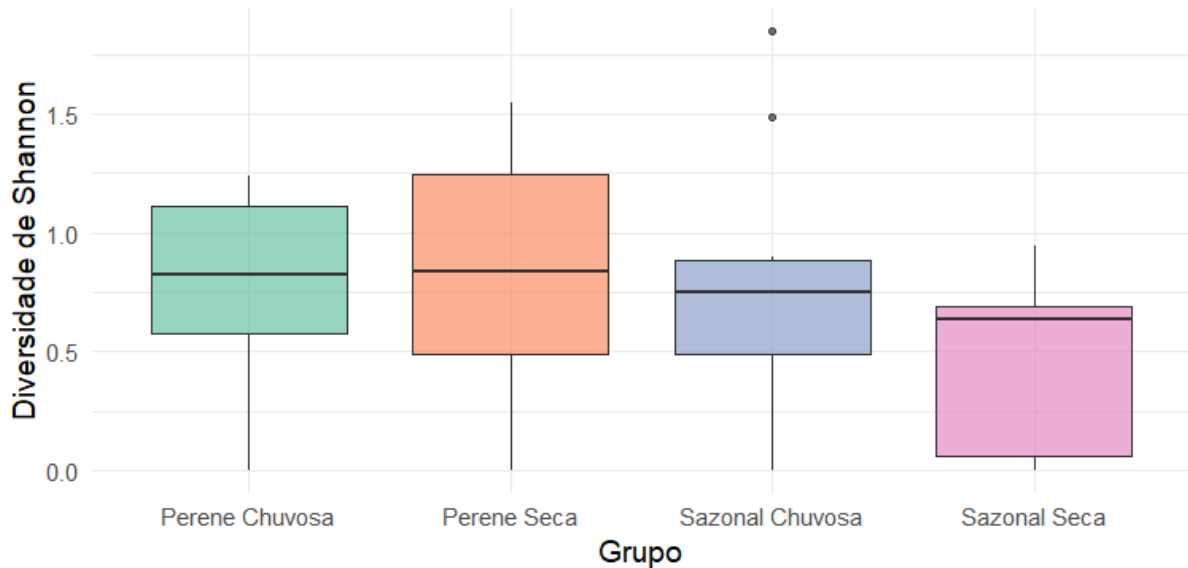
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 Riqueza, diversidade e equitabilidade

O maior valor de diversidade, considerando ambas as estações, foi observado na AUGI-Perene ( $H' = 0,792 \pm 0,1$ ). A riqueza média desta área foi de aproximadamente  $3 \pm 0,3$  espécies por  $m^2$ . Na AUGI-Sazonal, o valor de diversidade médio também considerando ambas as estações foi  $H' = 0,617 \pm 0,1$ . A riqueza média desta área úmida é de aproximadamente  $3 \pm 0,4$  espécies por  $m^2$ . Considerando a AUGI-Perene em função da sazonalidade, o maior valor de diversidade foi observado durante a estação seca ( $H' = 0,823 \pm 0,16$ ) do que na chuvosa ( $H' = 0,762 \pm 0,13$ ), mas a riqueza média manteve-se a mesma em ambas as estações (aproximadamente  $3 \pm 0,4$  espécies por  $m^2$ ). Esses valores demonstram uma variação sazonal pequena para esta AUGI. Na área úmida sazonal, o maior valor de diversidade foi encontrado durante a estação chuvosa ( $H' = 0,762 \pm 0,18$ ) em comparação com a seca ( $H' = 0,472 \pm 0,12$ ). Os valores de riqueza média não variaram, sendo  $2 \pm 0,3$  espécies por  $m^2$  na estação seca e aproximadamente  $3 \pm 0,7$  espécies por  $m^2$  na chuvosa. Estatisticamente os valores de diversidade não diferiram entre as áreas úmidas e as estações (Teste Kruskal-Wallis:  $p\text{-value} = 0,377$ ) (Figura 4).

Os valores de equitabilidade foram intermediários em ambas as áreas úmidas ( $J' = 0,676 \pm 0,1$  para a AUGI-Perene e  $J' = 0,557 \pm 0,1$  para a AUGI-Sazonal). Considerando as áreas em função da sazonalidade, os valores de equitabilidade não variaram (Teste Kruskal-Wallis:  $p\text{-value} = 0,711$ ), tanto para a AUGI-Perene ( $J' = 0,689 \pm 0,1$  na estação seca e  $J' = 0,662 \pm 0,1$  na chuvosa) quanto para a AUGI-Sazonal ( $J' = 0,566 \pm 0,1$  na chuvosa e  $J' = 0,548 \pm 0,1$  na seca). Esses valores indicam uma distribuição moderada de abundâncias na comunidade. Portanto, existe a representatividade de várias espécies na comunidade, mas algumas apresentam dominância local como *Panicum repens* na AUGI-Sazonal e *Eleocharis sp.* na AUGI-Perene (Figura 3). Assim, o índice de equitabilidade revela um padrão geral de representatividade no conjunto da comunidade, mas não elimina a presença de espécies dominantes em determinadas parcelas ou condições ambientais.

**Figura 4:** Distribuição dos valores de diversidade de Shannon (H') em função do hidroperíodo e da sazonalidade. Dados obtidos nos levantamentos da vegetação realizados na estação seca (setembro e outubro de 2024) e na estação chuvosa (fevereiro de 2025) nos municípios de Cordeirópolis e Rio Claro.

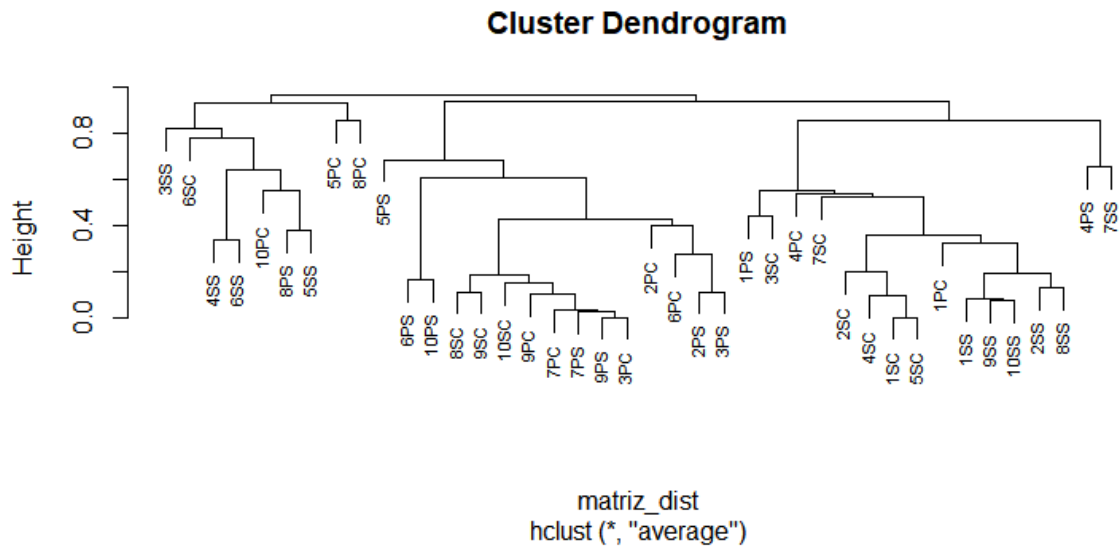


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Comparação da composição de espécies entre áreas

A análise de dissimilaridade de Bray-Curtis revelou alta variação entre as parcelas considerando as duas áreas úmidas, com média de  $80 \pm 1\%$  de diferença na composição de espécies. Ambas as áreas úmidas, perene e sazonal, apresentaram um alto valor interno de dissimilaridade, respectivamente  $73 \pm 2\%$  e  $74 \pm 2\%$ . Essa alta dissimilaridade aponta que ambas as áreas possuem elevada heterogeneidade composicional. Na AUGI-Sazonal, não há variação na dissimilaridade entre as parcelas da estação chuvosa ( $70 \pm 4,8\%$ ) para a seca ( $70,6 \pm 5\%$ ). Na AUGI-Perene os valores de dissimilaridade são mais variados, sendo a comunidade mais desigual durante a estação chuvosa ( $77 \pm 4,3\%$ ) do que na estação seca ( $67 \pm 4,3\%$ ). O dendrograma (Figura 5) evidenciou que as parcelas apresentam maior tendência de agrupamento em função do hidroperíodo (perene vs. sazonal), enquanto o efeito da sazonalidade (seca vs. chuvosa) mostrou-se menos evidente.

**Figura 5:** Dendrograma gerado com base no Índice de Dissimilaridade de Bray-Curtis com dados de riqueza e cobertura das espécies por m<sup>2</sup>. O primeiro número dos rótulos diz respeito ao número da parcela, a primeira letra indica a área da qual ela foi coletada (“P” para perene e “S” para sazonal), a segunda letra informa em que estação o dado foi obtido (“C” para chuvosa e “S” para seca).



Fonte: Elaborado pelo autor.

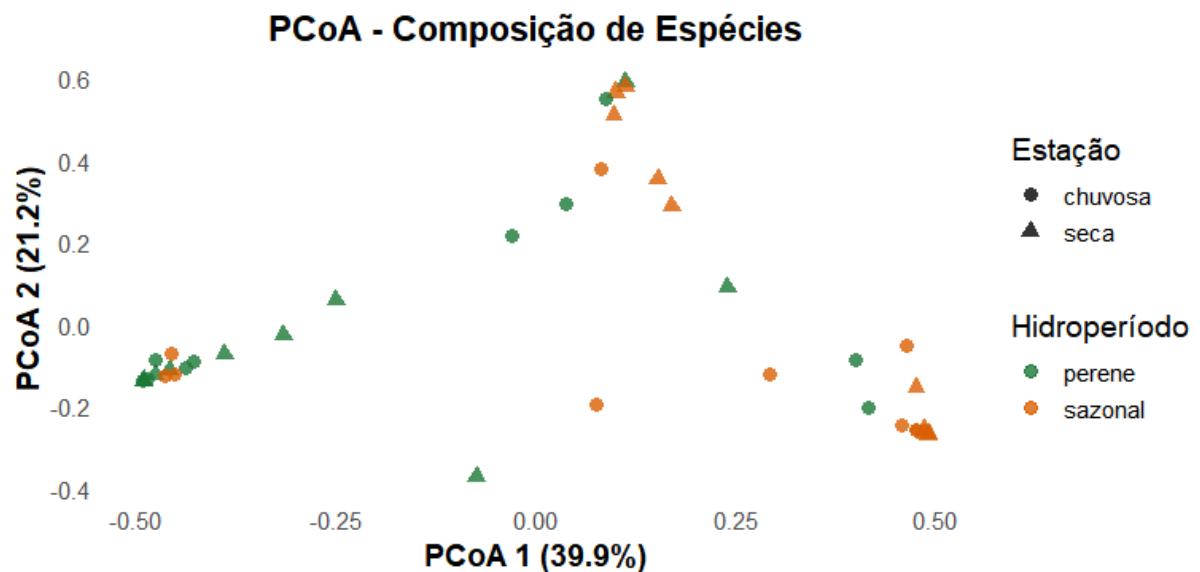
#### 4.4 Composição de espécies: hidroperíodo e sazonalidade

A análise PERMANOVA indicou que o fator “hidroperíodo” pode exercer uma influência significativa sobre a composição de espécies ( $F = 6,476$ ;  $p = 0,001$ ), sendo responsável por aproximadamente 15% da variação encontrada ( $R^2 = 0,146$ ). Por outro lado, o fator “estação” não apresenta indícios de ser determinante para a composição das comunidades ( $F = 1,390$ ;  $p = 0,201$ ), explicando aproximadamente 3% da variação ( $R^2 = 0,035$ ). Ao testar a interação entre os fatores “hidroperíodo” e “estação”, o hidroperíodo permaneceu como principal possível fator estruturante ( $F = 6,798$ ;  $p = 0,001$ ), embora a interação também tenha demonstrado indícios de ser importante para a composição da comunidade ( $F = 2,241$ ;  $p = 0,054$ ).

Adicionalmente, os testes de homogeneidade de dispersão (betadisper) demonstraram variâncias semelhantes entre os grupos hidroperíodo ( $p = 0,846$ ) e estação ( $p = 0,424$ ). Isso assegura a validade do teste PERMANOVA e apresenta indícios mais robustos de que o efeito significativo do hidroperíodo não é causado pela variabilidade interna das comunidades, mas sim pela existência de diferenças reais na composição de espécies entre as áreas úmidas.

Os dois primeiros eixos da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) explicaram respectivamente 39,9% (PCoA1) e 21,2% (PCoA2) da variação, totalizando 61,1% (Figura 6). É possível perceber uma maior divisão dos pontos em função da cor (hidroperíodo) do que da forma (estação), corroborando o que foi observado para a análise PERMANOVA, onde a diferença entre os hidroperíodos apresenta maior indício de ser um fator estruturante para as comunidades do que as mudanças sazonais (Figura 6).

**Figura 6:** Análise de Coordenadas Principais obtida através da interação entre os fatores “hidroperíodo” e “estação”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5 Estrutura das comunidades: abundância das formas de crescimento

A forma de crescimento dominante na AUGI-Perene é a de herbácea graminóide com  $75,25 \pm 7\%$  de cobertura média por  $m^2$ , seguida pelas formas de herbáceas não graminóides ( $8,25 \pm 3\%$ ) e trepadeiras ( $7,50 \pm 4\%$ ). As formas de vida subarbustivas e arbustivas foram menos abundantes na comunidade ( $2,75 \pm 1,8\%$  e  $1 \pm 0,8\%$ , respectivamente). A porcentagem de cobertura das formas de vida não variou entre as estações para essa AUGI, destacando o aumento na estação seca de 1,5% de cobertura de herbáceas não graminóides, 9,5% de herbáceas graminóides, 0,5% de subarbustos e 1% de arbustos, e o aumento de 11% de cobertura de trepadeiras na estação chuvosa. Na AUGI-Sazonal a forma de crescimento predominante é a de herbácea graminóide, com cobertura média por  $m^2$  de  $73 \pm 10\%$ .

A esta, seguem-se as formas de crescimento de subarbustos ( $4,5 \pm 2,7\%$ ), herbáceas não graminóides ( $2,75 \pm 1,5\%$ ) e arbustos ( $2,25 \pm 1,3\%$ ). Verificou-se um aumento de 74% na cobertura de herbáceas graminóides durante estação chuvosa, além do aumento de herbáceas não graminóides em 0,5%, de subarbustos em 7% e arbustos em 4,5% (forma de crescimento não encontrada durante a estação seca). A forma de crescimento de trepadeira não foi encontrada nesta área úmida.

#### 4.6 Espécies exóticas

Das 31 espécies encontradas, 7 são exóticas invasoras (desconsiderando os morfotipos não identificados). Dentre as principais destacam-se *Panicum repens*, encontrada em ambas as AUGIs e estações, *Melinis minutiflora*, também nas duas áreas úmidas, mas somente na estação seca, e *Urochloa mutica*, amostrada apenas na área úmida perene, mas em ambas as estações.

Em termos de abundância, *Panicum repens* é a espécie exótica invasora que apresenta maior cobertura por  $m^2$  na área úmida sazonal, alcançando  $49,5 \pm 8\%$  na estação chuvosa e  $30,5 \pm 8,6\%$  na seca. Na AUGI-Perene, essa espécie também apresentou a maior cobertura entre as exóticas, com  $10 \pm 0\%$  na estação chuvosa e  $8 \pm 9\%$  na seca, seguida por *Urochloa mutica*, com  $7 \pm 3\%$  na chuvosa e  $3,5 \pm 1\%$  na seca.

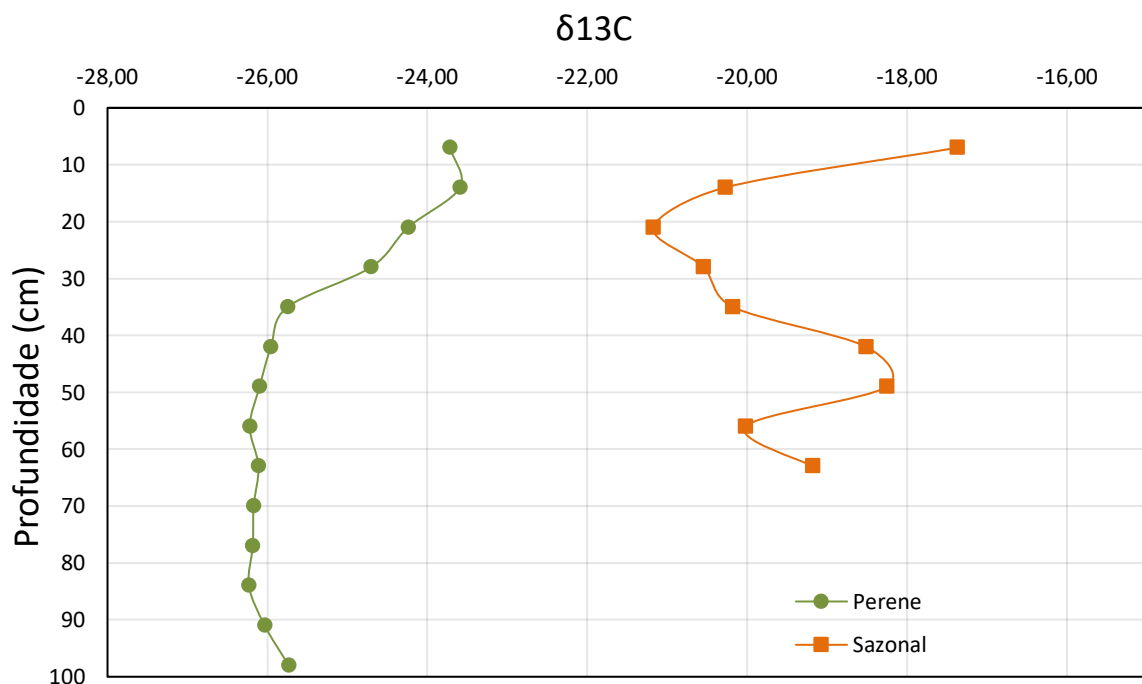
Na AUGI-Sazonal, a cobertura média de espécies exóticas foi de  $45,75 \pm 8,6\%$ , apresentando variação sazonal:  $40 \pm 8\%$  na seca e  $51,5 \pm 15\%$  na chuvosa, representando um aumento de 11,5% entre as estações. A riqueza média foi de aproximadamente  $1 \pm 0,15$  espécies exóticas por  $m^2$  ( $1 \pm 0,1$  na seca e  $1 \pm 0,2$  na chuvosa). Foram registradas 5 espécies exóticas invasoras nessa área, das quais duas são exclusivas (*Cyperus esculentus* e *Emblica urinaria*).

Na AUGI-Perene, a cobertura média de espécies exóticas foi de  $17 \pm 5\%$ , com discreto aumento na estação chuvosa ( $16,5 \pm 7\%$  na seca e  $17,5 \pm 6\%$  na chuvosa). A riqueza média foi de  $1 \pm 0,1$  espécie exótica por  $m^2$  ( $1 \pm 0,3$  na seca e  $1 \pm 0,1$  na chuvosa). Ao todo, foram registradas 5 espécies exóticas invasoras nessa área, sendo *Urochloa mutica* e *Cyperus rotundus* exclusivas.

#### 4.7 Caracterização do $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis de solo

Na AUGI-Perene de Rio Claro, os valores de assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de -23,59 a -26,23‰, com média igual a  $-25,48 \pm 0,26\text{‰}$ . De maneira geral, os valores apresentaram baixa variabilidade, demonstrando uma tendência de assinaturas mais negativas da superfície para a base, embora não indiquem mudança de vegetação (Figura 7). Em todo o perfil, os padrões de assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  revelam a predominância de uma vegetação com mecanismo fotossintético  $\text{C}_3$ . Na AUGI-Sazonal de Cordeirópolis, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  forma menos negativos, entre -17,37 e -21,18‰, com média de  $-19,50 \pm 0,41\text{‰}$  (Figura 7). Diferente da AUGI-Perene, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tiveram uma variabilidade maior em função da profundidade: a camada superficial apresentou valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos. A 20 cm de profundidade, o valor torna-se mais negativo, tendendo para plantas  $\text{C}_3$  e, novamente, se altera para valores por volta de -18‰ nas profundidades entre 42 e 49 cm. Abaixo, até 63 cm, novamente oscila para valores mais negativos ( $\sim -19\text{‰}$  e  $-20\text{‰}$ ).

**Figura 7:** Valores de assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  em diferentes profundidades nas AUGIs Perene (Rio Claro) e Sazonal (Cordeirópolis). Amostras obtidas em intervalos de 7 cm, sujeitas ao cálculo para identificação das assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$ .



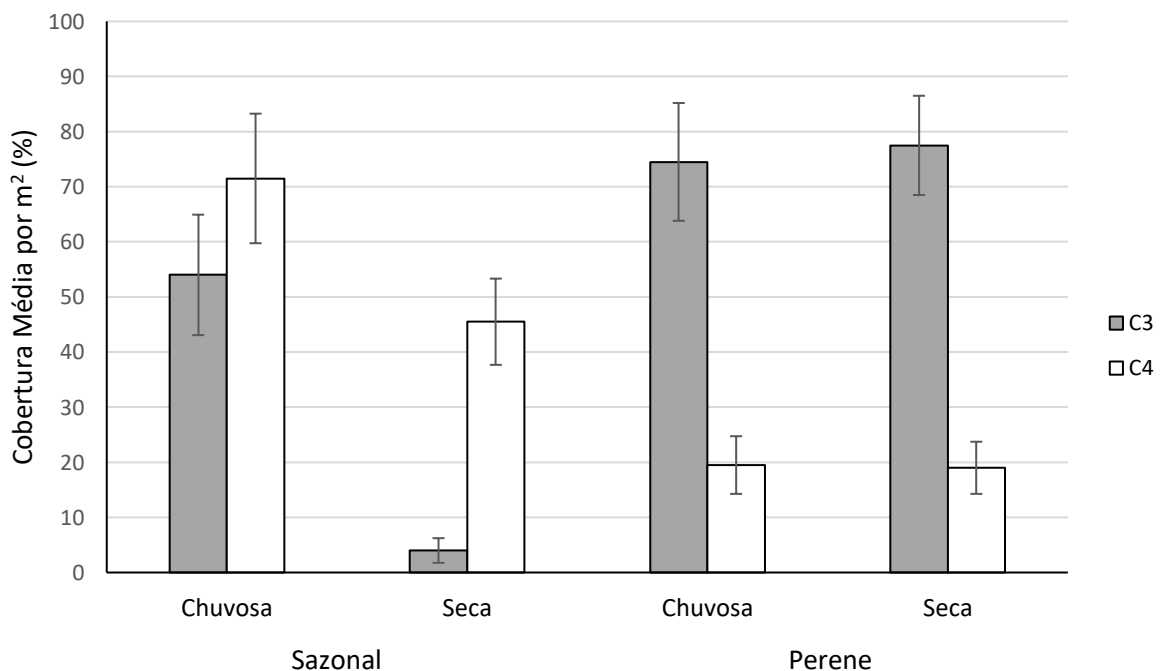
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.8 Razão entre plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>

Na AUGI-Sazonal em ambas as estações, a porcentagem de cobertura média por m<sup>2</sup> de espécies com mecanismo fotossintético C<sub>4</sub> (estação chuvosa = 71,5 ± 11,7% e seca = 45,5 ± 7,8%) foi numericamente maior do que a cobertura média de espécies com mecanismo C<sub>3</sub> (estação chuvosa = 54 ± 10,9% e seca = 4 ± 2,2%). Na AUGI-Perene, entretanto, as plantas C<sub>3</sub> (estação seca = 77,5 ± 9% e chuvosa = 74,5 ± 10,7%) superaram as plantas C<sub>4</sub> (seca = 19 ± 4,7%, chuvosa = 19,5 ± 5,2%) em cobertura média por m<sup>2</sup> em ambas as estações (Figura 8). É interessante notar que na área úmida perene os valores de cobertura média de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> tiveram pouca alteração durante as duas estações. Já na AUGI-Sazonal a variação de porcentagem de cobertura média foi numericamente maior, principalmente de espécies C<sub>3</sub> durante a estação chuvosa e seca (Figura 8).

A riqueza média é de 0,4 ± 0,2 espécies C<sub>3</sub> e 2 ± 0,2 espécies C<sub>4</sub> por parcela na estação seca e 2 ± 0,5 espécies C<sub>3</sub> e 2 ± 0,4 espécies C<sub>4</sub> por parcela na estação chuvosa para a AUGI-Sazonal. Na AUGI-Perene tanto durante a estação seca quanto na chuvosa, a riqueza média por parcela é de 2 espécies C<sub>3</sub> (± 0,3 na estação seca e ± 0,4 na chuvosa) e 1 espécie C<sub>4</sub> (± 0,3 na seca e ± 0,2 na chuvosa).

**Figura 8:** Cobertura média por m<sup>2</sup> de espécies com mecanismos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> para as áreas úmidas perene e sazonal em ambas as estações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 DISCUSSÃO

### *Caracterização das comunidades vegetais:*

Nossos resultados indicam que a composição de espécies foi influenciada principalmente pela variabilidade de hidroperíodo, e não pela sazonalidade. Em contrapartida, os índices de diversidade, riqueza, equitabilidade e a distribuição das formas de crescimento não diferiram entre as áreas úmidas nem entre as estações.

É esperado que a diferença do ciclo de inundação das áreas úmidas influencie a composição de espécies das comunidades vegetais que se estabelecem sobre esses ambientes, uma vez que a diferença entre hidroperíodos impõe pressões ambientais sobre as espécies que precisam apresentar diversos mecanismos adaptativos para sobrevivência nesses locais (Correa-Araneda *et al.*, 2012; Junk *et al.* 1989; Williams, 2006). Embora algumas espécies típicas do cerrado consigam sobreviver em curtos períodos de inundação, o prolongamento da permanência de água no solo em áreas úmidas pode funcionar como um filtro ambiental que restringe o número de espécies do *pool* regional que poderiam viver nesses ambientes (Chase, 2003; Cianciaruso; Batalha, 2008). A existência dessa limitação no estabelecimento de espécies, dada pela diferença de hidroperíodos, auxilia nos altos valores de dissimilaridade encontrados neste estudo (80%) influenciados pelo grande número de espécies encontradas exclusivamente em apenas uma área úmida. Esta alta dissimilaridade entre as áreas é algo esperado para campos úmidos do cerrado, que tende a aumentar quanto maior for a distância entre elas, principalmente levando em consideração as espécies herbáceas e subarborescentes, que são mais sensíveis às variações ambientais (Sasaki, 2006; Tannus, 2007). Entretanto, considerando a grande variação ambiental de fitofisionomias campestres e savânicas como condições climáticas (ritmos sazonais e precipitação) e pedológicas, uma amostragem menor que um ano de coleta e com ausência de réplica espacial, como é o caso do presente estudo, pode resultar em uma subamostragem da vegetação e impactar nos valores de dissimilaridade.

Dentre as espécies mais abundantes nos dois locais analisados, destacam-se *Panicum repens* e *Eleocharis sp.* *Panicum repens* é uma espécie exótica encontrada com certa abundância em ecossistemas de água doce, sejam eles reservatórios de bacias, planícies de inundação ou áreas úmidas isoladas (Amorim, 2012; Martins *et al.*, 2008; Pott *et al.*, 2011). *Eleocharis* é também um gênero bastante frequente que

se destaca por apresentar um elevado número de espécies em áreas úmidas, como demonstrado por Moreira *et al.* (2011) e Tannus (2007), que compilou 16 listagens de espécies encontradas em áreas de campos úmidos do Cerrado e dos *Llanos* da Venezuela e Bolívia. As famílias Poaceae e Cyperaceae se destacam em ambientes úmidos porque possuem representantes perenes, ou seja, são encontradas tanto em períodos de alagamento quanto em períodos que a coluna d'água é baixa ou inexistente (Bove *et al.*, 2003; Cruz *et al.*, 2020).

Quanto maiores as variações na amplitude do lençol freático e no acúmulo de água da chuva, que determinam o nível de alagamento, maior tende a ser a diversidade florística (Durigan *et al.*, 2022). Assim, era esperado que a área úmida sazonal apresentasse maior diversidade em comparação à área úmida perene. No caso da AUGI-Perene, os valores de diversidade eram previstos para serem menores, já que a presença constante de água atua como um fator limitante para a colonização por espécies de ambientes mais secos, comuns nos arredores (Ribeiro *et al.*, 2021; Durigan *et al.*, 2022). No entanto, contrariamente ao previsto, os valores de diversidade não diferiram entre as áreas úmidas. Em relação à sazonalidade, na AUGI-Sazonal, os valores de diversidade foram semelhantes tanto na estação chuvosa quanto na seca, diferente do encontrado por Rebellato e Cunha, (2005), que verificaram uma maior diversidade no período chuvoso ( $H' = 4,01$ ) do que no período de estiagem ( $H' = 3,29$ ) em campos inundáveis do Pantanal. Ainda segundo Rebellato e Cunha, (2005), os maiores valores de diversidade no período chuvoso estão provavelmente relacionados com a possibilidade do estabelecimento de espécies tanto anfíbias quanto aquáticas, além da permanência de algumas espécies terrestres que conseguem suportar certos períodos de alagamento. Os valores de diversidade para a AUGI-Perene também não apresentaram diferenças estatísticas entre as estações. Isso era esperado pelo fato de o ambiente permanentemente inundável ser mais estável durante o ano, com menores flutuações na coluna d'água impedindo que espécies terrestres se estabeleçam na área. Os valores de diversidade encontrados neste estudo foram menores do que os observados anteriormente em áreas úmidas do Cerrado. O estudo realizado por Tannus, (2007) em um campo úmido do Cerrado apresentou valores de diversidade que variaram de  $H' = 3,2$  a  $H' = 3,7$ . Em áreas de veredas em Goiás, Resende *et al.*, (2013), encontraram valores de diversidade que variaram de  $H' = 2,8$  a  $H' = 3,4$ .

A heterogeneidade dos hidroperíodos é geralmente considerada como uma das variáveis mais importantes que influenciam a riqueza de espécies das áreas úmidas (Brose, 2001; Pollock *et al.*, 1998; Vivian-Smith, 1997). Entretanto, o presente estudo demonstrou valores de riqueza semelhantes para as duas AUGIs e em ambas as estações ( $3 \pm 0,4$  espécies para a AUGI-Perene na estação chuvosa e seca;  $2 \pm 0,3$  espécies na estação seca e  $3 \pm 0,7$  espécies na chuvosa para a AUGI-Sazonal). Era esperado que os valores de riqueza fossem maiores para a AUGI-Sazonal, principalmente na estação chuvosa, já que estudos como o de Altenfelder *et al.*, (2016) e Casanova e Brock, (2000), demonstraram, através de testes de germinação, que o número de espécies diminui ao passo que a equitabilidade aumenta com o aumento da duração do período de inundação. Isso porque muitas plantas terrestres e anfíbias apresentam uma maior taxa de germinação em momentos em que o período de inundação é curto ou ausente, desde que a competição seja baixa (Altenfelder *et al.*, 2016).

As áreas úmidas analisadas neste estudo estão inseridas em uma matriz altamente modificada por atividades humanas, cercadas por áreas de cultura semiperene de cana-de-açúcar, pastagens e solo exposto no período de entressafra. Atividades antrópicas como mudanças no uso do solo para pastagens e agricultura e o avanço da urbanização impactam a riqueza e diversidade de espécies encontradas nas áreas úmidas, que são sistemas bastante sensíveis às alterações ambientais (Durigan *et al.*, 2022). Além disso, as pressões antrópicas também facilitam a invasão de espécies exóticas que tendem a dominar nesses ambientes, diminuindo a riqueza e diversidade de espécies nativas (Rossi *et al.*, 2014). Esses fatores podem explicar os baixos valores de riqueza e diversidade encontrados neste estudo, tanto para a AUGI-Perene quanto para a AUGI-Sazonal. O estudo de Souza e colaboradores (2022) que contou com vinte anos de amostragem, verificou uma redução na riqueza e perda de metade da biodiversidade em uma área úmida do Cerrado sujeita a altas pressões antrópicas, bem como evidenciou a existência de dominância de poucas espécies, dentre elas uma exótica, também contribuindo para a diminuição nos índices de riqueza e diversidade.

Os valores intermediários de equitabilidade encontrados neste estudo, evidenciam a representação de diversas espécies nas comunidades, mas não excluem a presença de espécies dominantes localmente, como é o caso de *Panicum repens* na AUGI-Sazonal e *Eleocharis sp.* na AUGI-Perene. O fato de ambas as

espécies serem de plantas perenes e suportarem ambientes parcialmente e/ou totalmente alagados, auxilia na dominância das áreas, enquanto outras espécies anuais podem desaparecer na época de estiagem ou terem sua população drasticamente reduzida (Bove *et. al.*, 2003).

Os campos úmidos do Cerrado são compostos predominantemente por formações herbáceo-subarbustivas (Sano *et al.*, 2008). Como esperado para este estudo, a forma de crescimento predominante em ambas as áreas úmidas foi a de herbáceas graminóides, que incluem famílias como Poaceae e Cyperaceae. As plantas herbáceas (graminóides e não graminóides) possuem papéis essenciais nesses ambientes úmidos por constituírem habitats para espécies de animais terrestres e aquáticos e serem responsáveis por uma alta biomassa e produção primária líquida, importantes para as teias alimentares e ciclagem de nutrientes (Junk; Piedade, 1997). Plantas herbáceas apresentam diversos mecanismos que possibilitam sua sobrevivência em ambientes sujeitos a alagamentos e secas periódicas, como a produção de sementes resistentes à seca e inundação, produção de grande número de diásporos em plantas terrestres e a sobrevivência de rizomas de plantas aquáticas em ambientes em que a umidade do solo seja conservada durante momentos de seca (Junk; Piedade, 1997). A baixa frequência de arbustos e subarbustos é esperada para os campos limpos úmidos do Cerrado, que em sua maioria são de formação herbácea (Sano *et al.*, 2008). As espécies de subarbustos *Hydrolea spinosa* e *Ludwigia octovalvis* identificadas neste estudo são geralmente encontradas em ambientes úmidos como lagos e margens de curso d'água (Bittrich; Amaral, 2016; Souza; Lorenzi, 2019). Espécies arbustivas do gênero *Sesbania* crescem em ambientes úmidos, às margens de lagoas, rios e pântanos (Bunma; Balslev, 2019; Lewis *et. al.*, 2005). Espécies do gênero *Hibiscus* são frequentemente encontradas em áreas paludosas da Mata Atlântica, especialmente na restinga, áreas brejosas, matas ciliares e diversas fitofisionomias do Cerrado (Rigueiral *et al.*, 2019). Por outro lado, o arbusto *Solanum viarum* não é tipicamente encontrado em ambientes úmidos, mas sim em formações campestres e em áreas degradadas (Santos *et al.*, 2019).

Em nosso estudo, foram levantadas 9 espécies exóticas encontradas nos campos úmidos do Cerrado. Dentre elas, destacam-se por ter maior cobertura as espécies *Panicum repens*, *Melinis minutiflora* e *Urochloa mutica*, sendo as duas primeiras encontradas em ambas as áreas úmidas e a última, na área úmida Perene.

A substituição da vegetação nativa do Cerrado por áreas de pastagens e monoculturas, somada à introdução de espécies exóticas, resulta na diminuição da biodiversidade deste bioma, bem como prejudica o funcionamento dos ecossistemas naturais (Bossard *et al.*, 2000; Pivello, 2011). Dentre as espécies invasoras mais agressivas para o Cerrado, destacam-se as gramíneas africanas, especialmente *Melinis minutiflora*, introduzidas para formação de pastagem. Ao invadirem uma área, encontram características ambientais favoráveis para seu desenvolvimento, como regime de chuvas e temperaturas adequadas, além de possuírem propriedades biológicas que favorecem a ocupação de áreas abertas e ensolaradas, como a presença de metabolismo C<sub>4</sub> (Pivello, 2011). Com o passar dos anos, a presença dessas espécies exóticas descaracteriza as fitofisionomias naturais e afeta o funcionamento do ecossistema. Isso porque, possuindo comportamento oportunista, são capazes de colonizar áreas perturbadas e/ou que passaram por queimadas recentes, deslocando as espécies nativas do Cerrado. A intensa produtividade dessas espécies gera grande quantidade de biomassa combustível, capaz de alterar o regime do fogo, além de impactar os processos de ciclagem de nutrientes, especialmente do nitrogênio, devido à sua rápida captação e utilização durante a fase de crescimento das plantas (Asner; Beatty, 1996; D'Antonio; Vitousek, 1992; Martins, 2006; Pivello, 2011).

A presença de espécies exóticas na área úmida sazonal pode estar relacionada com a intensa conversão e uso do solo para monocultura de cana-de-açúcar no entorno imediato da área, além da ocorrência de um incêndio que removeu a cobertura original. A presença de espécies exóticas na área úmida Perene também pode estar relacionada com a conversão do solo em seu entorno para monocultura. Entretanto, as condições de presença contínua de água e solo hidromórfico, podem atuar como uma barreira para a colonização de espécies invasoras, que precisam possuir características adaptadas para sua sobrevivência em ambientes inundados permanentemente. Neste cenário, a presença da espécie exótica *Panicum repens*, é mais expressiva, uma vez que esta gramínea possui adaptações para sobrevivência em ambientes campestres e aquáticos, habitando fitofisionomias de campo limpo e bordas de corpos d'água (Santos *et al.*, 2019). Além disso, a invasão de *P. repens* também é observada nas planícies de inundação do pantanal, principalmente em regiões que sofreram distúrbios ambientais e em áreas de solo arenoso (Pott; Pott, 2004).

Uma limitação importante deste estudo é a ausência de réplicas espaciais. Como apenas duas áreas úmidas foram avaliadas (uma perene e uma sazonal), as comparações entre hidroperíodos não podem ser interpretadas como representativas de todas as áreas úmidas da região, mas sim como um estudo de caso. Nesse sentido, as análises estatísticas aplicadas descrevem padrões observados nas comunidades locais, mas não permitem generalizações amplas. Ainda assim, os resultados obtidos são valiosos, pois fornecem indícios consistentes de que o hidroperíodo exerce maior influência sobre a composição da comunidade vegetal do que a sazonalidade, além de apontar a relevância de fatores como a presença de espécies exóticas e a dominância local de algumas espécies. Dessa forma, este trabalho contribui como base para a formulação de hipóteses que poderão ser testadas em futuras pesquisas com maior número de áreas úmidas e replicação espacial adequada.

#### *Reconstituição paleoambiental:*

O acúmulo de Produção Primária Líquida (PPL) como folhas, raízes e galhos promove a formação de camadas superficiais e subsuperficiais do solo ricas em matéria orgânica, levando ao desenvolvimento de Organossolos, principalmente em ambientes onde a saturação hídrica é constante durante todo o ano (Craft, 2001; Santos; Zaroni, 2021). As camadas superficiais da AUGI-Perene são constituídas de matéria orgânica com alto teor de fibras vegetais, ou seja, no início do estágio de decomposição (horizonte orgânico fíbrico). Nas camadas subsuperficiais intermediárias, a matéria orgânica é encontrada em estágios intermediários de decomposição, caracterizando horizontes orgânicos hêmicos. Já nas camadas mais profundas, entre 63 e 98 cm de profundidade, a matéria orgânica se encontra em estágios avançados de decomposição, caracterizando um horizonte orgânico sáprico. Como esperado para a AUGI-Perene, as assinaturas predominantes de  $\delta^{13}\text{C}$  caracterizaram sua origem de plantas  $\text{C}_3$ , variando de -23,59 a -26,23‰, com média igual a  $-25,48 \pm 0,26\%$ . Essas assinaturas coincidem com a predominância de espécies  $\text{C}_3$  encontradas atualmente na AUGI-Perene tanto na estação seca quanto na chuvosa, com cobertura média de  $77,5 \pm 9\%$  e  $74,5 \pm 10,7\%$ , respectivamente. Essa assinatura é característica de todo o perfil do solo (0 a 100 cm de profundidade) indicando que as condições de alagamento da área e a cobertura vegetal apontam condições paleoambientais similares às encontradas atualmente.

As camadas superficiais da AUGI-Sazonal possuem horizonte A mineral, composto por uma mistura de material orgânico e mineral. São seguidas por um horizonte de transição férrico que pode apresentar concentrações de óxidos de ferro e alumínio, sendo comuns em solos de drenagem temporária. Nas camadas mais profundas do perfil (35 a 63 cm), é possível identificar o horizonte plíntico, formado em ambientes com flutuação do lençol freático e saturados de água durante uma parte do ano (Santos *et al.*, 2025). A presença do horizonte transicional férrico evidencia a existência do horizonte plíntico no perfil, sendo característico de ambientes de alagamento sazonal com processos de secagem e umedecimento do solo (Santos *et al.*, 2025). As assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  para o perfil de solo da AUGI-Sazonal variaram de -17,37 e -21,18‰, com média de  $-19,50 \pm 0,41\%$ . Diferente da AUGI-Perene, a área úmida sazonal apresentou uma maior variação de assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil, aproximando-se de assinaturas características de plantas  $\text{C}_4$  na superfície, seguida de valores mais similares aos de plantas  $\text{C}_3$  nas camadas mais profundas. A assembleia de plantas encontrada na superfície desta área úmida é majoritariamente de plantas  $\text{C}_4$  condizente com a assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  encontrada na camada mais superficial do solo (7 cm de profundidade).

A presença de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  é associada aos níveis de umidade do solo. Ambientes com maior disponibilidade de água são geralmente ocupados por assembleias de plantas  $\text{C}_3$ , enquanto ambientes com presença temporária de água ou sob estresse hídrico são colonizados majoritariamente por plantas  $\text{C}_4$  que possuem vantagens ecológicas nesses cenários (Ehleringer; Monson, 1993; Teeri; Stowe, 1976; Vega, 2014). A maior porcentagem de cobertura de plantas  $\text{C}_4$  na área úmida sazonal é esperada por essas espécies serem mais adaptadas a condições secas e de altas temperaturas. Um estudo realizado por Vega, (2014) demonstrou que longos períodos secos em áreas úmidas do Pantanal são responsáveis por modificar a estrutura das comunidades com a substituição de espécies  $\text{C}_3$  para espécies  $\text{C}_4$  na passagem da estação chuvosa (período de inundação) para a seca (período de estresse hídrico). O mesmo cenário foi observado no presente estudo, onde a AUGI-Sazonal apresentou maior cobertura de espécies  $\text{C}_4$  em ambas as estações, mas também evidenciou a diminuição da cobertura de espécies  $\text{C}_3$  na passagem da estação chuvosa para a seca.

Na AUGI-Perene a cobertura de espécies  $\text{C}_3$  foi maior do que a cobertura de espécies  $\text{C}_4$ . As diferenças sazonais entre estação seca e chuvosa também não

contribuíram para promover alterações nas porcentagens de cobertura de espécies C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. A presença constante de água cria um ambiente mais estável permitindo que as mesmas plantas C<sub>3</sub> sobrevivam ao longo do ano. Um estudo realizado em áreas úmidas conhecidas como *Llanos* presentes na bacia do Rio Orinoco localizado na Venezuela, também verificou a predominância de espécies C<sub>3</sub> nesses locais que em grande parte do ano ficam alagados permanentemente (Vega, 2014).

Relacionando a caracterização do solo com a presença de espécies C<sub>3</sub> na superfície da AUGI-Perene, é possível notar que neste ambiente o tempo de residência da água no solo ocorre durante todo o ano, exceto na borda que pode flutuar durante os meses com maior ou menor precipitação. Essa característica se mantém a mesma durante um certo tempo geológico, evidenciada pela assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  presente na matéria orgânica bastante decomposta das camadas mais profundas do solo, característica de plantas C<sub>3</sub>. Por outro lado, a dinâmica atual do solo da AUGI-Sazonal e a presença de espécies C<sub>4</sub> evidenciam os processos de alagamento sazonal, com momentos alternados de excedente e estresse hídrico do solo ao longo do ano em um tempo geológico. Pelo fato da presença ou ausência de água ser bastante determinística para a comunidade vegetal, em momentos de maior umidade a comunidade pode ser mais ocupada por plantas C<sub>3</sub>, que serão substituídas por plantas C<sub>4</sub> em períodos mais secos. A provável explicação para a formação desses ambientes foram os pulsos intensos de mudanças paleoclimáticas ocorridos na região que alternaram ciclos mais frios e secos interrompidos por períodos de umidade mais intensa entre ~15.800 anos B.P. e ~13.000 anos B.P (Ledru, 1993).

## 6 CONCLUSÃO

O número de fatores que influenciam na composição de espécies de áreas úmidas é bastante extenso, especialmente por incluir tanto dinâmicas locais quanto globais (Foti *et al.*, 2012). Neste estudo, dois principais fatores foram analisados: hidroperíodo e sazonalidade. De maneira geral, a composição das comunidades é mais influenciada pela dinâmica de hidroperíodo do que por mudanças sazonais no regime de água, uma vez que a diferença na hidrologia das áreas impõe pressões ambientais sobre as espécies que precisam apresentar diversos mecanismos adaptativos para sobrevivência nesses locais. Além disso, o estudo aponta a relevância de fatores como a presença de espécies exóticas e a dominância local de algumas espécies nas comunidades vegetais analisadas. Por outro lado, a riqueza, diversidade, equitabilidade e a estrutura da comunidade não variaram entre as áreas úmidas.

As assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  determinadas na matéria orgânica do solo foram condizentes com as assembleias de plantas encontradas atualmente na superfície das áreas úmidas, sendo a AUGI-Perene predominantemente composta de plantas  $\text{C}_3$  e a AUGI-Sazonal composta majoritariamente de plantas  $\text{C}_4$ . A assinatura de plantas  $\text{C}_3$  foi constante em todo o perfil do solo da AUGI-Perene, indicando desenvolvimento de solo e vegetação em ambiente paleoclimático similar ao atual. Por outro lado, as variações das assinaturas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  na AUGI-Sazonal indicam uma mistura de vegetação que aponta flutuações de alagamento durante o tempo geológico.

Este estudo mostrou a particularidade ecológica das pequenas áreas úmidas geograficamente isoladas presentes na região da Depressão Periférica Paulista. São sistemas únicos e essenciais para a manutenção da biodiversidade, além de importantes reguladores de gases de efeito estufa e acumuladores de água. Entender as dinâmicas que controlam o delicado equilíbrio das áreas úmidas é de grande importância, principalmente no intuito de desenvolver ações de proteção e embasamento legal pela defesa desses ambientes altamente ameaçados.

## REFERÊNCIAS

- ALTENFELDER, S.; SCHMITZ, M.; POSCHLOD, P.; KOLLMANN, J.; ALBRECHT, H. Managing plant species diversity under fluctuating wetland conditions: the case of temporarily flooded depressions. **Wetlands Ecology and Management**, 24(6), 597-608, 2016.
- AMORIM, S. R. De. Efeito da biomassa de espécie exótica (*Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc.) e nativa (*Eichhornia azurea* (SW. Kunth) sobre a estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas. 2012. 45 f. Dissertação - (mestrado) - **Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro**, 2012.
- ASNER, G. P.; BEATTY, S. W. Effects of an African grass invasion on Hawaiian shrubland nitrogen biogeochemistry. **Plant & Soil** 186: 205-211, 1996.
- BAO, F., LEANDRO, T. D., ROCHA, M. D., SANTOS, V. S. D., STEFANELLO, T. H., ARRUDA, R., POTT, A., & DAMASCENO-JÚNIOR, G. A. Plant species diversity in a Neotropical wetland: patterns of similarity, effects of distance, and altitude. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 1, p. 85–97, mar. 2018.
- BIRD, M. B.; HAIG, J.; HADEEN, X.; RIVERA-ARAYA, M.; WURSTER, C. M.; ZWART, C. Stable isotope proxy records in tropical terrestrial environments. **Paleogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology**, Volume 538, 2020, 109445, ISSN 0031-0182. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109445>.
- BITTRICH, V.; AMARAL, M. C. E. Hydroleaceae. In: Kadereit, J., Bittrich, V. (eds) Flowering Plants. Eudicots. The Families and Genera of Vascular Plants, vol 14. **Springer**, 2016, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28534-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28534-4_19).
- BOLPAGNI, R.; POIKANE, S.; LAINI, A.; BAGELLA, S.; BARTOLI, M.; CANTONATI, M. Ecological and Conservation Value of Small Standing-Water Ecosystems: A Systematic Review of Current Knowledge and Future Challenges. **Water** 2019, 11, 402. <https://doi.org/10.3390/w11030402>.
- BOND, W. J. What limits trees in C4 grasslands and savannas? **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** 39, 641–659, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173411>.
- BOSSARD, C. C.; RANDALL, J. M.; HOSHOVSKY, M., C. (eds). Invasive plants of California's wildlands. **University of California Press**, Berkeley, California, USA. 360p, 2000.
- BOVE, C. P.; GIL, A. dos S. B.; MOREIRA, C. B.; DOS ANJOS, R. F. B. Hidrófitas fanerogâmicas de ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 1, p. 119–135, jan. 2003.

BROSE, U. Relative importance of isolation, area and habitat heterogeneity for vascular plant species richness of temporary wetlands in east-German farmland, **Ecography** 24: 722-730, 2001.

BUNMA, S.; BALSLEV, H. A review of the economic botany of *Sesbania* (Leguminosae). **The Botanical Review**, v. 85, n. 3, p. 185-251, 2019.

CATTANIO, J. H.; ANDERSON, A. B.; CARVALHO, M. S. Floristic composition and topographic variation in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Botânica** 25:419-430, 2002.

CASAGRANDE, M. F. S.; FURLAN, L. M.; MOREIRA, C. A.; ROSA, F. T. G.; ROSOLEN, V. Non-invasive methods in the identification of hydrological ecosystem services of a tropical isolated wetland (Brazilian study case). **Environmental Challenges**, v. 5, dez. 2021. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100233.

CASANOVA, M. T.; BROCK, M. A. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? **Plant Ecol** 147:237–250, 2000.

CHASE, J. M. Community assembly: when should history matter? **Oecologia**, vol. 136, no. 4, p. 489-498, 2003.

CIANCIARUSO, M.; BATALHA, M. A year in a Cerrado wet grassland: a non-seasonal island in a seasonal savanna environment. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 3, p. 495–501, ago. 2008.

CLARKSON, B. R., GERBEAUX, P. J. R., AUSSEIL, A-G. Wetland ecosystem services. **Ecosystem services in New Zealand: conditions and trends**. 1, p. 192-202, 2013.

CORREA-ARANEDA, F. J.; URRUTIA, J.; SOTO-MORA, Y.; FIGUEROA, R.; HAUENSTEIN, E. Effects of the hydroperiod on the vegetative and community structure of freshwater forested wetlands, Chile. **Journal of Freshwater Ecology**, 27(3), 459–470, 2012. <https://doi.org/10.1080/02705060.2012.668719>

CRAFT, C. B. Biology of wetland soils. **Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification**, Chapter 5, p. 107-137, 2001.

CRONK J. K.; FENNESSY M.S. *Wetland Plants: Biology and Ecology*, **Lewis Publishers**, Boca Raton, Fla, 384 p., 2001.

CRUZ, L. V. V.; PIVARI, M. O. D.; MENINI NETO, L.; SALIMENA, F. R. G. Áreas úmidas sazonais montanas: um inventário da flora associada no Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 71, p. e02502018, 2020.

D'ANTONIO, C. M.; VITOUSEK, P. M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. **Annual Review of Ecology and Systematics** 23: 63-87, 1992.

DIEGUES, A. C. Povos e Águas: Inventário de Áreas Úmidas Brasileiras. **NUPAUB**, São Paulo, 2002.

DURIGAN, G.; PILON, N. A. L.; ASSIS, G. B.; SOUZA, F. M.; BAITELLO, J. B. Plantas pequenas do Cerrado: biodiversidade negligenciada. **Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo**, 1. ed., 2018.

DURIGAN, G.; MUNHOZ, C. B.; ZAKIA, M. J. B.; OLIVEIRA, R. S.; PILON, N. A.; DO VALLE, R. S. T.; ... POTT, A. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 20, n. 3, p. 185-196, 2022.

EHLERINGER, J. R.; CERLING, T. E.; HELLIKER, B. R. C<sub>4</sub> photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia** 112, 285–299, 1997.

EHLERINGER, J. R.; MONSON, R. K. Evolutionary and Ecological Aspects of Photosynthetic Pathway Variation. **Annual Review of Ecology and Systematics**, vol. 24, 1993, pp. 411–39.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, ed.6, 2025, 393 p.

EVERARD, M.; WOOD, A. Agricultural management and wetlands: An overview. Em: *The Wetland Book: I: Structure and Function, Management, and Methods*. **Springer Netherlands**, 2018. p. 1009–1019.

FOTI, R.; DEL JESUS, M.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Hydroperiod regime controls the organization of plant species in wetlands. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 109(48), 19596-19600, 2012.

FOSSEY, M., ROUSSEAU, A. N. Assessing the long-term hydrological services provided by wetlands under changing climate conditions: A case study approach of a Canadian watershed. **Journal of Hydrology**, 541, 1287–1302, 2016.

FRYIRS, K.; FREIDMAN, B.; WILLIAMS, R.; JACOBSEN, G. Peatlands in eastern Australia? Sedimentology and age structure of Temperate Highland Peat Swamps on Sandstone (THPSS) in the Southern Highlands and Blue Mountains of NSW, Australia. **The Holocene**, 24, 11, 1527–1538, 2014.

FURLAN, L. M.; FERREIRA, M. E.; MOREIRA, C. A.; ALENCAR, P.G.; CASAGRANDE, M. F. S.; ROSOLEN, V. Satellite, UAV and Geophysical Data to Identify Surface and Subsurface Hydrodynamics of Geographically Isolated Wetlands: Understanding an Undervalued Ecosystem at the Atlantic Forest-Cerrado Interface of Brazil. **Remote Sensing**, v. 15, ed. 7, 2023. DOI: 10.3390/rs15071870.

HORÁK-TERRA, I.; TRINDADE, R. N. R.; TERRA, F. S.; SILVA, A. C.; CAMARGO, P. A.; VIANA, C. B. O.; VIDAL-TORRADO, P. Soil processes and properties related to the genesis and evolution of a Pleistocene savanna palm swamp (vereda) in central Brazil. **Geoderma**, 410, 11571, 2022.

IPBES - Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2019. Disponível em: <https://zenodo.org/records/6417333>.

IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Aspectos ecológicos de um trecho de floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia seletividade de espécies. **Revista Brasileira de Botânica** 20:139-154, 1997.

JUNK, W. J.; BARLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**. 106:110–127, 1989.

JUNK, W. J.; PIEDEDE, M. T. F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: The Central Amazon floodplain: Ecology of a pulsing system. Berlin, Heidelberg: **Springer Berlin Heidelberg**. Chapter 8, p. 147-185, 1997.

JUNK, W. J.; PIEDEDE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, Luiz Drude de; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A.. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystem**, Noida, v. 24, p. 5-22, 2014.

JUNQUEIRA, D. A. Princípios da governança ambiental na gestão de recursos hídricos com foco em áreas úmidas (AU'S) na Depressão Periférica Paulista. **Rio Claro**: 2021.

KENNEDY, H.; BEGGINS, J.; DUARTE, C. M.; FOURQUREAN, J. W.; HOLMER, M.; MARBÀ, N.; MIDDELBURG, J. J. Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. **Global biogeochemical cycles**, v. 24, n. 4, 2010.

LANGAN, C., FARMER, J., RIVINGTON, M., NOVO, P., SMITH, J.U. A wetland ecosystem service assessment tool; Development and application in a tropical peatland in Uganda. **Ecological Indicators**, 103, 434-445, 2019.

LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and and climate changes in central Brazil. **Quaternary Research**, 39:90-98, 1993.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, F. K. G.; SILVA MATOS, D. M. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. **Plant and Soil**, v. 426, n. 1–2, p. 1–15, 1 maio 2018.

LEWIS, G.; SCHRIRE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. Legumes of the World. **Royal Botanic Gardens**, Kew, Richmond, 2005.

MAGALHÃES, L. D.; MARTÍNEZ, M. Temporary freshwater wetlands floristics in central Mexico highlands. **Botanical Sciences**, v. 96, n. 1, p. 138-156, 2018.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R. Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco

bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. **Planta Daninha**, 26(1), 17–32, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100003>.

MARTINS, C. R. Caracterização e manejo da gramínea *Melinis minutiflora* P. Beauv. (capim-gordura): uma espécie invasora do cerrado. Brasília, **Universidade de Brasília**. Tese, 2006.

MORA, C.; TITTENSOR, D. P.; ADL, S.; SIMPSON, A. G. B.; WORM, B.; How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? **PLOS Biology** 9(8), 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>.

MOREIRA, S. N.; POTT, A.; POTT, V. J.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Structure of pond vegetation of a vereda in the Brazilian Cerrado. **Rodriguésia**, 62(4), 721–729, 2011. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602011000400002>.

PCJ. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Relatório de situação dos recursos hídricos: versão simplificada; ano base 2018. **Piracicaba**, 2019.

PIVELLO, V. R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. **ECOLOGIA.INFO** 33, 2011.

PMSB CORDEIRÓPOLIS. Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e Esgoto - Cordeirópolis - SP. **Cordeirópolis - SP**, 2015. Disponível em: [www.cerneambiental.eng.br](http://www.cerneambiental.eng.br).

PMSB RIO CLARO. Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Rio Claro - SP. **Rio Claro**, jun. 2014.

POLLOCK, M. M.; NAIMAN, R. J.; HANLEY, T. A. Plant species richness in riparian wetlands — a test of biodiversity theory. **Ecology**, v. 79, n. 1, p. 94-105, 1998.

POTT, A., POTT, V.J. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. **Wetlands Ecol Manage** 12, 547–552, 2004. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-1754-1>.

POTT, V.; POTT, A.; LIMA, L.; MOREIRA, S.; OLIVEIRA, A. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. **Brazilian Journal of Biology**, 71(1), 255–263, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000200004>.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria **R Foundation for Statistical Computing**, 2023.

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971), 6th ed. Gland, **Switzerland**: 2013.

REBELLATO, L.; CUNHA, C. N. DA. Efeito do "fluxo sazonal mínimo da inundação" sobre a composição e estrutura de um campo inundável no Pantanal de Poconé, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 789–799, out. 2005.

RESENDE, I. L. DE M.; CHAVES, L. J.; RIZZO, J. Â. Floristic and phytosociological analysis of palm swamps in the central part of the Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 1, p. 205–225, jan. 2013.

RIBEIRO, J. W.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G.; KOLB, R. M. The distinct roles of water table depth and soil properties in controlling alternative woodland-grassland states in the Cerrado. **Oecologia**, v. 195, n. 3, p. 641-653, 2021.

RIGUEIRAL, L. H. G.; GONÇALEZ, V. M.; DUARTE, M. C. Espécies nativas de *Hibiscus* (Malvoideae, Malvaceae) da Região Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 70, p. e03102017, 2019.

ROSOLEN, V. S.; MOREIRA, C. A.; BUENO, G. T.; GOVONE, J. S.; FURLAN, L. M.; SULATO, K. L.; QUEIROZ, H. M.; DA COSTA, D. E. C.; DINIZ, A. D.; SULATO, E. T.; JUNQUEIRA, D. A.; SILVA, B. L.; DE ALENCAR, L. S. Pequenas áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGIs) na Depressão Periférica Paulista: inventário, dinâmica biogeoquímica e reconstituição paleoambiental. **UNESP – IGCE**. Rio Claro, outubro de 2023.

ROSSI, R. D.; MARTINS, C. R.; VIANA, P. L.; RODRIGUES, E. L.; FIGUEIRA, J. E. C. Impact of invasion by molasses grass (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) on native species and on fires in areas of campo-cerrado in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, p. 631-637, 2014.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Org.). Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 1279 p., 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2025. 393 p.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. Embrapa: Solos Tropicais. **AGEITEC**. Brasília, 2021.

SANTOS, S. A.; POTT, A.; CARDOSO, E. L.; SALIS, S. M. de; VALLS, J. F. M.; GARCIA, J. B. Guia para identificação das pastagens nativas do Pantanal. Corumbá: **Embrapa Pantanal**, 2019. 218 p.

SASAKI, D. Levantamento florístico no cerrado de Pedregulho, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado, **Universidade de São Paulo**, 2006.

SASMITO, S. D.; KUZUYAKOV, Y.; LUBIS, A. A.; MURDIYARSO, D.; HUTLEY, L. B.; BACHRI, S.; FRIESS, D. A.; MARTIUS, C.; BORCHARD, N. Organic carbon burial and sources in soils of coastal mudflat and mangrove ecosystems. **Catena**, v. 187, p. 104414, 2020.

SEMLITSCH, R. D.; BODIE, J. R. Are Small, Isolated Wetlands Expendable? **Conservation biology**, v. 12, n. 5, p. 1129-1133, 1998.

SILVA, A. R. DA et al. Florística e fitossociologia em três diferentes fitofisionomias campestres no Sul do Brasil. **Hoehnea**, v. 43, n. 3, p. 325–347, set. 2016.

SILVA FILHO, P. D.; MACEDO, R. B.; VIEIRA, M. D. S.; NEVES, P. D. Floristic and structure of grassland vegetation in the Campos Arbustivos of Sao Gabriel (Arroio do Salso headwaters), Rio Grande do Sul, Brazil. Iheringia. **Serie Botanica**, v. 72, p. 351-372, 2017.

SOUZA, G. F. DE; FERREIRA, M. C.; MUNHOZ, C. B. R. Decrease in species richness and diversity, and shrub encroachment in Cerrado grasslands: A 20 years study. **Applied Vegetation Science**, v. 25, n. 3, p. e12668, 2022.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG IV; 4. ed. Nova Odessa, SP: **Jardim Botânico Plantarum**, 2019.

STILL, C. J.; BERRY, J. A.; COLLATZ, G. J.; DEFRIES, R. S. Global distribution of C3 and C4 vegetation: carbon cycle implications. **Glob. Biogeochem. Cycles** 17 (1) 6-1, 2003.

TANNUS, J. L. S. Estudo da vegetação dos campos úmidos de cerrado: aspectos florísticos e ecológicos. **Rio Claro**, 2007.

TEERI, J. A.; STOWE, L.G. Climatic patterns and the distribution of C<sub>4</sub> grasses in North America. **Oecologia** 23, 1–12, 1976. <https://doi.org/10.1007/BF00351210>.

TINNER, R. W. Geographically isolated wetlands of the United States. **Wetlands**, 23, 3, 494-516, 2003.

VAN DER KNAAP, W. O.; LAMENTOWICZ, M.; VAN LEEUWEN, J. F. N.; HANGARTNER, S. A multi-proxy, high-resolution record of peatland development and its drivers during the last millennium from the subalpine Swiss Alps. **Quaternary Science Reviews** 30:3467–3480, 2011.

VAN HARDENBROEK, M.; CHAKRABORTY, A.; DAVIES, K.L.; HARDING, P.; HEIRI, O.; HENDERSON, A. C. G.; HOLMES, J. A.; LASHER, G. E.; LENG, M. J.; PANIZZO, V.N.; ROBERTS, L. The stable isotope composition of organic and inorganic fossils in lake sediment records: current understanding, challenges, and future directions. **Quat. Sci. Rev.** 196, 154–176, 2018.

VEGA, L. F. Ecology of seasonal shallow lakes in neotropical floodplains. (Dissertation). Konstanz: **University of Konstanz**, 2014.

VIVIAN-SMITH, G. Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities, J, **Ecol**, 85: 71-82, 1997.

WILLIAMS, D. D. The biology of temporary waters. Oxford, UK: **Oxford University Press**. p. 337, 2006.

XU, X., JIANG, B., TAN, Y., COSTANZA, R., YANG, G. Lake-wetland ecosystem services modeling and valuation: Progress, gaps and future directions. **Ecosyst. Serv.** 33, 19–28, 2018.