

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA - FEIS**

MATHEUS ROBERTO LEITE

**EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE ESTRATÉGIAS ECOFISIOLÓGICAS
DE GRAMÍNEAS SILVESTRES E CULTIVADAS NO CERRADO**

Ilha Solteira
2025



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PPGA

MATHEUS ROBERTO LEITE

**EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE ESTRATÉGIAS ECOFISIOLÓGICAS
DE GRAMÍNEAS SILVESTRES E CULTIVADAS NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Profa. Dra. Lucíola Santos Lannes
Orientadora

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

- L533e Leite, Matheus Roberto.
Efeito do estresse hídrico sobre estratégias ecofisiológicas de gramíneas silvestres e cultivadas no Cerrado / Matheus Roberto Leite. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
77 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2025
- Orientador: Lucíola Santos Lannes
Inclui bibliografia
1. Milho. 2. Fosfatase ácida. 3. Plantas exóticas. 4. Plantas nativas. 5. Sorgo.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa aborda uso de estratégias ecofisiológicas por gramíneas silvestres e cultivadas, sinalizando de que maneira um futuro contexto de seca pode afetar a produtividade destas espécies e, sobretudo, fornecendo subsídios para novas pesquisas que visem o manejo sustentável frente às mudanças ambientais globais. Tal abordagem dialoga diretamente com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial com a ODS 15 – Vida Terrestre, que visa a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, e com a ODS 13 — Ação contra a mudança global do clima, que preconiza a adoção de medidas urgentes para mitigar os efeitos das alterações climáticas.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research addresses the use of ecophysiological strategies by wild and cultivated grasses, indicating how a future drought context may affect the productivity of these species and, above all, providing support for new research aimed at sustainable management in the face of global environmental changes. This approach directly dialogues with the Sustainable Development Goals (SDGs), especially with SDG 15 – Life on Land, which aims at the conservation and sustainable use of terrestrial ecosystems, and with SDG 13 – Climate Action, which advocates the adoption of urgent measures to mitigate the effects of climate change.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE ESTRATÉGIAS
ECOFISIOLÓGICAS DE GRAMÍNEAS SILVESTRES E CULTIVADAS NO
CERRADO

AUTOR: MATHEUS ROBERTO LEITE


ORIENTADORA: LUCIOLA SANTOS LANNES

COORIENTADORA: LUCIOLA SANTOS LANNES


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LUCIOLA SANTOS LANNES**
Data: 20/05/2025 10:38:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. LUCIOLA SANTOS LANNES (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **THAIS SOTO BONI**
Data: 20/05/2025 16:23:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. THAÍS SOTO BONI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **ALINE DAL OLIO GOMES**
Data: 20/05/2025 14:16:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. ALINE DAL OLIO GOMES (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Instituto de Biociências - UNESP

Ilha Solteira, 11 de abril de 2025

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Lucíola Santos Lannes, pela orientação, paciência e apoio contínuo durante todos esses anos.

À Profa. Dra. Crisiéle da Silva Ribeiro pelo apoio técnico durante a realização das análises de perfil de ácidos graxos.

A todos os colegas do Laboratório de Ecologia Vegetal, pela constante troca de conhecimentos e auxílio prestado durante a condução deste experimento.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa, pelas contribuições enriquecedoras que fortaleceram este trabalho.

A todos os técnicos, laboratórios e departamentos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) que contribuíram com suporte técnico e disponibilização de infraestrutura.

À minha família e amigos, por me incentivarem a buscar desafios e evoluir continuamente.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com a realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, nº de processo 88887.805760/2023-00.

RESUMO

Estudos recentes sinalizam mudanças no regime climático do Cerrado, incluindo redução na precipitação e prolongamento do período de estiagem, o que pode limitar severamente a estabilidade do ecossistema e a produtividade agrícola. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de três níveis de água (100, 50 e 25% da capacidade de vaso) sobre o crescimento de gramíneas C₄ de diferentes grupos funcionais, incluindo as gramíneas cultivadas milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), as gramíneas silvestres nativas *Chloris barbata* e *Aristida gibbosa* e as gramíneas exóticas invasoras *Urochloa decumbens* e *Melinis repens*. Foram avaliados parâmetros morfológicos, fisiológicos, funcionais e bromatológicos, assim como o efeito da colonização micorrízica e da atividade da fosfatase ácida como estratégia de aquisição de recursos. Quando avaliadas as variáveis fisiológicas, milho apresentou redução na taxa de assimilação de carbono à medida que se reduziu a capacidade de vaso, possivelmente devido a fotoinibição ou limitações bioquímicas (não-estomáticas). Quanto aos parâmetros morfológicos, gramíneas cultivadas e silvestres apresentaram comportamentos distintos: enquanto as cultivadas foram afetadas negativamente, apresentando redução na altura e biomassa, gramíneas silvestres apresentaram diferentes comportamentos. Houve um aumento da atividade da fosfatase ácida à medida que se reduziu a capacidade de vaso, todavia, as espécies diferiram quanto à via utilizada: enquanto gramíneas cultivadas se beneficiaram fortemente da fosfatase radicular, *Urochloa decumbens* e *Chloris barbata* se beneficiaram da fosfatase do solo e *Melinis repens* e *Aristida gibbosa* aparentam associar ambas as vias. Todas as espécies apresentaram elevados percentuais de colonização micorrízica, todavia, apenas *Urochloa decumbens* diferiu estatisticamente, apresentando aumento na colonização à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica. Gramíneas cultivadas diferiram entre si quanto à remodelação lipídica em tecidos radiculares: enquanto o sorgo apresentou um aumento nos teores de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs), o milho apresentou redução. Houve um incremento nos teores extrato etéreo em amostras foliares do sorgo e de *Aristida gibbosa*, possivelmente devido ao acúmulo de ceras e cutinas nas folhas. De modo geral, os resultados aqui apresentados demonstram que as gramíneas cultivadas foram mais sensíveis à limitação hídrica, apresentando respostas negativas mais pronunciadas nos diferentes parâmetros avaliados, embora também tenham exibido mecanismos relevantes de adaptação, como o aumento da atividade de fosfatases, acúmulo de ceras e cutinas e a remodelação lipídica. Em contrapartida, gramíneas silvestres, tanto nativas, quanto exóticas, demonstraram um comportamento mais estável ao longo do experimento, o que, por um lado pode refletir que o nível de estresse imposto não foi suficientemente severo para desencadear uma resposta expressiva nestas espécies, mas também pode evidenciar a maior resiliência frente ao estresse hídrico. Por fim, ao integrar diferentes tipos de variáveis, este estudo pode contribuir para o entendimento das estratégias de tolerância à seca entre diferentes grupos funcionais. Esses achados podem orientar pesquisas futuras voltadas ao melhoramento genético, manejo de gramíneas exóticas em ecossistemas naturais e ao desenvolvimento de sistemas de produção mais resilientes diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: milho; fosfatase ácida; plantas exóticas; plantas nativas; sorgo.

ABSTRACT

Recent studies indicate changes in the climate regime of the Cerrado, including reduced forecast and prolonged dry season, which can severely limit ecosystem stability and agricultural productivity. This study aimed to evaluate the effect of three water levels (100, 50 and 25% of pot capacity) on the growth of C4 grasses from different functional groups, including the cultivated grasses corn (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum bicolor*), the native wild grasses *Chloris barbata* and *Aristida gibbosa* and the invasive exotic grasses *Urochloa decumbens* and *Melinis repens*. Morphological, physiological, functional and bromatological parameters were evaluated, as well as the effect of mycorrhizal colonization and acid phosphatase activity as a resource acquisition strategy. When physiological variations were evaluated, corn showed a reduction in carbon assimilation rate as vessel capacity was impaired, possibly due to photoinhibition or biochemical (non-stomatal) limitations. Regarding morphological parameters, cultivated and wild grasses presented distinct behaviors: while cultivated grasses were affected in quality, presenting reduction in height and biomass, wild grasses presented different behaviors. There was an increase in acid phosphatase activity as vessel capacity was impaired, however, the species differed in the pathway used: while cultivated grasses benefited mainly from root phosphatase, *Urochloa decumbens* and *Chloris barbata* benefited from soil phosphatase and *Melinis repens* and *Aristida gibbosa* apparently associated both pathways. All species showed high percentages of mycorrhizal colonization; however, only *Urochloa decumbens* differed statistically, showing an increase in colonization as water availability was impeded. The cultivated grasses differed from each other in terms of lipid remodeling in root tissues: while sorghum showed an increase in monounsaturated fatty acid (MUFA) levels, corn showed a reduction. There was an increase in the ether extract levels in leaf samples of sorghum and *Aristida gibbosa*, possibly due to the accumulation of waxes and cutins in the leaves. In general, the results presented here demonstrate that the cultivated grasses were more sensitive to water limitation, showing more pronounced negative responses in different parameters evaluated, although they also have relevant adaptation mechanisms, such as increased phosphatase activity, accumulation of waxes and cutins, and lipid remodeling. In contrast, wild grasses, both native and exotic, demonstrated more stable behavior throughout the experiment, which, on the one hand, may reflect that the level of stress imposed was not severe enough to trigger a significant response in these species, but may also demonstrate greater resilience to water stress. Finally, by integrating different types of variables, this study may contribute to the understanding of drought tolerance strategies among different functional groups. These findings may guide future research aimed at genetic improvement, management of exotic grasses in natural ecosystems, and the development of more resilient production systems in the face of challenges posed by climate change and taxes.

Keywords: acid phosphatase; exotic plants; maize; native plants; sorghum.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Família, nome científico, nome popular e grupo funcional das espécies selecionadas para a composição deste estudo.....	38
Tabela 2 – Resultados da análise química do solo utilizado no preenchimento dos vasos experimentais.....	39
Tabela 3 - Somatório do total de água aplicada em cada tratamento durante o período de limitação hídrica (67 dias).	40
Tabela 4 - Resumo da fertilização aplicada nos vasos das gramíneas cultivadas (milho e sorgo).	40
Tabela 5 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros fisiológicos foliares obtidos para milho e sorgo submetidos a diferentes níveis de irrigação.	46
Tabela 6 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros morfológicos e bromatológicos.	47
Tabela 7 – Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas cultivadas com milho (<i>Zea mays</i>) e sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.....	51
Tabela 8 – Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas exóticas (<i>Urochloa decumbens</i> e <i>Melinis repens</i>) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	52
Tabela 9 - Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas silvestres nativas (<i>Chloris barbata</i> e <i>Aristida gibbosa</i>) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Taxa de assimilação de CO ₂
C _i	Concentração intercelular de CO ₂
CV	Capacidade de vaso
E	Taxa de transpiração
EE	Extrato etéreo
E _i C	Eficiência instantânea da carboxilação
EROs	Espécies reativas de oxigênio
EUA	Eficiência no uso de água
FMA	Fungo micorrízico arbuscular
GI	Grau de insaturação
G _s	Condutância estomática
LC-PUFA	<i>Long-chain polyunsaturated fatty acids</i> (Ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa)
MUFA	<i>Monounsaturated fatty acid</i> (ácido graxo monoinsaturado)
n-3 PUFA	<i>Omega-3 polyunsaturated fatty acids</i> (Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3)
n-6 PUFA	<i>Omega-6 polyunsaturated fatty acids</i> (Ácidos graxos poliinsaturados ômega-6)
PB	Proteína Bruta
PUFA	<i>Polyunsaturated fatty acids</i> (ácido graxo poli-insaturado)
SC-PUFA	<i>Short-chain polyunsaturated fatty acids</i> (Ácidos graxos poliinsaturados de cadeia curta)
SFA	<i>Saturated fatty acids</i> (ácidos graxos saturados)

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS	11
1.1	INTRODUÇÃO	11
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
1.2.1	Gramíneas silvestres	12
1.2.2	A cultura do milho	15
1.2.3	A cultura do sorgo	18
1.2.4	Respostas das plantas ao estresse hídrico	20
	REFERÊNCIAS	22
2	CAPÍTULO 2: EFEITO DA LIMITAÇÃO HÍDRICA SOBRE PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS, INTERAÇÃO COM MICRORGANISMOS E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA	35
2.1	INTRODUÇÃO	35
2.2	OBJETIVOS	37
2.3	MATERIAL E MÉTODOS	38
2.3.1	Condução do experimento	38
2.3.2	Determinação de parâmetros fisiológicos foliares	41
2.3.3	Avaliação de parâmetros morfológicos	41
2.3.4	Análise bromatológica	41
2.3.5	Determinação da atividade da fosfatase ácida	42
2.3.6	Quantificação da colonização micorrízica arbuscular	42
2.3.7	Determinação do perfil de ácidos graxos de membrana	43
2.3.8	Análise e processamento dos dados	43
2.4	RESULTADOS	44
2.5	DISCUSSÃO	54
2.5.1	Parâmetros fisiológicos	54
2.5.2	Parâmetros morfológicos	54

2.5.3	Parâmetros bromatológicos	56
2.5.4	Atividade da fosfatase ácida	57
2.5.5	Colonização micorrízica arbuscular	59
2.5.6	Remodelação lipídica de ácidos graxos.....	60
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado (*lato sensu*) é a segunda maior formação vegetal brasileira, estendendo-se por cerca de 23,3% do território nacional (Oliveira *et al.*, 2023; Ratter *et al.*, 1997). Este é composto por diferentes fisionomias vegetais, incluindo formações savânicas, campestres e florestais, sofrendo influência de diferentes fatores ambientais, incluindo a sazonalidade e a disponibilidade hídrica (Malheiros, 2016; Pinheiro e Durigan, 2012; Ribeiro; Walter, 2008; Ribeiro, 2015). No contexto nacional, o Cerrado apresenta relevância econômica, sobretudo no que diz respeito à expansão do agronegócio, que se beneficia fortemente de suas características edáficas, como topografia plana e solos profundos, favorecendo o estabelecimento de sistemas intensivos (Bolfe *et al.*, 2020; Buainain; Garcia, 2015; Buol, 2009; Lemes *et al.*, 2020). Atualmente, estima-se que a região seja responsável por cerca de 40% da produção nacional de culturas anuais (Bolfe *et al.*, 2020; Buainain; Garcia, 2015; Lemes *et al.*, 2020).

Em contrapartida, o Cerrado também apresenta relevância ecológica, uma vez que possui elevada diversidade e complexidade ambiental, abrigando um grande número de espécies endêmicas com adaptações singulares para lidar com diferentes estresses ambientais, como o fogo, déficit hídrico e a herbivoria (Coelho *et al.*, 2020; Lambers *et al.*, 2020; Mittermeier *et al.*, 2005; Olson; Dinerstein, 2002). Isto posiciona o Cerrado entre os 25 *hotspots* terrestres de maior importância em termos de necessidade de conservação da biodiversidade, além de constituir-se da savana mais rica do planeta (Myers *et al.*, 2000). O bioma também apresenta importância no que tange os recursos hídricos, abrigando três das maiores bacias hidrográficas encontradas na América do Sul, e, no Brasil, é responsável por 43% das águas superficiais fora da Amazônia (Strassburg *et al.*, 2017).

Apesar de sua importância ecológica, a vegetação do Cerrado sofre pressão contínua do desmatamento, tendo sido observado substituição da vegetação nativa por pastagens ou monoculturas de soja, cana-de-açúcar, milho, café e algodão (Alencar *et al.*, 2020). Em uma década, entre os anos de 2001 e 2011, estima-se que o Cerrado tenha perdido quase 50% de sua cobertura vegetal nativa e que apenas 19,8% permaneçam intactas (Alencar *et al.*, 2020; Oliveira Santana; Simon, 2022; Strassburg *et al.*, 2017). Como consequência, alguns estudos sugerem implicações climáticas, incluindo aumento na temperatura do ar, redução na precipitação, prolongamento do período de estiagem e intensificação da seca nos biomas

vizinhos, limitando severamente a estabilidade do ecossistema e a produtividade agrícola (Bustamante *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2013; Cohn *et al.*, 2019; Davin; Noblet-Ducoudré, 2010; Leite-Filho *et al.*, 2021; Marengo *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2022).

Tal dualidade, resultante dos impactos positivos e negativos da exploração agrícola, levantou discussões acerca da necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e o sustentável (Lemes *et al.*, 2020; Strassburg *et al.*, 2017). Isto também está descrito nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, propostos pela Organização das Nações Unidas – ONU, que destacam a necessidade de se mover esforços para promoção do uso sustentável de ecossistemas terrestres e o combate às mudanças climáticas (Nações Unidas Brasil, 2015).

A disponibilidade de água é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento vegetal e à produção agrícola, podendo variar de acordo com fatores climáticos e fenológicos (Bray, 2007; Martins, 2010). Durante o desenvolvimento vegetal, o aumento em área foliar permite maior interceptação de radiação solar, mas também implica em maior demanda por água e, conseqüentemente, maior extração do solo (Martins, 2010; Petry *et al.*, 2007). Associado a isto, secas prolongadas também contribuem com a redução na disponibilidade de água no solo, acarretando em reações em cadeia que envolvem alterações a nível morfológico, fisiológico, bioquímico e molecular, resultando em perdas no crescimento e reprodução (Bray, 2007; Kaur *et al.*, 2021). A seca também pode impactar severamente a estabilidade de comunidades nativas do Cerrado, favorecendo o desempenho de gramíneas africanas em detrimento das nativas (Musso *et al.*, 2021). Diante do exposto, é evidente a necessidade de se mover esforços para o estudo dos efeitos da escassez hídrica, com ênfase na realização de pesquisas que explorem diferentes estratégias no âmbito fisiológico, morfológico, bioquímico, ecológico e microbiológico.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Gramíneas silvestres

A família das gramíneas (Poaceae) abriga espécies com características bastante singulares, tanto do ponto de vista anatômico, quanto fisiológico e ecológico, incluindo adaptações a diferentes regimes pluviométricos, níveis de fertilidade; resistência ao pastoreio ou aos eventos de fogo, dentre outros (Filgueiras, 2021; Kellogg, 2001; Souza *et al.*, 2005). Apesar de toda esta diversidade, há um conjunto de características comuns a todos os seus

membros, incluindo corpo vegetativo seccionado em nós e entrenós, folhas compostas por bainha, lígula e lâmina e inflorescência composta por espiguetas (Filgueira, 2021).

No Cerrado, gramíneas nativas podem apresentar diferentes traços evolutivos, que são resultados diretos de sua adaptação às condições naturais do ecossistema (Dairel; Fidelis, 2020; Haridasan, 2008; Musso *et al.*, 2021; Simon *et al.*, 2009). Destacam-se principalmente a resistência ao fogo, incluindo rápida capacidade de rebrotação e de reservas subterrâneas; conservação e eficiência do uso de água; além de adaptação a solos com baixa disponibilidade nutricional, incluindo sistemas radiculares mais profundos e uso de estratégias ecológicas, como as associações com fungos micorrízicos arbusculares e as fosfatases (Dairel; Fidelis, 2020; Fontenele; Miranda, 2024; Haridasan, 2008; Lannes *et al.*, 2016; 2020; Leite *et al.*, 2019)

Nas últimas décadas, a introdução de gramíneas exóticas tem constituído uma das principais ameaças à conservação do Cerrado, acarretando em alterações na estrutura e funcionamento do ecossistema (Durigan *et al.*, 2007; Pivello, 1999, 2011). A dispersão de espécies exóticas tem sido fortemente influenciada pela ação antrópica, seja pela introdução acidental de propágulos ou pelo seu uso na agropecuária, visando a composição de pastagens ou produção de palhada para sistemas de plantio direto (Barbosa, 2009; Colli *et al.*, 2020; Ferreira, 2018; Matos; Pivello, 2009).

Uma vez introduzidas, espécies exóticas podem exibir diferentes comportamentos, dependendo da capacidade de reprodução e dispersão (Moro *et al.*, 2012; Richardson *et al.*, 2000). Algumas gramíneas, denominadas espécies exóticas invasoras, podem apresentar elevadas taxas de crescimento, reprodução e dispersão, além de provocarem mudanças na estrutura do ecossistema, levando à supressão de espécies nativas e a perda da biodiversidade (Moro *et al.*, 2012; Richardson *et al.*, 2000). Tais espécies frequentemente apresentam hábito oportunista, possibilitando rápida resposta à alterações na disponibilidade de recursos (Musso *et al.*, 2021). Outras gramíneas, denominadas espécies exóticas naturalizadas, são capazes de formar comunidades persistentes e autônomas e apresentam algumas estratégias adaptativas, no entanto, ao contrário das espécies invasoras, tendem a conviver com a vegetação nativa sem levar à supressão (Matos; Pivello, 2009; Moro *et al.*, 2012; Richardson *et al.*, 2000).

Urochloa decumbens (Stapf) R.D.Webster (sinonímia *Brachiaria decumbens*), popularmente conhecida como Capim-braquiária, é uma gramínea exótica invasora pertencente à família Poaceae (Barbosa, 2009; Sartorelli *et al.*, 2018). Originária da África do Sul, a espécie foi introduzida no Brasil na década de 1950, visando o uso para formação de pastagens (Barbosa, 2009; Moreira; Bragança, 2010). Atualmente, a espécie se encontra

fortemente disseminada no país todo, incluindo Unidades de Conservação, onde o seu controle é considerado um dos principais desafios para a restauração do Cerrado (Durigan *et al.* 2007; Klink; Machado, 2005; Magnago *et al.*, 2015).

Dentre as características que explicam sucesso de *Urochloa decumbens* em áreas de Cerrado, destacam-se a elevada eficiência na competição por recursos, adaptação à áreas altamente perturbadas, elevada produção de sementes e biomassa vegetal, além da resistência ao fogo e pisoteio (D'Antonio; Vitousek, 1992; Pivello *et al.*, 1999). Cabe destacar, ainda, que a espécie tende a formar grandes agrupamentos em áreas abertas, interferindo diretamente na germinação de espécies nativas adaptadas à alta intensidade de luz (Rebolo, 2020; Sartorelli *et al.*, 2018). Do ponto de vista morfológico, *U. decumbens* é uma gramínea perene, entouceirada ereta ou com colmo decumbentes, podendo atingir de 30 a 100 centímetros de altura (Moreira; Bragança, 2010). As folhas são lanceoladas ou linear-lanceoladas, apresentando 10 a 20 centímetros de comprimento e presença esparsa de pilosidade (Ferreira *et al.*, 2021; Ono, 2015). As inflorescências são formadas por até cinco racemos com 2 a 10 centímetros de comprimento, além de raques com 1,5 milímetros de comprimento (Ono, 2015). Sua reprodução é feita através de sementes, rizomas e estolões, sendo que as sementes podem apresentar viabilidade por até 8 anos (Ferreira *et al.*, 2021; Procópio *et al.*, 2015).

Melinis repens (Willd.) Zizka (sinonímia *Rhynchelytrum repens* e *Saccharum repens*), popularmente conhecida como capim-favorito ou capim-natal, é uma gramínea originária da África do Sul e introduzida no Brasil no período colonial (Filgueiras, 2021; Rodrigues, 2013). Embora tenha sido considerada naturalizada, estudos recentes sinalizam o seu potencial invasor (Barbosa, 2024) e sua ampla distribuição, abrangendo ecossistemas como Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (Filgueiras, 2021; Gouvêa, 2018; Sartorelli *et al.*, 2018). Além disso, a espécie é facilmente encontrada em locais perturbados, como áreas degradadas, beiras de estradas e terrenos cultivados (Filgueiras, 2021; Gouvêa, 2018). Do ponto de vista morfológico, *Melinis repens* é descrita como uma gramínea perene e cespitosa, apresentando colmos eretos a decumbentes com 50 a 100 centímetros de comprimentos (Filgueiras, 2021; Oliveira; Reis, 2024; Rodrigues, 2013). As folhas podem ser definidas como lâminas lineares a linear-lanceoladas, apresentando 3 a 20 centímetros de comprimento e 0,2 a 0,5 centímetros de largura (Gouvêa, 2018; Oliveira; Reis, 2024). A inflorescência é uma panícula laxa, apresentando coloração rosada quando jovem e prateada quando atinge a maturidade (Gouvêa, 2018; Oliveira; Reis, 2024; Rodrigues, 2013).

Chloris barbata Sw é uma gramínea nativa não-endêmica, sendo comumente encontrada próximo de rodovias, terrenos baldios e em áreas agrícolas (Filgueiras, 2021;

Moreira; Bragança, 2010). No Brasil, a espécie apresenta ampla distribuição, estando fortemente dispersa nos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Filgueiras, 2021; Maciel, 2025). No que diz respeito às características morfológicas, a espécie é descrita como uma gramínea anual ou perene, apresentando colmos cilíndricos e robustos, com hábito decumbente na base e depois ereto, podendo atingir de 85 centímetros até 1 metro de comprimento (Filgueiras, 2021; Moreira; Bragança, 2010). As folhas consistem em lâminas planas e glabras, ou seja, sem presença de tricomas (Maciel, 2025). A inflorescência pode apresentar coloração que varia de vinácea à dourada e acinzentada, contando com espiguetas de 2 a 3 centímetros de comprimento (Maciel *et al.*, 2013; Maciel, 2025).

Aristida gibbosa (Nees) Kunth é uma gramínea nativa típica de campos limpos, embora também possa estar presente em locais recentemente perturbados. É uma espécie que tem sido recomendada para uso na recuperação de áreas degradadas, uma vez que apresenta rápido estabelecimento e floração, além de elevada adaptação a solos com baixa umidade e fertilidade reduzida (Filgueiras, 2021; Sampaio *et al.*, 2015). No Brasil, a espécie encontra-se distribuída em diversos estados, incluindo Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia (Filgueiras, 2021; Longhi-Wagner, 2024). Do ponto de vista morfológico, a espécie é descrita como uma planta perene e cespitosa, apresentando colmos ramificados na base com 35 a 90 centímetros de comprimento (Longhi-Wagner, 2024). As folhas apresentam lâminas involutas e setáceas e presença de pilosidade, especialmente na fase adaxial da folha. A inflorescência é uma panícula, sendo que as espiguetas contam com glumas de igual comprimento e aristas retas, embora em alguns casos pelo menos uma das aristas possa ser maior que as demais (Filgueiras, 2021).

1.2.2. A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea anual pertencente à família Poaceae, tribo Maydeae e gênero *Zea* (Badu-Apraku e Fakorede, 2017; Gondim Neto, 2012). A espécie é originária da América Central ou do México, sendo que os primeiros registros foram encontrados no sul do México há nove mil anos (Kistler *et al.*, 2020; Matsuoka *et al.*, 2002). Desde então, a gramínea fez parte da alimentação básica de diferentes civilizações, incluindo os povos Maias, Astecas, Incas e os indígenas (Cruz *et al.*, 2008; Gonzales, 2019). Atualmente, quando comparado à outras culturas graníferas, o milho destaca-se com o maior incremento em produtividade dos últimos anos (Garcia *et al.*, 2006). Seu cultivo é feito em quase todas as regiões agrícolas do mundo, desde as regiões mais secas, até as mais úmidas,

sendo empregado na alimentação humana e animal, além de constituir importante matéria prima para a indústria (Alves *et al.*, 2015; Gondim Neto, 2012; Luís, 2014).

Na safra de 2022/23, o Brasil esteve posicionado no topo da lista de maiores exportadores (52.000 mil toneladas), além de ser o terceiro maior produtor (124.000 mil toneladas), atrás apenas de Estados Unidos e China (Coêlho, 2024). No Brasil, os estados com maior produção são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, respectivamente, sendo que o Mato Grosso é responsável por 66% de todo o milho produzido no Centro-Oeste (Coêlho, 2024).

O cultivo de milho é considerado estratégico, uma vez que pode ser cultivado em duas épocas diferentes: a primeira safra, também chamada de “plantio de verão”, corresponde à época tradicional de cultivo, feita durante os meses chuvosos do ano; enquanto a segunda safra ou “safrinha”, refere-se ao cultivo de inverno, comumente implantado após o cultivo de soja precoce (Pereira Filho *et al.*, 2021). O milho ainda possui uma importância no que diz respeito a agricultura familiar, sendo esta uma das principais responsáveis pela conservação, produção e propagação de sementes crioulas (Lima, 2021).

No que diz respeito à morfologia, o milho apresenta um sistema radicular com arquitetura bastante complexa, incluindo a presença de raízes de origem embrionária e pós-embrionária (Hochholdinger, 2009; Protto *et al.*, 2024). Durante o desenvolvimento embrionário, há a formação de raízes primárias e seminais, ambas de origem endógena, o que implica que a ponta da raiz tenha que romper outros tecidos (Hochholdinger, 2004). Em seguida, há a formação de dois tipos de raízes: as raízes laterais, importantes para a arquitetura radicular, uma vez que apresentam grande capacidade de ramificação; e as raízes originadas da coroa, conferindo uma resistência adicional contra o acamamento (Atkinson *et al.*, 2014; Hochholdinger, 2004). Por fim, há a formação de raízes de escora acima do solo, o que além de contribuir com a sustentação da planta, também favorecem a absorção de nutrientes (Hochholdinger, 2004; Fornasier Filho, 2007). De modo geral, a profundidade do sistema radicular é fortemente influenciada pelas características do solo, incluindo nível de compactação, aeração, umidade, pH e presença de elementos tóxicos (Mercer, 2001).

O milho apresenta um colmo alto, robusto e de consistência herbácea, podendo atingir quatro metros de altura, dependendo do híbrido, condições edafoclimáticas e fertilidade do solo (Badu-Apraku; Fakorede, 2017; Barros; Calado, 2014; Santos Neto, 2019). De maneira semelhante a outras gramíneas, o milho também apresenta segmentação em nós e entrenós, de onde se originam as folhas e raízes adventícias. Além de suportar as folhas e partes florais, o colmo é um importante órgão de reserva, armazenando sacarose quando as

condições ambientais são desfavoráveis (Durães *et al.*, 2006). As folhas são lanceoladas, apresentando nervuras paralelas que se afunilam gradualmente até o topo da planta, além de uma bainha bem aderida ao colmo (Badu-Apraku; Fakorede, 2017; Cruz *et al.*, 2008).

Quanto às partes florais, o milho é descrito como uma planta monóica, ou seja, apresenta estruturas reprodutivas masculinas e femininas em diferentes órgãos (Lima, 2006). A espécie também apresenta protandria, que consiste no amadurecimento dos órgãos masculinos e antes dos órgãos femininos (Balbinot *et al.*, 2011; Castro, 2020). A associação de ambas características (monoicia e protandria) favorece a alogamia da espécie, podendo atingir até 95% de fecundação cruzada (Castro, 2020).

A inflorescência masculina, denominada “panícula”, pode atingir cinquenta a sessenta centímetros de comprimento e apresenta coloração bastante variável, indo de tons esverdeados até vermelho escuro (Barros; Calado, 2014). A produção de grãos de pólen pode durar até 8 dias e, dependendo da variedade e das condições edafoclimáticas, cada planta de milho pode produzir por volta de cinco a cinquenta milhões de grãos de pólen (Barros e Calado, 2014; Hofmann *et al.*, 2014). A inflorescência feminina, denominada “espiga” ou “maçaroca”, apresenta um eixo por onde se desenvolvem as espiguetas. De modo geral, cada espiguetas é composta por duas flores, sendo uma fértil e uma estéril (Barros; Calado, 2014). Em cada flor é possível encontrar um único óvulo, responsável por produzir o ovário e, posteriormente, desenvolver o estilo-estigma, popularmente conhecido como “cabelo” ou “barba do milho” (Barros; Calado, 2014).

O crescimento e a produtividade do milho são influenciados por fatores genéticos e ambientais, incluindo o tipo de cultivar ou híbrido, umidade do solo, temperatura e radiação solar (Costa *et al.*, 2015; Cruz *et al.*, 2008; Forsthofer *et al.*, 2006; Resende *et al.*, 2003). No que diz respeito às necessidades hídricas, o milho é descrito como uma cultura fortemente dependente de água, sendo cultivada em regiões com precipitações médias entre 300 a 5.000 milímetros anuais, consumindo cerca de 600 milímetros durante todo o seu ciclo produtivo (Magalhães; Durães, 2006).

A dimensão dos efeitos do déficit hídrico está diretamente relacionada ao estágio fenológico afetado, período de ocorrência e intensidade do estresse (Fancelli; Dourado Neto, 2004). Caso ocorra na fase vegetativa, por exemplo, o déficit hídrico pode acarretar em redução no alongamento celular e, conseqüentemente, redução no acúmulo de biomassa vegetal (Zhao *et al.*, 2018). Caso ocorra no estágio de florescimento, poderá ocorrer dessecação dos estilo-estigmas, aborto dos sacos embrionários e espiguetas e morte dos grãos de pólen, impactando negativamente no rendimento da cultura (Magalhães; Durães, 2006;

Zhang *et al.*, 2022). De modo geral, evidências na literatura apontam que apenas dois dias de estresse hídrico já são suficientes para provocar redução em mais de 20% do rendimento; enquanto quatro a oito dias podem reduzir mais de 50% (Magalhães; Durães, 2006).

1.2.3. A cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea anual pertencente à família Poaceae, tribo Andropogoneae e gênero *Sorghum* (Albuquerque *et al.*, 2021; Teixeira, 2018). Originária da África tropical, a gramínea foi domesticada entre três e cinco mil anos atrás, sendo posteriormente difundida para outras regiões (Queiroz *et al.*, 2009). A tolerância da espécie à restrição hídrica pode ser explicada por sua origem, uma vez que o continente africano possui inúmeras áreas com temperaturas elevadas e restrição hídrica, favorecendo a seleção natural de indivíduos adaptados a esta condição (Silva *et al.*, 2021). Atualmente, a cultura apresenta grande relevância na África e na Índia, onde é componente básico da alimentação humana e da produção de silagem e combustível (Jogeswar *et al.*, 2007). Já em países ocidentais, como Estados Unidos e Brasil, o sorgo é cultivado visando a produção de forragem e grãos (Batista, 2012; Pereira Filho; Rodrigues, 2015).

No cenário de produção global, o sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, atrás apenas do trigo, milho, arroz e cevada (Aguilar *et al.*, 2023; Mabelebele *et al.*, 2015). Os Estados Unidos lideram a lista de países com maior produção (8,07 milhões de toneladas), seguido pela Nigéria, Sudão, México e Índia. No Brasil, a cultura do sorgo vive um momento de expansão, tendo sido observado um aumento de 47,2% na produção de grãos em 2023 em relação a 2022 (Agência IBGE, 2023). Além disso, foi observado aumento em área nas regiões Norte (+56,1%), Sudeste (+75,2%) e Centro-Oeste (+38,4%) (Agência IBGE, 2023).

Do ponto de vista comercial, o sorgo pode ser encontrado em 5 tipos: sorgo granífero, forrageiro, sacarino, biomassa e vassoura (Rego Junior, 2021; Silva *et al.*, 2016). O sorgo granífero, objeto de estudo deste trabalho, é cultivado visando a obtenção de grãos e apresenta porte baixo a médio (1,2 a 1,5 metros de altura), o que possibilita a colheita mecanizada (Rodrigues, 2010; Rego Junior, 2021; Silva, 2016). Além disso, é uma gramínea com grande potencial de cultivo durante a “safrinha”, permitindo maior flexibilidade na implantação (Silva, 2016).

No que diz respeito às características morfológicas, o sorgo apresenta um sistema radicular profundo e fibroso, podendo atingir de 1,5 a 3 metros de profundidade, além de um grande número de pelos absorventes (Assefa e Staggenborg, 2011; Magalhães *et al.*, 2008,

2021; Silva *et al.*, 2021). Semelhantemente ao milho, o sorgo pode apresentar três tipos diferentes de raízes: i) raízes primárias ou seminais, que apresentam pouca ramificação e ciclo de vida curto; ii) raízes secundárias, responsáveis por formar o sistema radicular principal e com elevada ramificação e iii) raízes adventícias, que aparecem nos nós acima do solo e tem como função principal a sustentação (Magalhães *et al.*, 2021).

O colmo é ereto e subdividido em nós e entrenós, contando a com presença de folhas ao longo de toda sua estrutura (Silva *et al.*, 2021). Dependendo do cultivar, fotoperíodo e a temperatura, pode apresentar de sete a trinta folhas dispostas alternadamente (Clerget *et al.*, 2008; Magalhães *et al.*, 2021). As folhas são compostas por bainha e lâmina foliar e são anfiestomáticas, ou seja, apresentam estômatos em ambas as faces (adaxial e abaxial) (Magalhães *et al.*, 2008, 2021). Há também a presença de substâncias cerosas, reduzindo a perda de água por transpiração e, portanto, constituindo uma importante estratégia contra a seca (Magalhães *et al.*, 2008, 2021). A inflorescência é do tipo panícula, apresentando um eixo central de onde se originam ramificações primárias, secundárias e terciárias (Magalhães *et al.*, 2021).

O sorgo é uma cultura fortemente adaptada às regiões semiáridas tropicais e subtropicais do mundo, onde as temperaturas elevadas e a baixa pluviosidade dificultam o cultivo de outros cereais (Devnarain *et al.*, 2016; Espitia-Hernández *et al.*, 2022). O sucesso da cultura em ambientes desfavoráveis tem sido explicado por diferentes traços funcionais. Por exemplo, como uma gramínea de metabolismo C₄, o sorgo suporta níveis elevados de radiação solar, minimizando a abertura dos estômatos e a perda de água e respondendo com maior atividade fotossintética (Assefa *et al.*, 2010). Além disso, a gramínea possui boa resistência à dessecação, apresentando capacidade de recuperação mesmo após ser submetida a um período de seca (Hausmann *et al.*, 2012). Isto é evidente em estudo de Sans *et al.* (2003), onde foi observado que após um período prolongado de murchamento, o sorgo se recuperou em apenas cinco dias, apresentando abertura dos estômatos e retomando às atividades metabólicas normais. Mais recentemente, evidências na literatura demonstraram a importância de uma arquitetura radicular eficiente, especialmente em condições de estresse hídrico, tendo genótipos de sorgo com ângulo radicular estreito apresentado maior comprimento radicular e, conseqüentemente, maior acesso às camadas mais profundas do solo (Demissie *et al.*, 2023).

1.2.4. Respostas das plantas ao estresse hídrico

O estresse hídrico pode ser definido como um processo onde os potenciais de água e turgor são reduzidos, impedindo a satisfação plena das necessidades da planta e, conseqüentemente, provocando mudanças em todos os níveis funcionais (Chaves *et al.*, 2003; Larcher, 2000; Shao *et al.*, 2008). Sua causa não se restringe apenas à seca, mas também ao estresse por congelamento, elevação de temperaturas e salinidade, todavia, a seca é a principal responsável por perdas em produtividade (Larcher, 2000; Verslues *et al.*, 2006). A ocorrência de estresses hídricos implica em um grande conflito entre a necessidade de se conservar água e a assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (Pedersen, 2013; Taiz; Zeiger, 2017). Para lidar com esta problemática, plantas superiores desenvolveram uma série de mecanismos que permitem sua sobrevivência, o que inclui respostas no âmbito fisiológico, morfológico e bioquímico (Saha *et al.*, 2008).

Na literatura, existem diferentes classificações quanto às respostas das plantas frente à escassez hídrica, sendo que uma das mais comuns é a divisão em escape, evitação, tolerância e recuperação (Silva, 2018). Estes mecanismos não são mutualmente exclusivos e, em muitos casos, plantas podem aumentar sua eficiência de resposta através da associação de diferentes mecanismos (Chaves *et al.*, 2003). O mecanismo de escape está presente em espécies com rápido desenvolvimento fenológico e alto grau de plasticidade, permitindo se reproduzir e completar seu ciclo antes que as condições ambientais sejam desfavoráveis (Chaves *et al.*, 2003; Fang; Xiong, 2015; Maia Junior, 2017). Este é um mecanismo que apresenta grande relevância ecológica, uma vez que possibilita a perpetuação da espécie. No entanto, quando se trata de espécies cultivadas, este mecanismo não é considerado benéfico, uma vez que pode levar à redução indireta na produtividade agrícola (Anjum *et al.*, 2011; Silva, 2018).

O mecanismo de evitação, também chamado de prevenção ou retardo da desidratação, tem como foco retardar a desidratação dos tecidos, seja pela maximização no acesso à água, ou mesmo pela redução das perdas para a atmosfera (Fang e Xiong, 2015). É um mecanismo que apresenta uma relevância maior em contextos de escassez hídrica leve à moderada (Fang; Xiong, 2015). Exemplos de estratégia de maximização são o aprofundamento do sistema radicular induzido pelo ácido abscísico e as simbioses com fungos micorrízicos arbusculares, possibilitando com que a planta explore maior volume de solo (Dobra *et al.*, 2010; Sharp, 2002; Lavinsky *et al.*, 2015; Lenoir *et al.*, 2016). Associado a isto, a planta pode ampliar sua área de condução do sistema, recorrendo a uma maior quantidade

de xilema e menor distância de internódios, visando reduzir a distância de transporte (Larcher, 2000).

Já em relação às estratégias de redução de perdas, um exemplo é o enrolamento foliar, uma vez que ao reduzir a área foliar eficaz, também reduz a transpiração (Pedersen, 2013). Outra estratégia importante é o fechamento estomático, visto que apesar de levar a perdas para a fotossíntese, também tem como benefício a redução na perda de água por transpiração (Chaves *et al.*, 2003; Silva, 2018). De maneira associada, algumas espécies podem apresentar presença de ceras e cutículas mais espessas, corroborando com a manutenção do potencial hídrico nos tecidos vegetais (Boulard *et al.*, 2017).

O mecanismo de tolerância é o que engloba um número maior de respostas, sendo adotado quando há elevada restrição hídrica (Chaves *et al.*, 2003; Fang; Xiong, 2015; Silva, 2018). Este possui como objetivo a manutenção de processos fisiológicos e metabólicos normais, mesmo que em um nível mais baixo (Fang; Xiong; Luo, 2010; Taiz; Zeiger, 2017). Um exemplo de estratégia é o ajuste osmótico, por meio do acúmulo de íons inorgânicos no vacúolo ou do acúmulo de solutos no citosol, possibilitando a manutenção do turgor celular mesmo que a disponibilidade de água seja reduzida (Munns; Gilliam, 2015; Silva, 2018).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA IBGE. **IBGE prevê safra de 308,5 milhões de toneladas para 2024, com queda de 2,8% frente a 2023.** Agência de Notícias IBGE, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 maio 2025.
- AGUIAR, E. V. *et al.* A Decade of Evidence of Sorghum Potential in the Development of Novel Food Products: Insights from a Bibliometric Analysis. **Foods**, Basel, v. 12, n. 20, p. 3790, 16 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12203790>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. Origem, evolução e domesticação do sorgo. In: MENEZES, C. B. (org.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 59-80.
- ALENCAR, A. *et al.* Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 6, p. 924, 13 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12060924>. Acesso em: 22 maio 2023.
- ALVES, B. M. *et al.* Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e à qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 884–891, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140471>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- ANJUM, S. A. *et al.* Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, V. P. V. Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. **Crop Management**, St Paul, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- ATKINSON, J. A. *et al.* Branching Out in Roots: Uncovering Form, Function, and Regulation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 166, n. 2, p. 538–550, 6 out. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.114.245423>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- BADU-APRAKU, B.; FAKOREDE, M. A. B. Morphology and Physiology of Maize. Em: BADU-APRAKU, B.; FAKOREDE, M. A. B. (Eds.). **Advances in Genetic Enhancement of Early and Extra-Early Maize for Sub-Saharan Africa**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 33–53. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-64852-1_3. Acesso em: 25 jun. 2024.
- BALBINOT, A.; DELAI, R. M.; WERLE, A. J. K. Viabilidade do pólen de milho. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 2, p. 133-142, 2011. Acesso em: 2 fev. 2024.
- BARBOSA, E. G. **Eficiência do manejo no controle de duas espécies de gramíneas invasoras em Cerrados Paulistas**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.41.2009.tde-21092009-135818>. Acesso em: 7 maio 2025.

BARBOSA, L. M. dos S. **Avaliação da presença, riqueza e associação entre espécies invasoras nas unidades de conservação do estado de São Paulo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Estadual Paulista, 2024.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Universidade de Évora, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/10804>. Acesso em: 3 jun. 2024.

BATISTA, K. D. **Características morfoanatômicas de raízes de milho e de sorgo cultivados sob diferentes concentrações de fósforo**. 2025. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1101>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212381/1/LV-DINAMICA-AGRICOLA-CERRADO-2020.pdf>. Acesso em: 7 maio 2025.

BOULARD, T. *et al.* Modelling of micrometeorology, canopy transpiration and photosynthesis in a closed greenhouse using computational fluid dynamics. **Biosystems Engineering**, London, v. 158, p. 110–133, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.001>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BRAY, E. A. Plant Response to Water-deficit Stress. Em: WILEY (Ed.). **Encyclopedia of Life Sciences**. [S. l.]: Wiley, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001298.pub2>. Acesso em: 24 maio 2023.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, R. Recent Development Patterns and Challenges of Brazilian Agriculture. Em: SHOME, P.; SHARMA, P. (ed.). **Emerging Economies**. New Delhi: Springer India, 2015. p. 41–66. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2101-2_2. Acesso em: 16 maio 2023.

BUOL, S. W. Soils and agriculture in Central-West and North Brazil. **Scientia Agricola**, Sao Paulo, v. 66, n. 5, p. 697–707, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000500016>. Acesso em: 7 maio 2025.

BUSTAMANTE, M. *et al.* Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, Sao Carlos, v. 72, n. 3 suppl, p. 655–671, ago. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400005>. Acesso em: 28 maio 2023.

CARVALHO, J. R. P. *et al.* Estimation of dry spells in three Brazilian regions — Analysis of extremes. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 132–133, p. 12–21, out. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.04.003>. Acesso em: 16 ago. 2024.

CASTRO, L. L. **Capacidade de combinação de híbridos simples de milho e interação com épocas de plantio**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11391>. Acesso em: 30 jan. 2025.

- CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 30, n. 3, p. 239, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/fp02076>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- CLERGET, B. *et al.* Variability of Phyllochron, Plastochron and Rate of Increase in Height in Photoperiod-sensitive Sorghum Varieties. **Annals of Botany**, Oxford, v. 101, n. 4, p. 579–594, 17 jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm327>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- COELHO, A. J. P. *et al.* Effects of anthropogenic disturbances on biodiversity and biomass stock of Cerrado, the Brazilian savanna. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 29, n. 11–12, p. 3151–3168, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02013-6>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- COÊLHO, J. D. Milho: produção e mercados. **Caderno Setorial ETENE**, n. 330, 11 p., 2024.
- COHN, A. S. *et al.* Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50 km. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 14, n. 8, p. 084047, 1 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab31fb>. Acesso em: 23 maio 2023.
- COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>. Acesso em: 7 maio 2025.
- COSTA, F. R. *et al.* Desempenho de híbridos de milho para consumo in natura em diferentes doses de nitrogênio. **Científica**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 109, 15 abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n2p109-116>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- CRUZ, J. C. *et al.* Manejo da cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R. (ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 647–725.
- 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**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 63–87, nov. 1992. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- DAIREL, M.; FIDELIS, A. How does fire affect germination of grasses in the Cerrado? **Seed Science Research**, Cambridge, v. 30, n. 4, p. 275–283, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0960258520000094>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- DAVIN, E. L.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N. de. Climatic Impact of Global-Scale Deforestation: Radiative versus Nonradiative Processes. **Journal of Climate**, Boston, v. 23, n. 1, p. 97–112, 1 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3102.1>. Acesso em: 23 maio 2023.
- DEVNARAIN, N. *et al.* Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 103, p. 61–69, mar. 2016.

- DOBRA, J. *et al.* Comparison of hormonal responses to heat, drought and combined stress in tobacco plants with elevated proline content. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 167, n. 16, p. 1360–1370, nov. 2010.
- DURÃES, F. O. M. **"Isoporização" em colmo de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F. D.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 355–363, ago. 2007.
- ESPITIA-HERNÁNDEZ, P. *et al.* Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 62, n. 8, p. 2269–2280, 20 mar. 2022.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004.
- FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Cham, v. 72, n. 4, p. 673–689, fev. 2015.
- FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Cham, v. 72, n. 4, p. 673–689, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>. Acesso em: 7 maio 2025.
- FERREIRA, R. C. U. *et al.* An Overview of the Genetics and Genomics of the Urochloa Species Most Commonly Used in Pastures. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, p. 770461, 13 dez. 2021.
- FERREIRA, R. R. M. Utilização de plantas para formação de palhada para plantio direto do feijão no Acre. **Solos e suas relações com sistemas de produção agropecuários: anais**, v. 3, n. 1, p. 1–4, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1099966>. Acesso em: 7 maio 2025.
- FILGUEIRAS, T. S. **Gramíneas do Cerrado**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- FONTENELE, H. G. V.; MIRANDA, H. S. Fire has contrasting effects on the survival, growth, and reproduction of Cerrado grasses with differing regenerative strategies. **Applied Vegetation Science**, Hoboken, v. 27, n. 2, p. e12775, abr. 2024.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007.
- FORSTHOFER, E. L. *et al.* Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 399–407, mar. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000300005>. Acesso em: 11 jul. 2024.

GARCIA, J. B.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O. Importância do milho em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, [s. l.], v. 27, n. 233, p. 7–12, 2006.

GONDIM NETO, M. A. **Desenvolvimento e produtividade de genótipos de milho sob preparo convencional e plantio direto em gleissolo háplico no município de Iranduba – AM**. 2012. 34 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2012.

GONZALES, M. E. B. **Componentes de produção e produtividade do milho em função da cultura antecessora em sistemas de produção**. 2019. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

GOUVÊA, A. P. M. L. **Gramíneas das formações savânicas e campestres do Parque Ecológico Bernardo Sayão – Brasília, Distrito Federal, Brasil**. 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/32090>. Acesso em: 7 maio 2025.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 183–195, set. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>. Acesso em: 15 abril 2024.

HAUSSMANN, B. I. G. *et al.* Breeding Strategies for Adaptation of Pearl Millet and Sorghum to Climate Variability and Change in West Africa. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 198, n. 5, p. 327–339, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00526.x>. Acesso em: 27 jun. 2024.

HOCHHOLDINGER, F. Genetic Dissection of Root Formation in Maize (*Zea mays*) Reveals Root-type Specific Developmental Programmes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 93, n. 4, p. 359–368, 23 fev. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mch056>. Acesso em: 20 jun. 2024.

HOCHHOLDINGER, F. The Maize Root System: Morphology, Anatomy, and Genetics. Em: BENNETZEN, J. L.; HAKE, S. C. (ed.). **Handbook of Maize: Its Biology**. New York, NY: Springer New York, 2009. p. 145–160. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-0-387-79418-1_8. Acesso em: 20 jun. 2024.

HOFMANN, F.; OTTO, M.; WOSNIOK, W. Maize pollen deposition in relation to distance from the nearest pollen source under common cultivation - results of 10 years of monitoring (2001 to 2010). **Environmental Sciences Europe**, Heidelberg, v. 26, n. 1, p. 24, dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0024-3>. Acesso em: 11 julho 2024.

JOGESWAR, G. *et al.* High frequency somatic embryogenesis and regeneration in different genotypes of *Sorghum bicolor* (L.) Moench from immature inflorescence explants. **In Vitro Cellular e Developmental Biology - Plant**, Heidelberg, v. 43, n. 2, p. 159–166, 18 maio 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9033-x>. Acesso em: 26 junho 2024.

- KAUR, H. *et al.* Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 172, n. 2, p. 935–962, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.13389>. Acesso em: 27 maio 2023.
- KELLOGG, E. A. Evolutionary history of the grasses. **Plant Physiology**, Campinas, v. 125, n. 3, p. 1198-1205, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.125.3.1198>. Acesso em: 7 maio 2025.
- KISTLER, L. *et al.* Archaeological Central American maize genomes suggest ancient gene flow from South America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 117, n. 52, p. 33124–33129, 29 dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2015560117>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- LAMBERS, H. *et al.* Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Matching Morphological and Physiological Traits. **Annals of Botany**, Oxford, v. 98, n. 4, p. 693–713, 1 out. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl114>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- LAMBERS, H. *et al.* Towards more sustainable cropping systems: lessons from native Cerrado species. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 3, p. 175–194, set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00180-z>. Acesso em: 16 maio 2023.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000.
- LAVINSKY, A. O. *et al.* Partitioning between primary and secondary metabolism of carbon allocated to roots in four maize genotypes under water deficit and its effects on productivity. **The Crop Journal**, v. 3, n. 5, p. 379–386, out. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.04.008>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- LEITE-FILHO, A. T. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, London, v. 12, n. 1, p. 2591, 10 maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- LEMES, L.; DE ANDRADE, A. F. A.; LOYOLA, R. Spatial priorities for agricultural development in the Brazilian Cerrado: may economy and conservation coexist? **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1683–1700, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01719-6>. Acesso em: 16 maio 2023.
- LENOIR, I.; FONTAINE, J.; LOUNÈS-HADJ SAHRAOUI, A. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. **Phytochemistry**, v. 123, p. 4–15, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>. Acesso em: 26 janeiro 2025.
- LIMA, J. L. **Controle genético do florescimento em milho**. 2006. 56 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4333>. Acesso em: 7 maio 2025.

- LIMA, L. S. de C. F. **Sementes crioulas de milho da agricultura familiar do Sudoeste Paulista: qualidade e feira de troca**. 2021. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/14079>. Acesso em: 7 maio 2025.
- LONGHI-WAGNER, H. M. *Aristida gibbosa*. Flora e Funga do Brasil, 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB12997>. Acesso em: 7 maio 2025.
- LUÍS, A. J. **Características agronômicas do milho em função da cultura antecessora no sistema plantio direto**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.
- LUO, L. J. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 13, p. 3509–3517, 1 ago. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq185>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- MABELEBELE, M. *et al.* Chemical Composition and Nutritive Value of South African Sorghum Varieties as Feed for Broiler Chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 45, n. 2, p. 206, 5 ago. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/sajas.v45i2.12>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- MACIEL, J. R. *Chloris barbata*. Flora e Funga do Brasil, 2025. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB20352>. Acesso em: 7 maio 2025.
- MACIEL, J. R.; SILVA, W. C. D.; COSTA e SILVA, M. B. O gênero *Chloris* (Poaceae) em Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, p. 169–177, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000100014>. Acesso em: 4 maio 2025.
- MAGALHÃES, P. C. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Cultivo do sorgo**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; SOUZA, K. R. D. DE. Biologia e fisiologia do sorgo. Em: MENEZES, C. B. DE (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa, 2021.
- MAGNAGO, L. F. S.; VENZKE, T. S.; IVANAUSKAS, N. M. Os processos e estágios sucessionais da Mata Atlântica, como referência para a restauração florestal. In: MARTINS, S. V. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap. 3. p. 145–162.
- MAIA JUNIOR, S. de O. **Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar ao déficit hídrico: relações hídricas, trocas gasosas, fluorescência da clorofila e metabolismo antioxidante**. 2017. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/3368>. Acesso em: 7 maio 2025.

MALHEIROS, R. A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no bioma Cerrado (The seasonality influence and the dynamics of life on Cerrado biome). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 19, 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48876>. Acesso em: 7 maio 2025.

MALHEIROS, R. A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no bioma Cerrado (The seasonality influence and the dynamics of life on Cerrado biome). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 2237-8642, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48876>. Acesso em: 7 maio 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, p. 457, 10 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetida a déficit hídrico**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7529>. Acesso em: 7 maio 2025.

MATOS, D. M. da S.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres: alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.

MATSUOKA, Y. *et al.* A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 99, n. 9, p. 6080–6084, 30 abr. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>. Acesso em: 24 jun. 2024.

MERCER, J. R. **Implicações do fenômeno xênia nos programas de melhoramento de milho**. 2001. 53 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/34895>. Acesso em: 7 maio 2025.

MITTERMEIER, R. A. *et al.* A Brief History of Biodiversity Conservation in Brazil. **Conservation Biology**, Malden, v. 19, n. 3, p. 601–607, jun. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00709.x>. Acesso em: 10 maio 2023.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes: cultivos de verão**. Brasília, DF: Embrapa, 2010.

MORO, M. F. *et al.* Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia? **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, DF, v. 26, n. 4, p. 991–999, dez. 2012. Acesso em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000400029>. Disponível em: 25 jul. 2024.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? **New Phytologist**, Chichester, v. 208, n. 3, p. 668–673, nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.13519>. Acesso em: 2 jul. 2024.

MUSSO, C. *et al.* Effects of water and nutrient availability on morphological, physiological, and biochemical traits of one invasive and one native grass of a Neotropical savanna.

Environmental and Experimental Botany, Amsterdam, v. 182, p. 104305, fev. 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104305>. Acesso em: 2 jun.2023.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35002501>. Acesso em: 30 jun. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil: vida terrestre**. Nações Unidas no Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/1>.

Acesso em: 25 abr. 2025.

OLIVEIRA SANTANA, J. C.; SIMON, M. F. Plant diversity conservation in an agricultural frontier in the Brazilian Cerrado. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 31, n. 2, p. 667–681, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02356-2>. Acesso em: 7 maio 2025.

OLIVEIRA, D. M. D. S. *et al.* Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 47, p. e0220055, 6 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220055>.

Acesso em: 6 março 2023.

OLIVEIRA, R. C.; REIS, P. A. D. **Melinis repens**. Flora e Funga do Brasil, 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB25996>. Acesso em: 25 abr. 2025.

OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E. The global 200: priority ecoregions for global conservation. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Saint Louis, v. 89, p. 199–224, 2002.

ONO, R. B. **Estudo in silico dos diferentes grupos de expansina presentes no transcriptoma de *Urochloa decumbens* (Stapf) cv. Basilisk**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/4136>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PEDERSEN, A. C. **Déficit hídrico em milho: caracterização fisiológica e inoculação com *Azospirillum brasilense***. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012. Disponível em:

<http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/552/1/2013AnaClaudiaPedersen.pdf>. Acesso em: 7 maio 2025.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. **Sistemas diferenciais de cultivo**. Sete Lagoas: Embrapa, 2021.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Sete Lagoas: Embrapa, 2015.

PETRY, M. T. *et al.* Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 531–539, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300013>. Acesso em: 5 jun.2023.

PINHEIRO, E. D. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 181–193, fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000100019>. Acesso em: 3 maio 2023.

PIVELLO, V. R. Invasões biológicas no cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. **Ecologia info**, [s. l.], v. 33, 2011. Disponível em: <https://ecologia.info/cerrado.htm>. Acesso em: 7 maio 2025.

PIVELLO, V. R.; SHIDA, C. N.; MEIRELLES, S. T. Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, Dordrecht, v. 8, n. 9, p. 1281–1294, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008933305857>. Acesso em: 7 maio 2025.

PROCÓPIO, S. de O. *et al.* Weed management. Em: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Sugarcane**. London: Academic Press, 2015. p. 133–159. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00007-4>. Acesso em: 7 maio 2025.

PROTTO, V. *et al.* Primary, seminal and lateral roots of maize show type-specific growth and hydraulic responses to water deficit. **Plant Physiology**, Campinas, v. 194, n. 4, p. 2564–2579, 29 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad675>. Acesso em: 25 maio 2024.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTO, M.; CARVALHO, C. W. P.; MARTINO, H. S. D. **O sorgo na alimentação humana**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, n. 3, p. 223–230, 1 set. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>. Acesso em: 26 abril 2023.

REBOLO, I. F. **Invasão do Cerrado pela Braquiária (*Urochloa decumbens*): impacto na predação de sementes e potencial de disseminação por formigas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/12761>. Acesso em: 7 maio 2025.

REGO JUNIOR, J. S. do. **Desempenho agrônômico do sorgo granífero submetido ao regulador vegetal brassinosteroide na safrinha**. 2021. 31 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO. Disponível em: <http://www.btd.ueg.br/handle/tede/1082>. Acesso em: 7 maio 2025.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Sete Lagoas: Embrapa, 2003.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2008. v. 2. p. 151–212.

RIBEIRO, P. R. G. **Plasticidade de espécies de fitofisionomias do cerrado à disponibilidade de luz e água**. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/10315>. Acesso em: 7 maio 2025.

RICHARDSON, D. M. *et al.* Naturalization and Invasion of Alien Plants: Concepts and Definitions. **Diversity and Distributions**, Chichester, v. 6, n. 2, p. 93-107, 2000. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2673320>. Acesso em: 7 maio 2025.

RODRIGUES, A. A. *et al.* Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, Chichester, v. 28, n. 22, p. 6807–6822, nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.16386>. Acesso em: 30 junho 2023.

RODRIGUES, J. A. S. **Sistema de produção do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

RODRIGUES, R. S. **A tribo paniceae s.l. (Poaceae: Panicoideae) na reserva biológica de Mogi-Guaçu, SP, Brasil**. 2013. 224 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2013. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/2013/09/Rodrigo_Sampaio_Rodrigues_MS.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

SAHA, S. *et al.* Linking the patterns in soil moisture to leaf water potential, stomatal conductance, growth, and mortality of dominant shrubs in the Florida scrub ecosystem. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 313, n. 1-2, p. 113-127, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9684-3>. Acesso em: 2 jul. 2024.

SAMPAIO, A. B. *et al.* **Guia de restauração do Cerrado (Vol 1: Semeadura Direta)**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, DF: Rede de Sementes do Cerrado, 2015.

SANS, L. M. A. *et al.* Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do sorgo nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais [...]** Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003.

SANTOS NETO, J. F. dos. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em resposta a diferentes densidades populacionais**. 2019. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/16687>. Acesso em: 7 maio 2025.

SARTORELLI, P. A. R. *et al.* **Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal**. São Paulo: Agroicone, 2018. Disponível em: <https://sobrestauracao.org/documentos/guia-plantas-nao-desejaveis.pdf>. Acesso em: 7 maio 2025.

SHAO, H.-B. *et al.* Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, [s. l.], v. 331, n. 3, p. 215–225, 31 jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>. Acesso em: 2 jul. 2024.

SHARP, R. E. Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. **Plant, Cell and Environment**, Chichester, v. 25, n. 1, p. 211–222, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00798.x>. Acesso em: 7 maio 2025.

SILVA, D. F. D. *et al.* Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 3, e12310313172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13172>. Acesso em: 28 jun. 2024.

SILVA, E. M. da. **Características associadas à tolerância a seca em híbridos de sorgo contrastantes: uma abordagem morfoanatômica, fisiológica e bioquímica**. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204436/1/Paulo-Cesar-tese-Eder.pdf>. Acesso em: 7 maio 2025.

SILVA, K. J. da. **Diversidade genética entre linhagens de sorgo granífero utilizando descritores morfoagronômicos e marcadores moleculares**. 2016. 46 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7935>. Acesso em: 7 maio 2025.

SIMON, M. F. *et al.* Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>. Acesso em: 23 jan. 2025.

SOUZA, A. D.; MORAES, M. G. D.; RIBEIRO, R. D. C. L. F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, DF, v. 19, n. 1, p. 81–90, mar. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000100009>. Acesso em: 29 jul. 2024.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology e Evolution**, London, v. 1, n. 4, p. 0099, 23 mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>. Acesso em: 22 maio 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VERSLUES, P. E. *et al.* Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, Chichester, v. 45, n. 4, p. 523–539, fev. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x>. Acesso em: 2 jul. 2024.

ZHANG, Y. *et al.* Transcriptome analysis of maize pollen grains under drought stress during flowering. **Crop e Pasture Science**, Clayton, v. 73, n. 9, p. 1026–1041, 11 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP21610>. Acesso em: 24 jan. 2025.

ZHAO, J. *et al.* Shoot and root traits in drought tolerant maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Integrative Agriculture**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 1093–1105, maio 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61869-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61869-0). Acesso em: 24 jan. 2025.

2. **CAPÍTULO 2: EFEITO DA LIMITAÇÃO HÍDRICA SOBRE PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS, INTERAÇÃO COM MICRORGANISMOS E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA**

2.1 INTRODUÇÃO

No mundo todo, a escassez hídrica é um dos principais fatores responsáveis por limitar a produtividade vegetal, implicando que as plantas tenham que recorrer a diferentes adaptações e estratégias ecológicas (Bharath *et al.*, 2021; Bray, 2007; Kaur *et al.*, 2021; Martins, 2010). Estratégias de caráter fisiológico, como o fechamento estomático, têm sido relatadas como uma das primeiras respostas ao estresse hídrico (Bharath *et al.*, 2021; Habermann *et al.*, 2019; Kaur *et al.*, 2021; Muhammad Aslam *et al.*, 2022). Além disso, tal estratégia frequentemente é associada a outras adaptações a níveis morfológicos, incluindo alterações na alocação de biomassa e relação parte aérea/raíz, modificações nas paredes celulares e remodelação lipídica de ácidos graxos de membrana (Kaur *et al.*, 2021; Teixeira, 2022).

Diversos estudos demonstram como a escassez hídrica pode levar à alteração de processos e funções ecossistêmicas, especialmente no que diz respeito aos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do fósforo (Zhang *et al.*, 2020). Para o fósforo, isto pode acontecer através de diferentes respostas, incluindo reduções na disponibilidade do nutriente, redução na decomposição de matéria orgânica e menor atividade microbiana (Fujii *et al.*, 2024; Sardans; Peñuelas, 2004; Zhang *et al.*, 2020). Em alguns contextos, plantas podem exsudar fosfatases ácidas, isto é, enzimas responsáveis pela disponibilização de fósforo de fontes não imediatamente disponíveis, como é o caso das fontes orgânicas (Lambers *et al.*, 2006; Mandelbaum; Piche, 2000; Silva, 2022). De maneira complementar, as fosfatases também podem ser exsudadas por fungos (micorrízicos ou saprotróficos) e bactérias (Margalef *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022). Entretanto, o efeito da escassez hídrica sobre a atividade das fosfatases ainda não está totalmente claro, existindo estudos que indicam que estresses osmóticos, ocasionados por condições de déficit hídrico, possam favorecer a atividade da fosfatase ácida (Ehsanpour; Amini, 2003), enquanto outros sinalizam efeito negativo (Sardans e Peñuelas, 2004). Outra importante forma de aquisição de fósforo ocorre mediante a simbiose de plantas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Estes microrganismos formam uma rede micelial que se estende das raízes ao solo, favorecendo a aquisição de água e nutrientes de camadas que não estariam disponíveis às plantas (Begum *et al.*, 2019; Leite *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2007).

Segundo postulado na literatura, plantas C₄ tendem a apresentar maior resistência à seca e uso eficiente de água, entretanto, as estratégias associadas são altamente espécie-específicas (Basu *et al.*, 2016; Habermann *et al.*, 2019). Por exemplo, em relação às gramíneas de interesse agrícola, sabe-se que o milho (*Zea mays*) é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante o estágio vegetativo, entretanto, pode apresentar decréscimo em área foliar e redução no acúmulo em biomassa. Caso as condições climáticas atinjam novamente os níveis adequados para a cultura, estes efeitos indesejados podem ser atenuados, entretanto, caso se prolongue até o período de pré-florescimento e enchimento de grãos, pode acarretar em perdas no rendimento de grãos e produtividade (Bergamaschi *et al.*, 2006; Kron *et al.*, 2008; Santos; Carlesso, 1998). De modo geral, para lidar com tal estresse, o milho pode recorrer a mecanismos de escape, mecanismos de evitamento e mecanismos de tolerância (NeSmith; Ritchie, 1992; Ribaut *et al.*, 2009 *apud* McMillen *et al.*, 2022).

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), por outro lado, é considerado uma cultura adaptada ao déficit hídrico, apresentando mecanismos fisiológicos para lidar com estresses de curto prazo (Assefa *et al.*, 2010). Entretanto, embora a cultura também possa resistir a estresses mais prolongados, isto também implicará em redução na produtividade (Assefa *et al.*, 2010). Dentre as estratégias utilizadas, sabe-se que a espécie possui a capacidade de retardamento do desenvolvimento reprodutivo, possibilitando a fuga da seca; além de se beneficiar fortemente de um sistema radicular denso e profundo, favorecendo a aquisição de água de camadas inferiores do solo (Wright; Smith, 1983). Além disso, quando comparado ao milho, há indícios de que o seu ajuste osmótico seja uma estratégia muito mais eficiente (Blum; Sullivan, 1986; Farré; Faci, 2006; Singh; Singh, 1995).

No que diz respeito às espécies silvestres, é sabido que as gramíneas nativas apresentam adaptações frente às condições adversas e à sazonalidade do Cerrado, sobrevivendo por até cinco meses em condições de baixa disponibilidade hídrica e nutricional (Coutinho, 1990; Haridasan, 2008; Goldstein *et al.*, 2008; Sarmiento, 1992). Por outro lado, gramíneas exóticas invasoras também podem apresentar estratégias semelhantes, o que associado ao seu comportamento oportunista, lhes permite um uso mais eficiente de recursos limitados, como a água, por exemplo (Musso *et al.*, 2021). Isto pode ser explicado pelo fato de que muitas espécies exóticas apresentarem elevada plasticidade fenotípica, favorecendo sua aclimação em uma grande gama de condições ambientais (Davidson *et al.*, 2011; Lannes *et al.*, 2020).

Diante do exposto, foram estudadas as seguintes hipóteses: i) gramíneas silvestres (nativas e exóticas) apresentam estratégias mais eficientes, decorrentes de sua maior

resistência genética à escassez hídrica; e ii) gramíneas cultivadas (sorgo e milho) apresentam estratégias menos eficientes à escassez hídrica, possivelmente devido à menor variabilidade genética, decorrente da seleção do melhoramento genético.

2.2 OBJETIVOS

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da limitação hídrica em gramíneas C₄ de diferentes grupos funcionais (gramíneas cultivadas, gramíneas silvestres nativas e gramíneas silvestres exóticas), considerando respostas de caráter morfológico, fisiológico, funcional e bioquímico.

Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Avaliar o efeito da escassez hídrica sobre parâmetros fisiológicos: taxa de assimilação de CO₂, taxa de transpiração, condutância estomática, concentração intercelular de CO₂, eficiência no uso de água e eficiência instantânea da carboxilação;
- ii) Avaliar o efeito da escassez hídrica sobre parâmetros morfológicos associados ao crescimento (altura, diâmetro e biomassa da parte aérea e radicular);
- iii) Avaliar o efeito da seca sobre a atividade da fosfatase ácida radicular e do solo;
- iv) Quantificar o nível de colonização micorrízica arbuscular sob condições de limitação hídrica;
- v) Investigar o efeito da escassez hídrica sobre o perfil de ácidos graxos de membranas em tecidos radiculares;
- vi) Investigar o efeito da escassez hídrica sobre parâmetros bromatológicos (extrato etéreo e proteína bruta).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação nas dependências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS. O desenho experimental consistiu de um delineamento inteiramente casualizado, contando com 6 gramíneas, 3 doses de água e 4 repetições, totalizando 72 vasos. As espécies selecionadas consistiram de espécies de diferentes grupos funcionais, incluindo as gramíneas cultivadas milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), as gramíneas silvestres nativas *Chloris barbata* e *Aristida gibbosa* e as gramíneas exóticas invasoras *Urochloa decumbens* e *Melinis repens* (Tabela 1).

Tabela 1 - Família, nome científico, nome popular e grupo funcional das espécies selecionadas para a composição deste estudo.

Família	Nome científico	Nome popular	Grupo funcional
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Gramínea cultivada
Poaceae	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	Sorgo	Gramínea cultivada
Poaceae	<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster	Capim-braquiária	Gramínea exótica
Poaceae	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Capim-favorito	Gramínea exótica
Poaceae	<i>Chloris barbata</i> Sw.		Gramínea nativa
Poaceae	<i>Aristida gibbosa</i> (Nees) Kunth		Gramínea nativa

Fonte: Elaboração do autor.

Para as gramíneas nativas e exóticas (*C. barbata*, *A. gibbosa*, *U. decumbens* e *M. repens*), foram utilizadas sementes silvestres coletadas em campo e previamente testadas quanto ao potencial de germinação e viabilidade. Para o milho, utilizou-se sementes comerciais do híbrido simples AG 7098 TRE, com as seguintes características: ciclo precoce, porte alto, sistema radicular bem desenvolvido, adaptação à cultivos de “safrinha”, tecnologia *stay green* e tolerância à lagartas (lagarta-do-cartucho, lagarta-da-espiga, lagarta-elasma, lagarta-rosca e broca-do-colmo) (Agranda, 2022). Para o sorgo, utilizou-se sementes comerciais do híbrido 84G05, com as seguintes características: ciclo superprecoce, porte médio, sistema radicular bem desenvolvido, tolerância ao quebramento do colmo e ao acamamento e tolerância ao estresse hídrico (Pioneer, 2024).

Inicialmente, as espécies foram semeadas em bandejas de plástico contendo substrato comercial, sendo o transplante das mudas mais vigorosas após 10 dias. Os vasos, com capacidade de 3 litros, foram preenchidos com solo típico de Cerrado, coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade na Fazenda Experimental “Bovinos” da Unesp Ilha Solteira. O solo foi submetido à análise química (Tabela 2) e o tranplântio foi realizado com três plântulas por vaso.

Tabela 2 – Resultados da análise química do solo utilizado no preenchimento dos vasos experimentais.

P-resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl2	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³
4 (B)	15 (M)	4.8 (B)	0.9 (B)	6 (M)	7 (M)	18 (A)
Al	SB	S-SO4	CTC	V	Ca/ CTC	Mg/ CTC
mmol _c dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	%	%	%
2 (M)	13.9 (A)	5 (M)	31.9 (A)	44 (B)	19 (A)	22 (A)
m	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	
13 (A)	0.03 (B)	1.2 (A)	20 (A)	15.0 (A)	0.3 (B)	

Nota: Interpretação dos teores entre parênteses: A = alto; M = médio; B = baixo. P-resina = Fósforo; MO = Matéria Orgânica; pH = Potencial Hidrogeniônico; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H+Al = Acidez Potencial; Al = Alumínio; SB = Soma de Bases; S-SO4 = Enxofre; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; V = Saturação por Bases; Ca/CTC = Cálcio na Capacidade de Troca Catiônica; mg/CTC = Magnésio na Capacidade de Troca Catiônica; m = Saturação por Alumínio; B = Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco. **Fonte:** Elaboração do autor.

A irrigação foi feita com base na capacidade de vaso, sendo que os tratamentos consistiram em: 100% da capacidade de vaso, 50% da capacidade de vaso e 25% da capacidade de vaso. Para obtenção da capacidade de vaso, cinco vasos eram irrigados até o nível de saturação do solo, obtendo-se a média para o nível de 100% de capacidade de vaso. Com base neste valor, foram calculados os demais níveis (50 e 25%). Para refletir mudanças climáticas e o próprio desenvolvimento vegetativo, os pontos de saturação eram calculados diariamente. Na Tabela 3 é possível encontrar o somatório total de água aplicado em cada tratamento, ao final do experimento.

Tabela 3 - Somatório do total de água aplicada em cada tratamento durante o período de limitação hídrica (67 dias).

Nível	Capacidade de vaso	mL vaso ⁻¹
Alto	100% da capacidade de vaso	29.320
Médio	50% da capacidade de vaso	14.660
Baixo	25% da capacidade de vaso	7.380
Total		51.360

Fonte: Elaboração do autor.

As espécies cultivadas (milho e sorgo) foram fertilizadas de acordo com as recomendações para cada cultura nos estádios de semeadura, V3 e V6 (Tabela 4). Com o objetivo de simular as condições naturais de baixa fertilidade dos solos do Cerrado, gramíneas silvestres não foram submetidas à qualquer tipo de fertilização.

Tabela 4 - Resumo da fertilização aplicada nos vasos das gramíneas cultivadas (milho e sorgo).

	NPK	KCl	Ureia	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹					
Semeadura	357,0	22,2	-	28,56	100	57,12 + 12,88
V3	-	-	112,7	50,72	-	-
V6	-	-	112,7	50,72	-	-
	NPK	Ureia	KCl			
	g vaso ⁻¹					
Semeadura	0,95	-	0,03			
V3	-	0,30	-			
V6	-	0,30	-			

Fonte: Elaboração do autor.

A casualização dos vasos foi realizada a cada 15 dias, visando diluir os efeitos da posição dos vasos sobre as variáveis-resposta. Além disso, após 30 dias de experimento, as espécies cultivadas começaram a apresentar desenvolvimento vegetativo mais vigoroso, e, com o objetivo de evitar o sombreamento das gramíneas nativas, foi feito o desbaste, mantendo apenas 1 planta por vaso.

Durante a condução do experimento, foi notada a presença do pulgão-da-cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari/sorghhi*) nos vasos submetidos ao nível alto e intermediário de água, sendo o seu controle feito com a aplicação de solução contendo água e detergente,

seguido da remoção mecânica dos fitófagos.

Após 67 dias de tratamento, os vasos foram desmontados e as amostras foram coletadas para as análises posteriores.

2.3.2 Determinação de parâmetros fisiológicos foliares

A determinação de parâmetros fisiológicos foi realizada após 40 dias de tratamento, com o auxílio de um analisador de gás infravermelho (IRGA - modelo LCpro+Sistem). Foram mensuradas as seguintes variáveis: i) taxa de assimilação de CO₂ (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ii) taxa de transpiração foliar (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); iii) condutância estomática ao vapor de água (g_s), concentração interna de CO₂ (C_i); iv) eficiência no uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]; v) eficiência instantânea da carboxilação (EiC) (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. Devido à limitação do equipamento em relação à largura foliar, não foi possível realizar a coleta de dados nas gramíneas silvestres, cujas folhas são excessivamente estreitas para o sensor, restringindo as medições apenas às gramíneas cultivadas.

2.3.3 Avaliação de parâmetros morfológicos

A avaliação da altura das plantas foi feita um dia antes da finalização do experimento, medindo-se da distância do colo até a última inserção foliar (gramíneas silvestres) ou folha bandeira (milho e sorgo). Além disso, com o auxílio de um paquímetro, também foi medido o diâmetro do caule de todas as espécies presentes no experimento.

Durante a desmontagem do experimento, foram coletadas amostras da parte aérea e sistema radicular de cada uma dos tratamentos e gramíneas estudadas, armazenando-as em sacos de papel e submetendo à secagem em estufa de ventilação forçada por 72 horas. Em seguida, as amostras secas foram pesadas em balança analítica, sendo os dados utilizados para obtenção do acúmulo total de biomassa.

2.3.4 Análise bromatológica

O material vegetal foi submetido à secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C por três dias, sendo posteriormente moído a 1 mm para determinação dos conteúdos de proteína e cálculo do teor de nitrogênio a 7% (AOAC, 1990), extrato etéreo (extrator Soxhlet), fibras por método sequencial (Robertson e van Soest, 1981) no Laboratório de Bromatologia

da Unesp Ilha Solteira.

2.3.5 Determinação da atividade da fosfatase ácida

Para determinação da atividade da fosfatase ácida, foi utilizado o protocolo do p-nitrofenil-fosfato (pNPP), com adaptações de Olde Venterink (2011). Para tal, foi selecionada 0,1 g de raízes frescas de cada umas gramíneas estudadas, acondicionando-as em tubos de reação contendo 5 mL da solução do substrato p-nitrofenil fosfato e submetendo em homogeneização em agitador de Kline por cerca de 1 hora. Em seguida, para interrupção da reação enzimática, uma alíquota de 0,5 mL foi amostrada e dispensada em tubos contendo 3 mL de NaOH 2 N. Por fim, a concentração de p-nitrofenil foi medidas através da absorbância, por meio de espectrofotômetro, e expressa em μmol de p-nitrofenol produzido por g de massa de raiz fresca por hora ($\mu\text{mol pNPP g raiz}^{-1} \text{ h}^{-1}$), previamente estabelecido com curva-padrão de nitrofenol.

Semelhantemente, a atividade da fosfatase ácida no solo foi determinada através do protocolo de Tabatabai e Bremner (1969), com adaptações. Neste sentido, foram pesados aproximadamente 2,0 g de solo seco ao ar, os quais foram acondicionados em tubos de reação com adição de solução tampão de acetato de sódio 0,5 M (pH 5,0) e solução de p-nitrofenil fosfato (pNPP) a 0,05 M.

As amostras foram então homogeneizadas e incubadas em banho-maria a 37 °C por 1 hora. Após esse período, os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 5 minutos, possibilitando a separação do sobrenadante. Em seguida, uma alíquota do sobrenadante foi transferida para um novo tubo contendo 1,0 mL de NaOH 0,5 M, com o objetivo de interromper a reação enzimática. Por fim, a concentração de p-nitrofenol liberado foi obtida através da absorbância, com auxílio de um espectrofotômetro.

2.3.6 Quantificação da colonização micorrízica arbuscular

Para determinação da colonização micorrízica, foi utilizado o protocolo proposto por Vierheilig *et al.* (1998). Neste sentido, foram coletadas raízes finas de cada uma das gramíneas estudadas, submetendo-as à descoloração em solução de hidróxido de potássio (KOH) 1M, sob banho-maria a 90°C por 2 horas. Em seguida, o processo foi repetido, por mais 2 horas. Para higienização, as amostras foram submetidas à lavagem em água corrente, seguida de HCl 5% e, novamente, água corrente.

Durante a coloração, as raízes foram banhadas a 90 °C em solução contendo ácido

acético a 5% e tinta (Parker Qink Black, Newell Rubbermaid, Saint Herblain, França) por cerca de 20 minutos. Para quantificação da colonização micorrízica, amostras coloridas de raízes foram fixadas em lâmina graduada, sendo investigado a presença de estruturas como arbúsculo, vesículas e hifas.

2.3.7 Determinação do perfil de ácidos graxos de membrana

O método escolhido para determinação do perfil de ácidos graxos nas membranas de tecidos radiculares foi o protocolo sugerido por Shen *et al.* (2010), com modificações de Li *et al.* (2015). Inicialmente, a extração dos ácidos graxos polares foi realizada através de solventes orgânicos, seguido de transmetilação em metil ésteres. Após, as amostras foram submetidas a um cromatógrafo gasoso acoplado a um detector de ionização de chama (FID), em programação de rampa iniciada a 170°C por cerca de 1 minuto, seguida de rampa de 2.5°C/minuto, até atingir a temperatura final de 220°C, por 5 minutos.

A estimativa do nível de instauração da membrana por ligações duplas foi feita através do método sugerido por Falcone *et al.* (2004). A determinação do perfil de ácidos graxos foi obtida através do tempo de retenção, utilizando um padrão conhecido de metil éstere (FAME) (Supelco, 37 components; Sigma–Aldrich; Mixture, Me93, Larodan and Qualmix, PUFA fish M, Menhaden Oil, Larodan).

A partir dos dados obtidos, foram comparados ácidos graxos de seis grupos distintos: ácidos graxos saturados (Saturated fatty acids – SFA), ácidos graxos monoinsaturados (Monounsaturated fatty acid – MUFA), ácidos graxos poli-insaturados (Polyunsaturated fatty acids – PUFA). Quanto aos PUFAs, também foram comparadas as seguintes subclasses: ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 (Omega-3 polyunsaturated fatty acids – n-3 PUFA), ácidos graxos poli-insaturados ômega 6 (Omega-6 polyunsaturated fatty acids – n-6 PUFA), ácidos graxos poli-insaturados de cadeia curta (Short-chain polyunsaturated fatty acids – SC-PUFA) e ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (Long-chain polyunsaturated fatty acids – LC-PUFA).

2.3.8 Análise e processamento dos dados

Para avaliação do efeito dos diferentes níveis de água sobre os parâmetros avaliados, os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software R Studio versão 4.3.0.

Durante o desenvolvimento, este trabalho contou com o suporte de ferramentas de

Inteligência Artificial (I.A.) (OpenAI, 2024), visando auxílio para a elaboração de scripts para o RStudio e correção gramatical e contextual do texto. Destaca-se que todas as etapas do processo foram meticulosamente revisadas e adequadas para o contexto da pesquisa e que, em momento nenhum o uso de inteligência artificial substituiu a revisão e análise de dados realizada pelo autor.

2.4 RESULTADOS

No que diz respeito aos parâmetros fisiológicos foliares (A, E, gs, Ci, EUA e EiC), o milho apresentou redução na taxa de assimilação de carbono (A) do milho, à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica, não sendo observados efeito do tratamento nas demais variáveis fisiológicas (Tabela 5).

Já em relação aos parâmetros morfológicos de altura e diâmetro do caule, observou-se que enquanto as gramíneas cultivadas foram afetadas negativamente pela limitação hídrica, apresentando menor altura e diâmetro nos níveis intermediário (50% da capacidade de vaso) e baixo (25% da capacidade de vaso), parte das gramíneas silvestres não diferiram estatisticamente entre si. As únicas exceções foram *Melinis repens* e *Aristida gibbosa*, ambas apresentando menor altura no nível baixo (Tabela 6). Quando investigado o incremento em biomassa, observou-se comportamentos opostos: ambas as espécies cultivadas apresentaram redução significativa na biomassa radicular e da parte aérea à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica, enquanto as gramíneas silvestres não apresentaram qualquer diferença estatística significativa (Figura 1).

A análise bromatológica revelou aumento dos teores de extrato etéreo à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica para a gramínea *Aristida gibbosa* e sorgo. As demais espécies não apresentaram qualquer diferença estatística significativa (Tabela 6). Além disso, todas as gramíneas, com exceção de *Melinis repens*, apresentaram aumento nos teores de proteína bruta à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica (Tabela 6).

Quando investigada a atividade da fosfatase ácida no solo, observou-se que de modo geral, os níveis intermediário e baixo resultaram em maior atividade enzimática, diferindo-se quanto à via utilizada. Enquanto as gramíneas cultivadas milho e sorgo aparentam se beneficiar fortemente da aquisição via fosfatase radicular mediante a seca, *Urochloa decumbens* e *Chloris barbata* se beneficiaram da aquisição via solo (Figura 2). Para *Melinis repens* e *Aristida gibbosa*, a seca estimulou a atividade de fosfatase radicular e do solo (Figura 2).

A análise de colonização micorrízica revelou elevados percentuais (superiores a 70%) em todas as espécies, entretanto, os tratamentos resultaram em diferença estatística significativa apenas para a gramínea exótica invasora *Urochloa decumbens* (Figura 3). O milho, apesar de não ter apresentado diferença estatística significativa, foi a espécie com os maiores percentuais de colonização micorrízica, próximos a 100%, além de apresentar uma densidade de vesículas e arbúsculos superior às demais espécies, embora não quantificado para estas estruturas. Similarmente, apesar de não ter diferido quanto aos níveis de água, *Melinis repens* apresentou grande densidade de vesículas e arbúsculos.

A análise de ácidos graxos em membranas radiculares demonstrou comportamento distinto entre ambas as gramíneas cultivadas: enquanto o sorgo apresentou aumento nos teores de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) à medida que se reduziu a capacidade de vaso, o milho apresentou redução (Tabela 7). Não foram observadas diferenças estatísticas significativas para os teores de ácidos graxos saturados (SFAs) ou para os diferentes subgrupos de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs). Cabe ressaltar, ainda, que nenhuma das gramíneas silvestres apresentou qualquer diferença estatística significativa (Tabela 8-9).

Tabela 5 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros fisiológicos foliares obtidos para milho e sorgo submetidos a diferentes níveis de irrigação.

CV (%)	Parâmetros fisiológicos foliares de milho (<i>Zea mays</i>)					
	A	E	gs	C _i	EUA	EiC
100	6,10 ± 2,37 ab	0,47 ± 0,15 a	0,078 ± 0,026 a	250,3 ± 87,6 a	14,8 ± 9,8 a	0,029 ± 0,019 a
50	9,15 ± 1,26 a	0,45 ± 0,07 a	0,060 ± 0,014 a	246,8 ± 52,1 a	20,9 ± 5,6 a	0,038 ± 0,004 a
25	4,52 ± 1,34 b	0,44 ± 0,13 a	0,063 ± 0,025 a	262,0 ± 51,4 a	11,7 ± 6,3 a	0,018 ± 0,007 a

CV (%)	Parâmetros fisiológicos foliares de sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)					
	A	E	gs	C _i	EUA	EiC
100	7,41 ± 2,91 a	0,52 ± 0,07 a	0,088 ± 0,028 a	247,8 ± 91,7 a	13,9 ± 4,3 a	0,038 ± 0,028 a
50	8,13 ± 2,23 a	0,44 ± 0,09 a	0,090 ± 0,022 a	213,3 ± 73,5 a	18,4 ± 2,6 a	0,045 ± 0,025 a
25	7,34 ± 2,45 a	0,54 ± 0,13 a	0,075 ± 0,010 a	207,8 ± 71,5 a	13,4 ± 2,3 a	0,042 ± 0,027 a

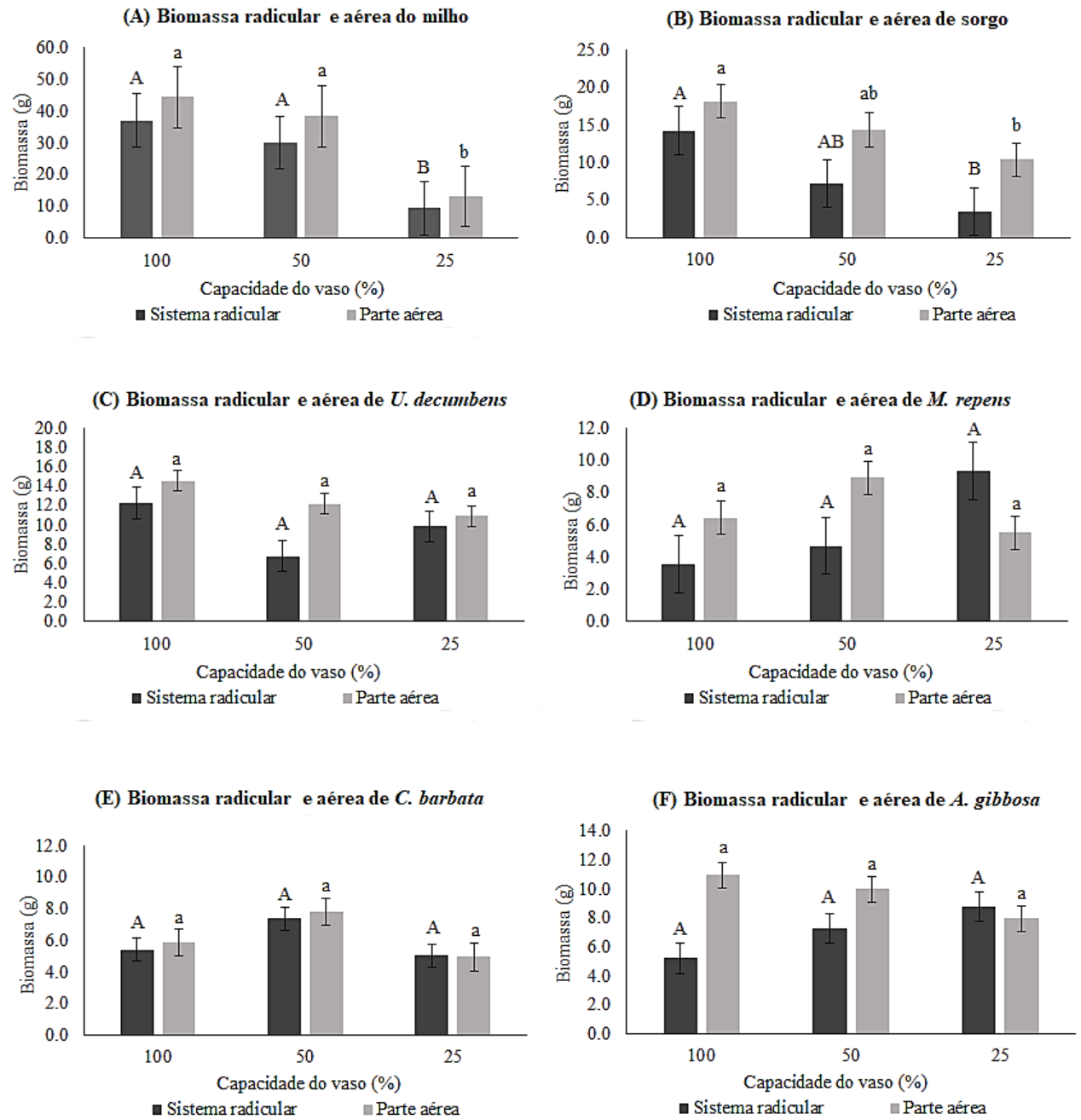
Nota: CV = capacidade de vaso; A = taxa de assimilação de CO₂, E = taxa de transpiração foliar, gs = condutância estomática ao vapor de água; C_i = concentração intercelular (sub-estomática) de CO₂; EUA = eficiência de uso de água; EiC = eficiência instantânea da carboxilação. Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para o mesmo parâmetro e para a mesma espécie indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação (p<0,05). **Fonte:** elaboração do autor.

Tabela 6 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros morfológicos e bromatológicos.

Espécie	CV(%)	Altura da planta (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Extrato etéreo (%)	Proteína bruta (%)
<i>Zea mays</i>	100	115,6 ± 5,2 a	12,5 ± 1,0 a	0.867 a	3.207 b
	50	75,6 ± 6,2 b	12,2 ± 0,7 a	0.933 a	3.430 b
	25	58,30 ± 3,1 c	8,2 ± 0,6 b	1.100 a	6.490 a
<i>Sorghum bicolor</i>	100	53,88 ± 6,9 a	12,3 ± 1,3 a	1.357 c	4.403 b
	50	39,98 ± 8,1 b	12,1 ± 0,9 a	1.840 b	4.293 b
	25	38,80 ± 4,5 b	10,9 ± 1,5 b	2.250 a	5.473 a
<i>Urochloa decumbens</i>	100	83,7 ± 14,4 a	2,1 ± 0,3 a	1.287 a	2.563 b
	50	80,3 ± 3,4 a	1,9 ± 0,1 a	1.123 a	2.560 b
	25	73,5 ± 8,0 a	2,2 ± 0,7 a	1.080 a	3.440 a
<i>Melinis repens</i>	100	92,8 ± 7,4 ab	1,9 ± 0,3 a	1.747 a	3.770 a
	50	94,5 ± 5,0 a	2,0 ± 0,2 a	1.630 a	3.090 a
	25	80,0 ± 9,5 b	1,7 ± 0,1 a	1.793 a	3.133 a
<i>Chloris barbata</i>	100	86,8 ± 6,3 a	2,6 ± 0,4 a	1.260 a	2.883 b
	50	85,3 ± 6,4 a	2,1 ± 0,2 a	1.227 a	4.193 a
	25	78,3 ± 5,9 a	2,2 ± 0,3 a	1.133 a	4.377 a
<i>Aristida gibbosa</i>	100	112,2 ± 4,7 a	3,0 ± 0,1 a	1.040 b	2.150 b
	50	103,9 ± 2,5 a	2,8 ± 0,2 a	1.290 ab	2.707 b
	25	89,8 ± 18,5 b	2,6 ± 0,3 a	1.507 a	3.870 a

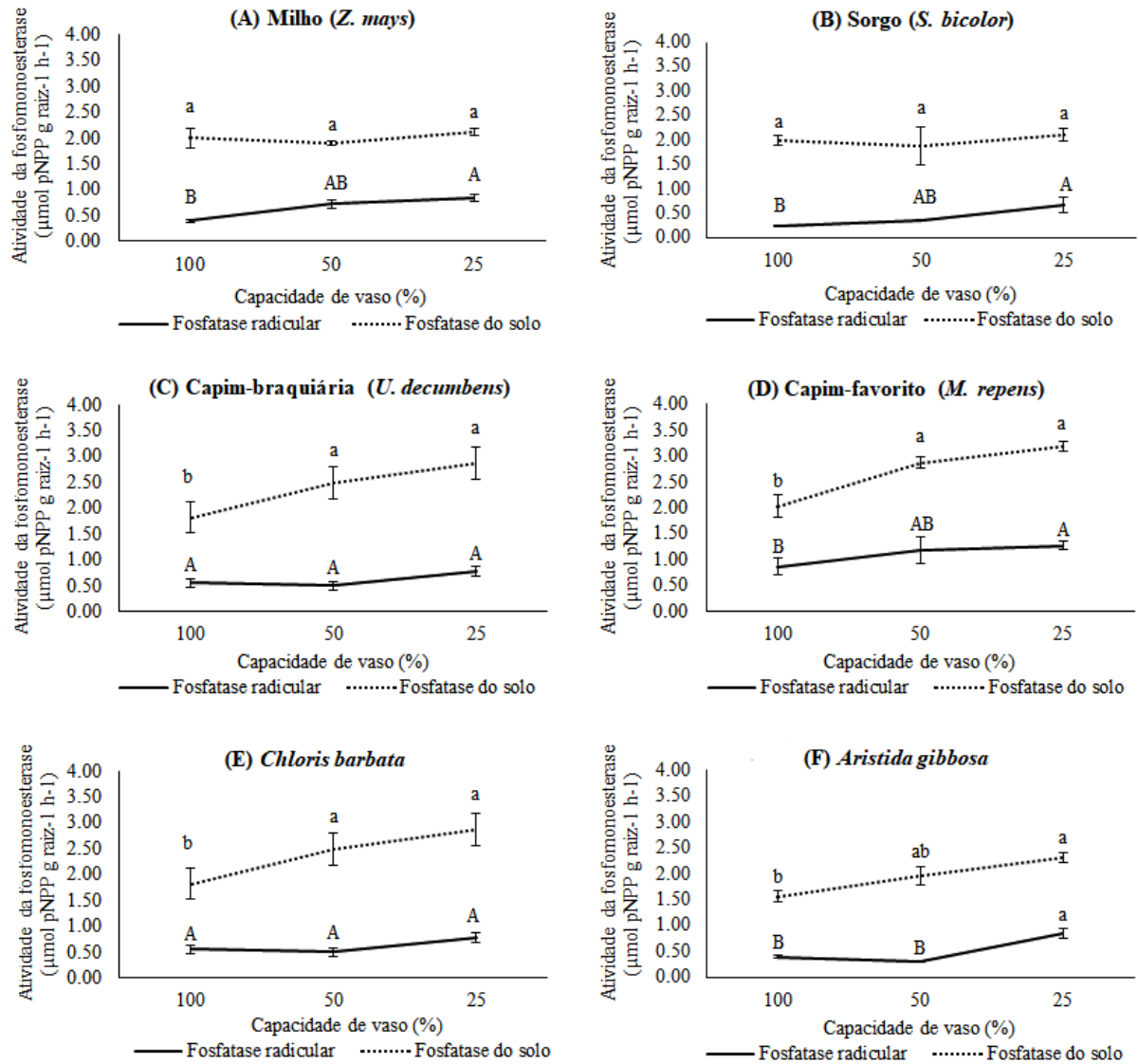
Nota: CV = Capacidade de vaso (%). Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para o mesmo parâmetro e para a mesma espécie indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação (p<0,05). **Fonte:** elaboração do autor.

Figura 1 - Biomassa radicular e da parte aérea de gramíneas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.



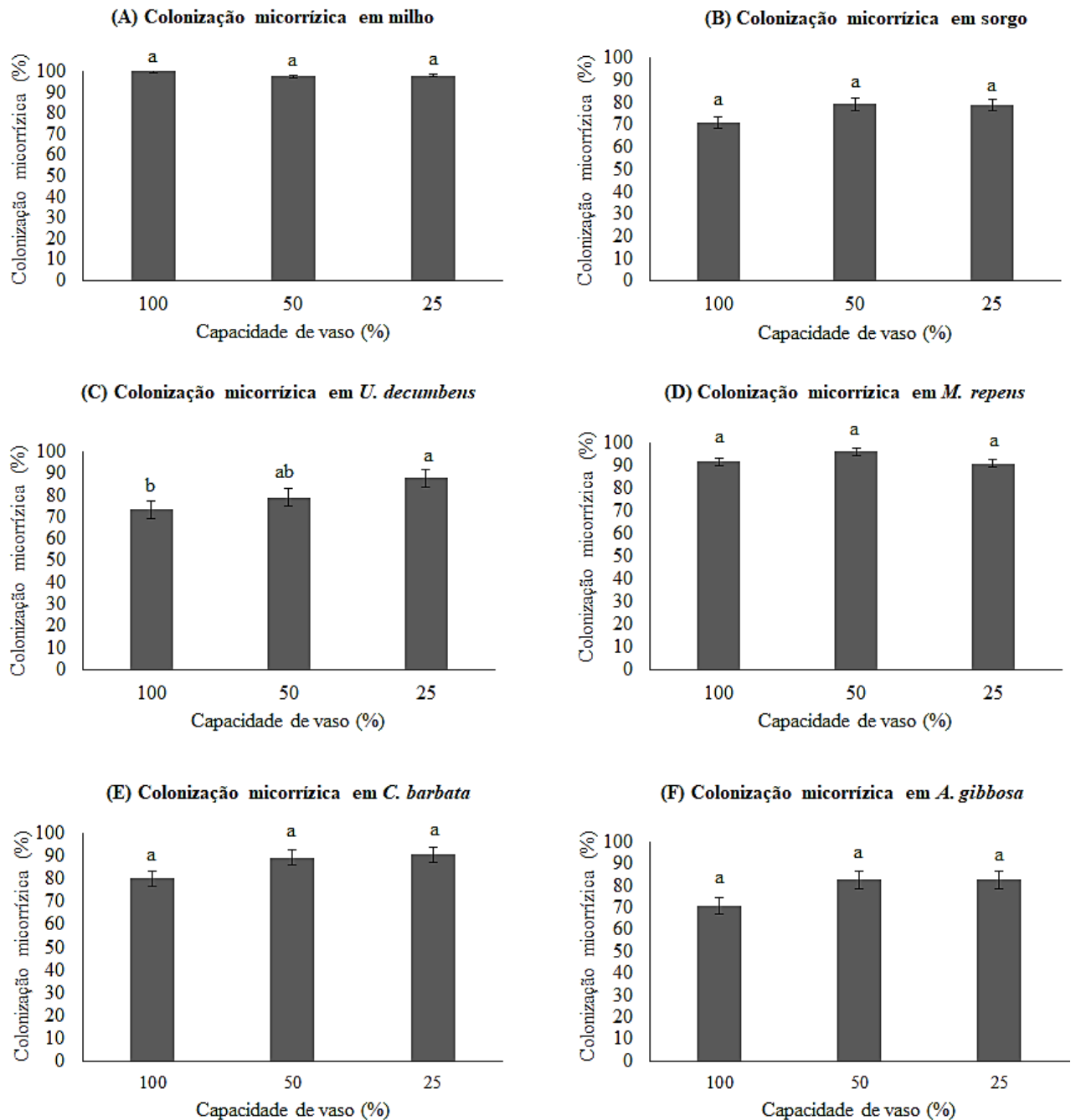
Nota: Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para o mesmo parâmetro (biomassa radicular ou biomassa da parte aérea) e para a mesma espécie indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação ($p < 0,05$). **Fonte:** elaboração do autor.

Figura 2 - Atividade da fosfatase ácida radicular e do solo em gramíneas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.



Nota: Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, $n=3$. Letras diferentes para o mesmo parâmetro (fosfatase radicular ou fosfatase do solo) e para a mesma espécie indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação ($p<0,05$). **Fonte:** elaboração do autor.

Figura 3 - Colonização micorrízica arbuscular em gramíneas submetidas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica.



Nota: Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para a mesma espécie indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação (p<0,05). **Fonte:** elaboração do autor.

Tabela 7 – Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas cultivadas com milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Espécie	<i>Zea mays</i>			<i>Sorghum bicolor</i>			
	CV	100%	50%	25%	100%	50%	25%
SFA		29,53 ± 20,96 a	47,12 ± 10,17 a	40,92 ± 19,51 a	41,70 ± 26,45 a	49,06 ± 12,33 a	24,48 ± 6,16 a
MUFA		17,83 ± 4,97 a	12,58 ± 2,37 ab	8,95 ± 2,46 b	5,39 ± 3,21 b	8,96 ± 2,98 ab	15,52 ± 3,05 a
PUFA		52,64 ± 16,00 a	40,29 ± 11,77 a	50,14 ± 21,92 a	52,91 ± 26,54 a	41,98 ± 10,43 a	60,00 ± 6,27 a
n-3 PUFA		6,16 ± 5,24 a	4,56 ± 1,05 a	23,84 ± 32,07 a	1,65 ± 0,55 a	5,23 ± 3,02 a	6,39 ± 3,58 a
n-6 PUFA		46,47 ± 20,86 a	35,74 ± 10,87 a	26,29 ± 11,68 a	51,26 ± 27,06 a	36,75 ± 12,80 a	53,61 ± 8,90 a
SC-PUFA		33,45 ± 11,60 a	27,71 ± 8,25 a	38,18 ± 25,99 a	18,36 ± 26,82 a	19,48 ± 14,25 a	28,43 ± 9,78 a
LC-PUFA		19,18 ± 5,97 a	12,58 ± 3,57 a	11,96 ± 4,82 a	34,54 ± 36,79 a	22,50 ± 7,26 a	31,58 ± 11,57 a
G.I.		149,20 ± 129,14 a	117,36 ± 75,72	152,58 ± 152,50 a	127,46 ± 180,65 a	115,89 ± 90,08 a	73,32 ± 124,31 a

Nota: CV = capacidade de vaso; SFA = ácidos graxos saturados; MUFA = Ácidos graxos monoinsaturados; PUFA = Ácidos graxos poli-insaturados; n-3 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-3; n-6 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-6; SC-PUFA = *Short-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia curta); LC-PUFA = *Long-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia longa); G.I. = grau de instauração. Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para a mesma espécie e mesmo parâmetro indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação (p<0,05). **Fonte:** elaboração do autor.

Tabela 8 – Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas exóticas (*Urochloa decumbens* e *Melinis repens*) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Espécie	<i>Urochloa decumbens</i>			<i>Melinis repens</i>			
	CV	100%	50%	25%	100%	50%	25%
SFA		42,21 ± 4,65 a	40,25 ± 5,51 a	22,46 ± 0,84 a	29,75 ± 10,10 a	20,94 ± 10,00 a	31,34 ± 10,10 a
MUFA		9,43 ± 1,16 a	11,69 ± 0,86 a	10,98 ± 5,27 a	7,50 ± 2,20 a	8,23 ± 2,88 a	11,42 ± 3,27 a
PUFA		48,37 ± 4,93 a	48,07 ± 6,02 a	66,56 ± 5,07 a	62,75 ± 8,8 a	70,83 ± 8,89 a	57,24 ± 10,86 a
n-3 PUFA		5,95 ± 5,79 a	3,33 ± 2,12 a	23,68 ± 12,71 a	13,77 ± 10,10 a	34,87 ± 10,79 a	13,78 ± 17,99 a
n-6PUFA		42,42 ± 4,76 a	44,74 ± 8,03 a	42,88 ± 7,88 a	48,99 ± 18,18 a	35,96 ± 18,12 a	43,45 ± 12,53 a
SC-PUFA		38,50 ± 7,24 a	34,71 ± 5,59 a	50,10 ± 9,95 a	26,62 ± 14,14 a	59,08 ± 14,57 a	42,62 ± 10,26 a
LC-PUFA		9,87 ± 2,67 a	13,36 ± 3,42 a	16,46 ± 5,24 a	36,13 ± 7,70 a	11,75 ± 7,85 a	14,62 ± 4,58 a
G.I.		120,89 ± 53,61 a	123,53 ± 47,93 a	181,75 ± 87,44 a	153,21 ± 107,107 a	195,20 ± 107,35 a	152,42 ± 93,54 a

Nota: CV = capacidade de vaso; SFA = ácidos graxos saturados; MUFA = Ácidos graxos monoinsaturados; PUFA = Ácidos graxos poli-insaturados; n-3 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-3; n-6 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-6; SC-PUFA = *Short-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia curta); LC-PUFA = *Long-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia longa); G.I. = grau de instauração. Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para a mesma espécie e mesmo parâmetro indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação ($p < 0,05$). **Fonte:** elaboração do autor.

Tabela 9 - Médias e desvios-padrão dos ácidos graxos em gramíneas silvestres nativas (*Chloris barbata* e *Aristida gibbosa*) sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Espécie	<i>Chloris barbata</i>			<i>Aristida gibbosa</i>			
	CV	100%	50%	25%	100%	50%	25%
SFA		33,35 ± 19,79 a	45,76 ± 10,51 a	36,66 ± 11,09 a	43,63 ± 6,20 a	42,45 ± 8,63 a	38,33 ± 6,29 a
MUFA		16,38 ± 11,06 a	9,71 ± 2,35 a	9,51 ± 3,42 a	11,91 ± 0,49 a	9,23 ± 2,10 a	13,38 ± 2,94 a
PUFA		50,27 ± 30,61 a	44,53 ± 8,20 a	53,82 ± 11,98 a	44,46 ± 6,65 a	48,32 ± 7,34 a	48,29 ± 8,13 a
n-3 PUFA		31,06 ± 31,03 a	6,71 ± 10,16 a	3,05 ± 0,74 a	5,23 ± 3,70 a	7,78 ± 8,96 a	11,61 ± 9,76 a
n-6 PUFA		19,22 ± 10,09 a	37,82 ± 18,33 a	50,78 ± 11,25 a	39,23 ± 3,66 a	40,54 ± 2,81 a	36,69 ± 8,09 a
SC-PUFA		40,13 ± 31,95 a	35,40 ± 14,70 a	17,71 ± 11,43 a	33,48 ± 5,50 a	39,55 ± 6,35 a	33,02 ± 15,92 a
LC-PUFA		10,14 ± 4,19 a	9,13 ± 7,08 a	36,11 ± 23,06 a	10,99 ± 4,01 a	8,77 ± 1,05 a	15,27 ± 8,90 a
G.I.		173,91 ± 204,30 a	121,05 ± 107,62 a	138,31 ± 94,80 a	118,58 ± 49,84 a	124,59 ± 61,54 a	141,38 ± 133,6 a

Nota: CV = capacidade de vaso; SFA = ácidos graxos saturados; MUFA = Ácidos graxos monoinsaturados; PUFA = Ácidos graxos poli-insaturados; n-3 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-3; n-6 PUFA = Ácidos Graxos Poli-insaturados Ômega-6; SC-PUFA = *Short-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia curta); LC-PUFA = *Long-chain polyunsaturated fatty acids* (Ácidos Graxos Poliinsaturados de cadeia longa); G.I. = grau de instauração. Diferenças entre os grupos funcionais (espécies) foram testadas para cada nível de irrigação por meio de ANOVA+Tukey, n=3. Letras diferentes para a mesma espécie e mesmo parâmetro indicam diferenças significativas entre os níveis de irrigação ($p < 0,05$). **Fonte:** elaboração do autor.

2.5 DISCUSSÃO

2.5.1 Parâmetros fisiológicos

A análise de parâmetros fisiológicos foliares sinalizou efeito negativo da limitação hídrica sobre a taxa de assimilação de carbono do milho, não sendo observado efeito sobre as demais variáveis. Uma hipótese para isto seria a ocorrência de fotoinibição temporária durante o momento da leitura, impactando diretamente no desempenho do aparato fotossintético (Guidi *et al.*, 2019). É amplamente reconhecido que espécies C₄ sejam mais tolerantes à fotoinibição, todavia, este fenômeno pode ser exacerbado pela ocorrência de estresses severos, seja por temperaturas elevadas ou, no caso deste experimento, pela seca (Demmig-Adams; Adams, 2003; Guidi *et al.*, 2019; Hikosaka; Tsujimoto, 2021; Hu *et al.*, 2023; Mohotti; Lawlor, 2012).

Outra hipótese que explica esta redução na taxa de assimilação de carbono são as limitações de origem bioquímica (não-estomática). De fato, publicações recentes na literatura sinalizam o efeito da seca sobre limitações bioquímicas do milho. Por exemplo, Bellasio *et al.* (2023) compararam o efeito da seca induzida sobre gramíneas C₄ (milho e sorgo) e C₃ (trigo e girassol) e constataram que gramíneas C₄ apresentaram uma redução muito mais acentuada na taxa de assimilação de carbono, possivelmente devido a limitações bioquímicas. Similarmente, Song *et al.* (2020) observaram que estresses severos levaram o milho a apresentar transição de limitações estomáticas para limitações bioquímicas, sendo que o conteúdo de água na folha foi o principal marcador desta transição. Discussões recentes ainda apontam que a ocorrência de seca possa reduzir algumas vantagens típicas do metabolismo C₄ (Taylor *et al.*, 2011), entretanto, esta hipótese ainda requer análises mais aprofundadas.

2.5.2 Parâmetros morfológicos

Neste estudo, as variáveis morfológicas demonstraram padrões distintos entre as espécies cultivadas e parte das espécies silvestres, sendo que as primeiras foram afetadas negativamente pela escassez hídrica. Isto é consistente com evidências na literatura de que plantas silvestres tendem a apresentar maior resistência genética a estresses ambientais, entretanto, o efeito pode variar de acordo com a espécie (Gao *et al.*, 2023; Mammadov *et al.*, 2018; Toulotte *et al.*, 2022). Em comunidades naturais, plantas silvestres estão frequentemente submetidas a diferentes estresses ambientais, incluindo escassez hídrica, temperatura, perturbação, dentre outros. Por conta disso, a seleção natural tende a favorecer mais a

competitividade individual em detrimento ao desempenho do grupo, o que aparenta ser uma estratégia de sobrevivência das espécies (Gao *et al.*, 2023; Williams, 2008). Como consequência, haverá investimento em mais características competitivas, como o alongamento do caule e a maior produção de ramos, reduzindo a produtividade da comunidade devido à limitação de recursos (Gao *et al.*, 2023; Murphy *et al.*, 2017).

Além disso, a literatura aponta que alterações em parâmetros estruturais, demandam modificações graduais em múltiplos processos ao longo do tempo, incluindo alterações na divisão e expansão celular e desenvolvimento de tecidos e, portanto, tendem a se manifestar como respostas mais tardias (Pantin *et al.*, 2012; Robinson, 2021; Zhang *et al.*, 2020b). Neste sentido, é possível que o tratamento de água não tenha promovido um nível de estresse suficientemente severo para desencadear tais alterações nas gramíneas silvestres, uma vez que tais espécies frequentemente enfrentam períodos prolongados de estresse durante a estação seca do Cerrado (Souza *et al.*, 2015).

Já as espécies cultivadas, resultado de extensos programas de melhoramento vegetal, apresentam menor resistência a estresses ambientais quando comparado aos seus parentes selvagens e demais espécies silvestres (Toulotte *et al.*, 2022). Neste estudo, isto é evidente pela redução na altura, diâmetro do colmo e biomassa radicular e da parte aérea. Uma das hipóteses que explicam isto é o fato de que estágios iniciais de programas de melhoramento genético investiram fortemente na seleção de características associadas ao rendimento e à produtividade, negligenciando traços associados a resiliência aos estresses ambientais (Toulotte *et al.*, 2022; Weiner *et al.*, 2010). Isto ocorre porque as características que mais maximizavam a produtividade por unidade de área também eram características que tornavam a planta um competidor fraco (Gao *et al.*, 2023). Neste sentido, houve um investimento na chamada “seleção de grupo” em detrimento da “seleção individual”, reduzindo competição entre plantas dentro da lavoura e a maior alocação em atributos associados ao rendimento (Weiner *et al.*, 2010). Mais recentemente, esforço considerável tem sido movido para a seleção de culturas mais resistentes, entretanto, a ocorrência de *trade-offs* é um desafio que exige maior entendimento das bases genéticas e ecofisiológicas (Dwivedi *et al.* 2021). O conceito de *trade-offs* baseia-se na concepção de que a expressão de determinadas características são resultado da ação de múltiplos genes que interagem entre si. Neste sentido, a seleção de uma característica primária favorável também pode acarretar na seleção de outras características desfavoráveis ligadas àquele gene, tornando os ganhos de seleção mais complexos (Dwivedi *et al.* 2021; Garland 2014).

Além do legado da genética, as respostas de ambas gramíneas cultivadas também

podem ser explicadas pela fenologia. Por exemplo, assim como observado neste estudo, diferentes evidências na literatura relatam efeito da limitação hídrica sobre a altura, diâmetro do colmo e crescimento da planta (Wach; Skowron, 2022; Devi *et al.*, 2022; Kim; Lee, 2023). Isto é evidente em estudos de Aslam *et al.* (2015) onde foi observado efeito negativo da escassez hídrica sobre o diâmetro do colmo, altura das plantas e comprimento das folhas de milho. Similarmente, Danilevskaya *et al.* (2019) observaram redução na altura das plantas e produção de folhas em plantas de milho submetidas à escassez hídrica. Soler *et al.* (2007) observaram que as plantas submetidas à escassez hídrica apresentaram redução na estatura e na distância dos internódios. Isto pode ser explicado pelo fato de que durante o estágio V5 ao R1, as plantas de milho apresentam rápido crescimento do caule (Birch; Andrieu; Fournier, 2002; Soler *et al.*, 2007) e, levando em consideração que a escassez hídrica reduz o tamanho das células e a ocorrência de divisões celulares, é esperado impacto negativo no crescimento geral da planta (Ahmadikhah e Marufinia, 2016). Similarmente ao milho, as evidências na literatura também sugerem que estresses hídricos ocorridos entre o estágio V4 e a iniciação floral também podem impactar significativamente na altura de plantas de sorgo, o que ocorre em função deste período ser a fase principal de crescimento da cultura (Souza *et al.*, 2021).

2.5.3 Parâmetros bromatológicos

A análise bromatológica dos tecidos foliares revelou um aumento nos teores de extrato etéreo (EE) à medida que se reduziu a capacidade de vaso para o sorgo e *Aristida gibbosa*. De modo geral, tal análise possibilita a extração de diferentes substâncias de natureza lipídica, incluindo ácidos graxos, ceras, esteróis, fosfatídeos, dentre outros tipos de substâncias (Genro e Orqis 2008; Zenebon *et al.* 2008). Na literatura, diferentes estudos sinalizam que a seca pode afetar o acúmulo de lipídios foliares. Por exemplo, há evidências de que condições de seca possam levar ao aumento da espessura e proporção de monômeros de cutina (Bi *et al.*, 2017; Kosma *et al.*, 2009). Além disso, sabe-se que algumas plantas podem apresentar aumento na deposição de ceras quando cultivadas sob baixa disponibilidade hídrica (Kosma *et al.*, 2009; González; Ayerbe, 2010).

Para o sorgo, é notável a importância do acúmulo de ceras e cutinas, sobretudo para o controle da perda de água não-estomática (Menezes *et al.* 2021; Sanjari *et al.* 2021). Por exemplo, Jordan *et al.* (1984) observaram correlação positiva entre a deposição de ceras e a redução na perda de água por transpiração. Similarmente, Carvalho *et al.* (2020) observaram que plantas de sorgo com ceras mais espessas sofreram menos com o déficit hídrico e

conservaram mais água em seus tecidos. Sanjari *et al.* (2021) observaram que, quando comparado à outras culturas, como o arroz e o milho, o sorgo apresenta maior acúmulo de cera epicuticular. Zhang *et al.* (2021) corroboraram com a hipótese da resistência à seca devido ao acúmulo de ceras e cutinas, além de observar que o número de genes expressos durante a resposta podem variar substancialmente entre cultivares tolerantes e cultivas sensíveis à seca. Mais recentemente, descobriu-se que a cera epicuticular no sorgo pode apresentar diferentes morfologias, incluindo a formação de cristais, agulhas e túbulos, variando de acordo com a composição química, órgão, superfície foliar (adaxial ou abaxial), genótipo e condições ambientais (Chemelewski *et al.* 2023). Embora estudos com a gramínea nativa *Aristida gibbosa* sejam escassos, sabe-se que deposição de cera é uma estratégia comum em espécies nativas do Cerrado (Oliveira *et al.* 2003; Roma 2018).

Também houve uma tendência para que todas as plantas (com exceção de *Melinis repens*) apresentassem aumento dos teores de proteína bruta (PB) à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica. É importante mencionar que a proteína bruta é calculada através de uma relação entre o nitrogênio total (g) e a biomassa seca (g), corrigidos por um fator de conversão (Silva *et al.*, 2016). Neste sentido, levando em consideração que o estresse hídrico reduziu significativamente a biomassa aérea de ambas as gramíneas cultivadas, é possível que estes resultados reflitam uma maior concentração do nitrogênio em uma menor quantidade de biomassa e não, necessariamente, um aumento nos teores de proteína bruta (Hu *et al.*, 2021), todavia, tal hipótese carece ser testada com mais profundidade.

2.5.4 Atividade da fosfatase ácida

A fosfatase ácida, também conhecida como fosfomonoesterase ácida, tem sido reconhecida como uma importante estratégia para plantas que vivem em ambientes com baixa disponibilidade em fósforo, como é o caso do Cerrado (Ferreira *et al.*, 2016; Lopes; Silva *et al.*, 2023). Estas enzimas podem ser exsudadas por plantas ou por microrganismos do solo, sendo responsáveis por realizar a hidrólise de compostos orgânicos fosfatados, como os fosfatomonoésteres e fosfatodíésteres, liberando o nutriente na forma inorgânica (Pi) (Janes-Bassett *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2023; Souza, 2011; Tran *et al.*, 2010).

Neste estudo, observou-se uma tendência para que todas as espécies apresentassem aumento na atividade da fosfatase ácida à medida que se reduziu a capacidade de vaso. De modo geral, tanto as transformações de fósforo, quanto a sua disponibilidade, são influenciados pela dinâmica de água no solo (Helfenstein *et al.*, 2018; Wood *et al.*, 2016;

Zhang *et al.*, 2020a). É amplamente reconhecido que as plantas absorvem o fósforo principalmente pela forma inorgânica (Pi), sendo que a difusão é responsável por mais de 90% do nutriente adquirido pela planta (Marcolan, 2006; Suriyagoda *et al.*, 2014). Neste sentido, levando em consideração que a difusão é fortemente afetada pela escassez hídrica, é esperado que a absorção de fósforo também seja reduzida (Bi *et al.*, 2023; Suriyagoda *et al.*, 2014). Além disso, fósforo é um nutriente com mobilidade ainda mais reduzida em solos intemperizados e ricos em óxidos de ferro e alumínio, além de estar mais concentrado em camadas superficiais do solo, que são as primeiras afetadas pela ocorrência de seca (Lambers *et al.*, 2006; Suriyagoda *et al.*, 2014), favorecendo ainda mais este tipo de resposta em experimentos de vaso.

Quando comparados os diferentes grupos de espécies, observou-se três tipos de comportamentos: enquanto gramíneas cultivadas (milho e sorgo) se beneficiaram fortemente da fosfatase radicular, gramíneas silvestres se beneficiaram da fosfatase do solo, seja de maneira individual (*Urochloa decumbens* e *Chloris barbata*) ou em associação à fosfatase radicular (*Melinis repens* e *Aristida gibbosa*). Isto pode ser atribuído à co-evolução que espécies silvestres sofreram junto com os organismos que promovem a fosfatase ácida, enquanto espécies cultivadas frequentemente apresentam menor capacidade de interação com comunidades microbianas, decorrente do processo de domesticação (Lyu *et al.*, 2021; Massenssini *et al.*, 2014; Soldan *et al.*, 2021).

Na literatura, diferentes estudos demonstram a influência do estresse hídrico sobre a atividade da fosfatase ácida. Por exemplo, Ehsanpour e Amini (2003) observaram que o estresse hídrico levou a um aumento na atividade enzimática para dois cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.), além de um possível efeito do genótipo. Similarmente, Sun *et al.* (2010) estudaram o efeito de diferentes capacidades de vaso sobre a herbácea silvestre *Chenopodium album*, observando um incremento inicial da atividade enzimática, seguido de uma redução conforme o estresse persistiu. Margalet *et al.* (2021) observaram que a seca levou a redução na atividade da fosfatase do solo, possivelmente devido à mudanças na comunidade microbiana. Cabe ressaltar, no entanto, que isto possivelmente aplica-se a regimes mais prolongados de seca em condições de campo, diferindo das condições deste experimento.

Além da necessidade de se satisfazer as demandas nutricionais, diferentes estudos com fertilização sinalizam que o fósforo possa atenuar os efeitos do déficit hídrico (Meier *et al.*, 2021). Por exemplo, Jin *et al.* (2015) investigaram o efeito da fertilização fosfatada sobre plantas de ervilhas (*Pisum sativum*) e observaram que o fornecimento do nutriente aumentou a eficiência de uso e o conteúdo relativo de água. Kuwahara *et al.* (2016) estudaram o efeito

da fertilização sobre diferentes gramíneas C₄ submetidas à limitação hídrica, observando que *Urochloa decumbens* apresentou maior produtividade de área foliar e produção de biomassa, quando comparado às parcelas não fertilizadas. Embora tais estudos foram conduzidos essencialmente sob condições de fertilização inorgânica, é possível que as fosfatases possuam um papel importante nesta dinâmica.

2.5.5 Colonização micorrízica arbuscular

Quando avaliada a colonização micorrízica arbuscular, todas as espécies apresentaram valores altos de colonização, superiores a 70%, independente do tratamento de água. Isto difere de concepções na literatura de que a colonização possa ser afetada negativamente pelo menor volume de solo passível de exploração pelas raízes (“efeito do vaso”) (Allen, 2022; Bidondo *et al.*, 2018). Estudo de Qin *et al.* (2022) demonstra que outros fatores podem interferir nesta dinâmica e que, de modo geral, vasos médios (como os exemplares utilizados neste experimento), tendem a apresentar maior colonização do que vasos pequenos e grandes.

Naturalmente, as elevadas taxas de colonização micorrízica arbuscular podem ser parcialmente explicadas pelo fato destes organismos serem capazes de formar simbioses com 85% de todas as plantas terrestres, incluindo culturas agrícolas e espécies nativas do Cerrado, sendo componentes-chave da estruturação de comunidades microbianas (Araujo *et al.* 2021; Banerjee *et al.* 2019; Leite *et al.* 2019; Moura *et al.* 2019; Rimington *et al.*, 2020; Säle *et al.*, 2021; Smith e Read, 2008). Além disso, diversos estudos demonstram os efeitos benéficos dos fungos micorrízicos na melhoria de características do solo, promoção da atividade de enzimas e resistência a estresses ambientais, como herbivoria, salinidade, seca, deficiência nutricional, presença de metais pesados no solo e doenças (Abdel-Salam *et al.*, 2018; Ahanger *et al.*, 2014; Augé *et al.*, 2001; Begum *et al.*, 2019; Leite *et al.*, 2019; Miranda, 2008; Rodriguez *et al.*, 2008).

Embora não quantificado, *Melinis repens* e o milho destacaram-se das demais espécies, apresentando elevada presença de estruturas especializadas, como vesículas. As vesículas são órgãos ricos em lipídios e, para algumas espécies, podem atuar como propágulo ou reserva energética para sobrevivência em condições ambientais adversas (Juwarkar *et al.* 2004; Lemes *et al.* 2020). Especula-se que esta diferença na colonização seja resultado da infecção por diferentes gêneros de fungos micorrízicos arbusculares, havendo evidências na literatura que enquanto gêneros como *Gigaspora* e *Scutellospora* produzem apenas arbúsculos

e hifas intra e extracelulares, outros gêneros (*Glomus*, *Entrophospora*, *Acaulospora* e *Sclerocystis*, por exemplo) também podem apresentar a formação de vesículas. De fato, estudo de Aker *et al.* (2022) destaca a grande abundância dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* em áreas naturais e antropizadas de Cerrado.

Quando avaliado o efeito dos diferentes níveis de água na colonização micorrízica arbuscular, foi observado aumento da colonização à medida que se reduziu a disponibilidade hídrica para *Urochloa decumbens*, efeito este não observado para nenhuma das outras gramíneas. Estudos preliminares já indicavam que a gramínea invasora apresenta maior colonização micorrízica em áreas degradadas, como as áreas de empréstimo (Leite *et al.*, 2019), cujo solo apresenta elevada compactação e, conseqüentemente, restrição hídrica (Kim *et al.*, 2010). Nestes ambientes, apesar do subsolo exposto e compacto limitar o volume que as raízes podem explorar para aquisição de recursos, não há efeito negativo sob os fungos micorrízicos (Alves; Souza 2011; Sales *et al.* 2018; Yu *et al.* 2024). Isto é evidente no estudo de Carneiro *et al.* (1999) com inoculação de FMAs em diferentes espécies forrageiras em uma área degradada, tendo sido observado colonização máxima para *Urochloa decumbens*, efeito este não observado para outras gramíneas exóticas, como *Melinis minutiflora*. Além disso, evidências na literatura também apontam que plantas forrageiras, como as gramíneas, não apresentam especificidade quanto ao tipo de FMA, o que possibilita a colonização por diferentes espécies (Santos Lucas *et al.*, 2022). Neste sentido, o fato de algumas espécies apresentarem maior colonização micorrízica também pode estar associado a outros fatores, como a adaptabilidade evolutiva (Santos Lucas *et al.*, 2022). Levando em consideração que *Urochloa decumbens* é uma gramínea originária da África oriental, região esta que assim como o Cerrado também apresenta uma estação seca e uma estação úmida (Eames *et al.*, 2023; Klink *et al.*, 2020), é possível a associação com fungos micorrízicos seja uma importante estratégia para a dominância da gramínea invasora em áreas de Cerrado.

2.5.6 Remodelação lipídica de ácidos graxos

As membranas celulares são estruturas altamente organizadas, compostas por mosaicos de lipídios e proteínas que atuam como uma barreira de proteção contra o ambiente extracelular (Goñi, 2014; Moraes; Caseli, 2017; Niu; Xiang, 2018; Sanghera *et al.*, 2011). Alterações sutis na composição dos lipídios podem modificar diferentes propriedades, incluindo rigidez, fluidez e permeabilidade (Catalá, 2015; Escribá *et al.*, 2007; Janmey; Kinnunen, 2006; Niu; Xiang, 2018). Por exemplo, tem sido estabelecido que a produção de

ácidos graxos saturados (SFAs) confira à cadeia carbônica um aspecto linear, permitindo um empacotamento mais ordenado, e conseqüentemente, tornando a membrana mais rígida (Catalá, 2015). Em contrapartida, ácidos graxos insaturados apresentam ligações duplas, resultando em dobras ou curvaturas na cauda dos ácidos graxos e, conseqüentemente, um empacotamento mais frouxo e maior fluidez (Catalá, 2015; Escribá *et al.*, 2007; Yin *et al.*, 2024). Neste grupo, estão presentes outros subgrupos, como os ácidos graxos mono-insaturados (MUFAs), contendo apenas uma ligação dupla, mas também os ácidos graxos poli-insaturados, contendo duas ou mais ligações duplas (Catalá, 2015).

Quando avaliado o perfil de ácidos graxos em membranas radiculares, o sorgo apresentou aumento nos teores de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) à medida que se reduziu a capacidade de vaso. Na literatura, tem sido relatado que a ocorrência de estresses ambientais como seca, salinidade, deficiência nutricional ou altas temperaturas, possa levar a um aumento na síntese de ácidos graxos insaturados em relação aos saturados (SFAs) (Angkawijaya *et al.*, 2017; He; Ding, 2020). Vale ressaltar, no entanto, que isto frequentemente tem sido associado a aumento nos teores de PUFAs, em decorrência da maior fluidez que este conferem (Catalá, 2015). Dada a natureza do experimento, com irrigação limitada, porém periódica, é possível que a síntese de MUFAs tenha favorecido minimamente a continuidade de processos celulares, como o transporte de nutrientes, percepção e sinalização (Barrero-Sicilia *et al.*, 2017; Rawat *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2020).

Além do efeito sobre a fluidez de membrana, outra possível explicação para a síntese de MUFAs é o seu efeito contra a peroxidação lipídica. Sabe-se que o estresse hídrico pode levar à superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), acarretando em danos nos ácidos graxos da membrana plasmática (Chakraborty *et al.*, 2024; Hasanuzzaman, 2020; Raja *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2020). Neste caso, apesar dos PUFAs conferirem maior fluidez, o investimento em MUFAs pode ser vantajoso, uma vez que os PUFAs são altamente suscetíveis à peroxidação lipídica, o que ocorre em função das múltiplas ligações duplas, tornando-os mais propensos à reações de oxidação por radicais livres (Mortensen *et al.*, 2023). Além disso, vale ressaltar que enquanto as reações de oxidação dos PUFAs podem gerar novos radicais livres, resultando em uma reação em cadeia, os MUFAs geram subprodutos muito mais estáveis (Mueller, 2004).

Em contrapartida, o milho apresentou redução nos teores de MUFA à medida que se reduziu a capacidade de vaso. Resultado semelhante foi observado por De Paula *et al.* (1990) ao avaliar o efeito do estresse hídrico sobre folhas de diferentes variedades de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.). Neste estudo, foi observado que enquanto a variedade resistente

tendeu a aumentar os níveis de insaturação, a variedade sensível apresentou redução, impactando nos teores de MUFA, mas também de PUFA.

Embora estudos com remodelação lipídica sejam escassos na cultura do milho, há evidências de que o efeito do genótipo seja importante, o que ocorre em função deste ser uma das culturas com maior diversidade fenotípica e genotípica, além de ser alvo de inúmeros programas de melhoramento genético (Liu *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2024). Um exemplo disto é o estudo de Kränzlein *et al.* (2023) onde foi observado que enquanto o híbrido tolerante ao déficit hídrico apresentou estratégia mais eficaz de remodelação lipídica, alterando um maior número de lipídios e possibilitando uma resposta mais imediata; o híbrido sensível a seca apresentou maior enfoque em estratégias de recuperação. Similarmente, Yin *et al.* (2024) estudaram o efeito da seca e reidratação sobre dezoito híbridos de milho e observaram que a composição de ácidos graxos sofreu grande variação de acordo com o genótipo. Além disso, alguns híbridos com estratégias de remodelação menos eficientes não apresentaram, necessariamente, menor recuperação após a seca, o que pode ser um indicativo de que outros mecanismos fisiológicos possam influenciar a remodelação lipídica. De fato, apesar do híbrido utilizado (AG 7098 TER) ser recomendado para áreas de Cerrado e apresentar ciclo de vida curto (Agranda, 2022), este não é, necessariamente, posicionado como um híbrido tolerante ao déficit hídrico.

Não foi observado qualquer efeito da limitação hídrica sobre estratégias de remodelação lipídica de gramíneas silvestres nativas e exóticas. É possível que esta resposta esteja relacionada às condições controladas do experimento, nas quais, embora a aplicação dos tratamentos tenha garantido a padronização entre as diferentes espécies, tal abordagem pode representar uma limitação, considerando que, em ambientes naturais, espécies silvestres frequentemente enfrentam períodos prolongados de estresse hídrico ao longo da estação seca (Souza *et al.*, 2015). Ao estudar o efeito da limitação hídrica entre diferentes espécies de Cerrado, Teixeira (2022) observou redução nos teores de MUFA concomitante com aumento nos teores de PUFA, e, de fato, o estresse imposto foi mais intenso, atingindo até o ponto de murcha permanente.

De modo geral, enquanto gramíneas silvestres não apresentaram respostas associadas à remodelação lipídica frente à limitação hídrica, as gramíneas cultivadas exibiram comportamentos contrastantes quanto a essa estratégia. Para o sorgo, a síntese de ácidos graxos MUFAs soma-se a outras estratégias amplamente descritas na literatura, como a eficiência no uso de água (Al-Salman *et al.*, 2024), e o acúmulo de ceras (Sanjari *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021), contribuindo para a maior tolerância natural da espécie à baixa

disponibilidade hídrica. Este é o primeiro estudo a sinalizar que o sorgo pode apresentar mudanças no perfil de ácidos graxos em resposta à seca, no entanto, mais estudos devem ser conduzidos para investigar se a estratégia persiste em diferentes híbridos e cultivares e se os mesmo padrões se aplicam às condições de campo. Para o milho, evidências na literatura apontam que híbridos tolerantes podem apresentar alteração no perfil de ácidos graxos (Kränzlein *et al.*, 2023; Yin *et al.*, 2024), todavia, ainda não é possível inferir se híbridos suscetíveis estão necessariamente inclinados às estratégias de recuperação.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As gramíneas cultivadas, milho e sorgo, apresentaram maior sensibilidade à limitação hídrica, apresentando respostas negativas mais pronunciadas em diferentes variáveis morfológicas. Gramíneas silvestres, tanto nativas, quanto exóticas, demonstraram um comportamento mais estável, o que, por um lado pode refletir que o nível de estresse imposto não foi suficientemente severo para desencadear uma resposta expressiva, mas também pode evidenciar a maior resistência genética frente ao estresse hídrico.

O aumento na atividade da fosfatase ácida em todas as espécies evidencia um mecanismo adaptativo comum em resposta à escassez hídrica, embora com vias distintas. Milho e sorgo se beneficiaram fortemente da absorção via radicular, *Urochloa decumbens* e *Chloris barbata* se beneficiaram da via solo e *Melinis repens* e *Aristida gibbosa* se beneficiaram simultaneamente de ambas as vias.

Foram observadas mudanças de caráter funcional, como o aumento nos teores de extrato etéreo em sorgo e *Aristida gibbosa*, indicando acúmulo de substâncias de natureza lipídica, como ceras e cutinas, reduzindo a perda de água pelas folhas. Além disso, a remodelação lipídica observada em membranas radiculares, como o aumento nos teores de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) no sorgo e redução no milho, sugere estratégias contrastantes, potencialmente associadas ao grau de tolerância dos híbridos à seca.

Por fim, ao integrar diferentes tipos de variáveis, este estudo pode contribuir para o entendimento das estratégias de tolerância à escassez hídrica entre diferentes grupos funcionais. Esses achados podem orientar pesquisas futuras voltadas ao melhoramento genético, manejo de gramíneas exóticas em ecossistemas naturais e ao desenvolvimento de sistemas de produção mais resilientes diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-SALAM, E.; ALATAR, A.; EL-SHEIKH, M. A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 25, n. 8, p. 1772–1780, dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.015>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- AHANGER, M. A. *et al.* Drought Tolerance: Role of Organic Osmolytes, Growth Regulators, and Mineral Nutrients. Em: AHMAD, P.; WANI, M. R. (Eds.). **Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment**. New York, NY: Springer New York, 2014. p. 25–55. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8591-9_2. Acesso em: 27 jul. 2024.
- AHMADIKHAH, A.; MARUFINIA, A. Effect of reduced plant height on drought tolerance in rice. **3 Biotech**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 221, dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0542-3>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- AKER, A. M. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi in the Cerrado biome: effects of land use system, soil texture, and seasonality. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 1, p. 170–180, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n117rc>. Acesso em: 14 agosto 2024.
- ALLEN, M. F. **Mycorrhizal Dynamics in Ecological Systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781139020299>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- AL-SALMAN, Y. *et al.* High water use efficiency due to maintenance of photosynthetic capacity in sorghum under water stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 75, n. 21, p. 6778–6795, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erae418>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. D. Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidrelétrica. **Revista Ciência Agronômica**, Botucatu, v. 42, n. 2, p. 301–309, jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200007>. Acesso em: 27 julho 2024.
- ANGKAWIJAYA, A. E.; NGUYEN, V. C.; NAKAMURA, Y. Enhanced root growth in phosphate-starved Arabidopsis by stimulating *de novo* phospholipid biosynthesis through the overexpression of *lysophosphatidic acid acyltransferase 2* (*LPAT2*). **Plant, Cell e Environment**, Chichester, v. 40, n. 9, p. 1807–1818, set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12988>. Acesso em: 9 jan.2025.
- AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington: AOAC, 1990.
- ARAUJO, A. S. F. *et al.* Arbuscular mycorrhizal community in soil from different Brazilian Cerrado physiognomies. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 19, p. 100375, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100375>. Acesso em: 7 maio 2025.

ASLAM, M. *et al.* An investigation into morphological and physiological approaches to screen maize (*Zea mays* L.) hybrids for drought tolerance. **Cereal Research Communications**, Budapest, v. 43, n. 1, p. 41–51, mar. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1556/CRC.2014.0022>. Acesso em: 7 maio 2025.

ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, V. P. V. Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. **Crop Management**, St Paul, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>. Acesso em: 7 maio 2025.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 11, n. 1, p. 3–42, 28 maio 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s005720100097>. Acesso em: 7 maio 2025.

BANERJEE, S. *et al.* Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. **The ISME Journal**, Oxford, v. 13, n. 7, p. 1722–1736, 1 jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2>. Acesso em: 7 maio 2025.

BARRERO-SICILIA, C. *et al.* Lipid remodelling: Unravelling the response to cold stress in *Arabidopsis* and its extremophile relative *Eutrema salsugineum*. **Plant Science**, Shannon, v. 263, p. 194–200, out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.07.017>. Acesso em: 7 maio 2025.

BASU, S. *et al.* Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, p. 1554, 30 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1>. Acesso em: 7 maio 2025.

BEGUM, N. *et al.* Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, p. 1068, 19 set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>. Acesso em: 7 maio 2025.

BELLASIO, C. *et al.* C₄ maize and sorghum are more sensitive to rapid dehydration than C₃ wheat and sunflower. **New Phytologist**, Chichester, v. 240, n. 6, p. 2239–2252, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.19299>. Acesso em: 7 maio 2025.

BERGAMASCHI, H. *et al.* Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243–249, fev. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>. Acesso em: 7 maio 2025.

BHARATH, P.; GAHIR, S.; RAGHAVENDRA, A. S. Abscisic Acid-Induced Stomatal Closure: An Important Component of Plant Defense Against Abiotic and Biotic Stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, p. 615114, 4 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.615114>. Acesso em: 28 maio 2023.

BI, H. *et al.* The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. **BMC Plant Biology**, London, v. 17, n. 1, p. 85, dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1033-3>. Acesso em: 6 maio 2025.

BI, W. *et al.* Research progress on the effects of droughts and floods on phosphorus in soil-plant ecosystems based on knowledge graph. **Hydro Research**, Beijing, v. 6, p. 29–35, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.01.001>. Acesso em: 27 abr. 2024.

BIDONDO, L. F. *et al.* Detection of arbuscular mycorrhizal fungi associated with pecan (*Carya illinoensis*) trees by molecular and morphological approaches. **MycoKeys**, Sofia, v. 42, p. 73–88, 30 nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.42.26118>. Acesso em: 31 jul. 2024.

BIRCH, C. J.; ANDRIEU, B.; FOURNIER, C. Dynamics of internode and stem elongation in three cultivars of maize. **Agronomie**, Paris, v. 22, p. 511–524, 2002.

BLUM, A.; SULLIVAN, C. Y. The Comparative Drought Resistance of Landraces of Sorghum and Millet From Dry and Humid Regions. **Annals of Botany**, Oxford, v. 57, n. 6, p. 835–846, 1 jun. 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168>. Acesso em: 6 ago. 2024.

BRAY, E. A. Plant Response to Water-deficit Stress. Em: WILEY (ed.). **Encyclopedia of Life Sciences**. Wiley, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001298.pub2>. Acesso em: 6 ago. 2024.

CARNEIRO, M. A. C. *et al.* Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1669–1677, set. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900018>. Acesso em: 7 maio 2025.

CARVALHO, H. D. R. *et al.* Epicuticular wax and its effect on canopy temperature and water use of Sorghum. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 284, p. 107893, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107893>. Acesso em: 7 maio 2025.

CATALÁ, Á. Lipid peroxidation modifies the assembly of biological membranes “The Lipid Whisker Model”. **Frontiers in Physiology**, Lausanne, v. 5, 12 jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00520>. Acesso em: 7 maio 2025.

CHAKRABORTY, N. *et al.* Unraveling lipid peroxidation-mediated regulation of redox homeostasis for sustaining plant health. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 206, p. 108272, jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108272>. Acesso em: 7 maio 2025.

CHEMELEWSKI, R. *et al.* Epicuticular wax accumulation and regulation of wax pathway gene expression during bioenergy Sorghum stem development. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, p. 1227859, 23 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1227859>. Acesso em: 7 maio 2025.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of brazilian cerrado. Em: **Fire in the Tropical Biota**. Berlin: Springer-Verlag, 1990.

DAMIAN WACH; PIOTR SKOWRON. **An overview of plant responses to the drought stress at morphological, physiological and biochemical levels.** 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26114/PJA.IUNG.435.2022.04>. Acesso em: 7 maio 2025.

DANILEVSKAYA, O. N. *et al.* Developmental and transcriptional responses of maize to drought stress under field conditions. **Plant Direct**, Hoboken, v. 3, n. 5, p. e00129, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pld3.129>. Acesso em: 7 maio 2025.

DAVIDSON, A. M.; JENNIONS, M.; NICOTRA, A. B. Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis: Invasive species have higher phenotypic plasticity. **Ecology Letters**, Chichester, v. 14, n. 4, p. 419–431, abr. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01596.x>. Acesso em: 7 maio 2025.

De Paula, F. M. *et al.* Effects of water stress on the molecular species composition of polar lipids from *Vigna unguiculata* L. leaves. **Plant Science**, Lausanne, v. 66, n. 2, p. 185–193, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(90\)90203-Z](https://doi.org/10.1016/0168-9452(90)90203-Z). Acesso em: 3 jan.2025.

DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. W. Photosynthesis and partitioning | Photoinhibition. Em: **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**. Amsterdam: Elsevier, 2003. p. 707–714. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227050-9/00091-0>. Acesso em: 7 maio 2025.

DEVI, M. J.; REDDY, V. R.; TIMLIN, D. Drought-Induced Responses in Maize under Different Vapor Pressure Deficit Conditions. **Plants**, Basel, v. 11, n. 20, p. 2771, 19 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11202771>. Acesso em: 7 maio 2025.

DWIVEDI, S. L.; REYNOLDS, M. P.; ORTIZ, R. Mitigating tradeoffs in plant breeding. **iScience**, [s. l.], v. 24, n. 9, p. 102965, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102965>. Acesso em: 4 ago. 2024.

EAMES, T. *et al.* Division of the tropical savanna fire season into early and late dry season burning using MODIS active fires. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 125, p. 103575, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103575>. Acesso em: 7 maio 2025.

EHSANPOUR, A. A. ; AMINI, F. Effect of salt and drought stress on acid phosphatase activities in alfalfa (*Medicago sativa* L.) explants under in vitro culture. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 2, n. 5, p. 133–135, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1026>. Acesso em: 3 janeiro 2025.

ESCRIBÁ, P. V. *et al.* Lipid–protein interactions in GPCR-associated signaling. **Biochimica et Biophysica Acta. Biomembranes**, Amsterdam, v. 1768, n. 4, p. 836–852, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2006.09.001>. Acesso em: 3 jan. 2025.

FALCONE, D. L.; OGAS, J. P.; SOMERVILLE, C. R. Regulation of membrane fatty acid composition by temperature in mutants of *Arabidopsis* with alterations in membrane lipid composition. **BMC Plant Biology**, London, v. 4, n. 1, p. 17, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-4-17>. Acesso em: 9 jan. 2025.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, n. 1–2, p. 135–143, maio 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.001>. Acesso em: 20 jan. 2025.

FERREIRA, A. S.; ESPÍNDOLA, S. P.; CAMPOS, M. R. C. Assessment and kinetics of soil phosphatase in Brazilian Savanna systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 2, p. 1035–1044, 31 maio 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140033>. Acesso em: 25 jan. 2024.

GAO, L. *et al.* Crop adaptation to climate change: An evolutionary perspective. **Molecular Plant**, Cambridge, v. 16, n. 10, p. 1518–1546, out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.07.011>. Acesso em: 10 jan. 2025.

GARLAND, T. Trade-offs. **Current Biology**, v. 24, n. 2, p. R60–R61, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.11.036>. Acesso em: 4 ago. 2024.

GENRO, T. C. M.; ORQIS, M. G. **Informações básicas sobre coleta de amostras e principais análises químico-bromatológicas de alimentos destinados à produção de ruminantes**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/228612>. Acesso em: 20 dezembro 2024.

GOLDSTEIN, G. *et al.* Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited. **Tree Physiology**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 395–404, 1 mar. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.3.395>. Acesso em: 7 maio 2025.

GOÑI, F. M. The basic structure and dynamics of cell membranes: An update of the Singer–Nicolson model. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, v. 1838, n. 6, p. 1467–1476, jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.01.006>. Acesso em: 10 jan. 2025.

GONZÁLEZ, A.; AYERBE, L. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley. **Euphytica**, Dordrecht, v. 172, n. 3, p. 341–349, abr. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0027-0>. Acesso em: 12 jan. 2025.

GUIDI, L.; LO PICCOLO, E.; LANDI, M. Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: Does it Make Any Difference the Fact to Be a C3 or C4 Species? **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, p. 174, 14 fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00174>. Acesso em: 10 jan. 2025.

HABERMANN, E. *et al.* Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 165, n. 2, p. 383–402, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12891>.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 183–195, set. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>. Acesso em: 6 ago. 2024.

HE, M.; DING, N.-Z. Plant Unsaturated Fatty Acids: Multiple Roles in Stress Response. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, p. 562785, 4 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.562785>. Acesso em: 9 jan. 2025.

HELFENSTEIN, J. *et al.* Combining spectroscopic and isotopic techniques gives a dynamic view of phosphorus cycling in soil. **Nature Communications**, London, v. 9, n. 1, p. 3226, 13 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05731-2>. Acesso em : 20 janeiro 2025.

HIKOSAKA, K.; TSUJIMOTO, K. Linking remote sensing parameters to CO₂ assimilation rates at a leaf scale. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 134, n. 4, p. 695–711, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01313-4>. Acesso em: 20 dezembro 2024.

HU, C. *et al.* Drought affects both photosystems in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, Chichester, v. 240, n. 2, p. 663–675, out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.19171>. Acesso em: 20 jan. 2025.

HU, Y. *et al.* A crude protein and fiber model of alfalfa incorporating growth age under water and salt stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 255, p. 107037, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107037>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JANES-BASSETT, V. *et al.* A meta-analysis of phosphatase activity in agricultural settings in response to phosphorus deficiency. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 165, p. 108537, fev. 2022.

JANMEY, P. A.; KINNUNEN, P. K. J. Biophysical properties of lipids and dynamic membranes. **Trends in Cell Biology**, Cambridge, v. 16, n. 10, p. 538–546, out. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2006.08.009>. Acesso em: 9 jan. 2025.

JIN, J. *et al.* Phosphorus application and elevated CO₂ enhance drought tolerance in field pea grown in a phosphorus-deficient vertisol. **Annals of Botany**, Oxford, v. 116, n. 6, p. 975–985, nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu209>. Acesso em: 12 jan. 2025.

JORDAN, W. R. *et al.* Environmental Physiology of Sorghum. II. Epicuticular Wax Load and Cuticular Transpiration. **Crop Science**, Berlin, v. 24, n. 6, p. 1168–1173, nov. 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060038x>. Acesso em: 13 jan. 2025.

JUWARKAR, A. S.; JUWARKAR, A.; KHANNA, P. Use of selected waste materials and biofertilizers for industrial solid waste reclamation. Em: **Waste Management Series**. [s.l.] Elsevier, v. 4, p. 911–948, 2004.

KAUR, H. *et al.* Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 172, n. 2, p. 935–962, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.13389>. Acesso em: 7 maio 2025.

KIM, H. *et al.* Compaction effects on soil macropore geometry and related parameters for an arable field. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, n. 2, p. 244–251, dez. 2010.

KIM, K.-H.; LEE, B.-M. Effects of Climate Change and Drought Tolerance on Maize Growth. **Plants**, Basel, v. 12, n. 20, p. 3548, 12 out. 2023.

KLINK, C. A. *et al.* The Role of Vegetation on the Dynamics of Water and Fire in the Cerrado Ecosystems: Implications for Management and Conservation. **Plants**, Basel, v. 9, n. 12, p. 1803, 18 dez. 2020.

KOSMA, D. K. *et al.* The Impact of Water Deficiency on Leaf Cuticle Lipids of Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 151, n. 4, p. 1918–1929, 4 dez. 2009.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of Glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43–49, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100005>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KUWAHARA, F. A. *et al.* Phosphorus as a mitigator of the effects of water stress on the growth and photosynthetic capacity of tropical C4 grasses. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 3, p. 363, 24 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.28454>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LAMBERS, H. *et al.* Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Matching Morphological and Physiological Traits. **Annals of Botany**, Oxford, v. 98, n. 4, p. 693–713, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl114>. Acesso em: 3 jan. 2025.

LANNES, L. S. *et al.* Species richness both impedes and promotes alien plant invasions in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**, London, v. 10, n. 1, p. 11365, 9 jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68412-5>. Acesso em: 31 maio 2024.

LEITE, M. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; LANNES, L. S. *Urochloa decumbens* Has Higher Mycorrhizal Colonization in Degraded than in Pristine Areas in the Brazilian Cerrado. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. e20190060, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.006019>. Acesso em: 19 nov. 2024.

LI, Q. *et al.* Understanding the Biochemical Basis of Temperature-Induced Lipid Pathway Adjustments in Plants. **The Plant Cell**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 86–103, 17 fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.114.134338>. Acesso em: 17 fev. 2025.

LIU, J.; FERNIE, A. R.; YAN, J. The Past, Present, and Future of Maize Improvement: Domestication, Genomics, and Functional Genomic Routes toward Crop Enhancement. **Plant Communications**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 100010, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2019.100010>. Acesso em: 18 jan. 2025.

LOPES E SILVA, L. *et al.* Potential of root acid phosphatase activity to reduce phosphorus fertilization in maize cultivated in Brazil. **Plos One**, San Francisco, v. 18, n. 10, p. e0292542, 27 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292542>. Acesso em: 25 jan. 2025.

LYU, D. *et al.* The Coevolution of Plants and Microbes Underpins Sustainable Agriculture. **Microorganisms**, Basel, v. 9, n. 5, p. 1036, 12 maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051036>. Acesso em: 27 janeiro 2025.

- MAMMADOV, J. *et al.* Wild Relatives of Maize, Rice, Cotton, and Soybean: Treasure Troves for Tolerance to Biotic and Abiotic Stresses. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 886, 28 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00886>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- MANDELBAUM, C. I.; PICHE, Y. The Role of Root Exudates in Arbuscular Mycorrhiza Initiation. Em: MUKERJI, K. G.; CHAMOLA, B. P.; SINGH, J. (ed.). **Mycorrhizal Biology**. Boston, MA: Springer US, 2000. p. 153–172. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4265-0_11. Acesso em: 15 fev. 2025.
- MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. 2006. 124 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/8676>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- MARGALEF, O. *et al.* The effect of global change on soil phosphatase activity. **Global Change Biology**, Chichester, v. 27, n. 22, p. 5989–6003, nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15832>. Acesso em: 24 jan. 2025.
- MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetida a déficit hídrico**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7529>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- MASSENSINI, A. M. *et al.* Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 873–884, dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000400022>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- MCMILLEN, M. S. *et al.* Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 13, p. 1001001, 28 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- MEIER, S. *et al.* Interactive role between phosphorus utilization efficiency and water use efficiency. A tool to categorize wheats co-adapted to water and phosphorus limiting conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 248, p. 106765, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106765>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- MENEZES, C. B. *et al.* Melhoramento do sorgo para tolerância à seca. In: MENEZES, C. B. (org.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 341–381.
- MOHOTTI, A. J.; LAWLOR, D. W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 367, p. 313–322, 1 fev. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.367.313>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- MORAES, M. L.; CASELI, L. Supramolecular Systems. In: MORAES, M. L.; CASELI, L. **Nanostructures**. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 33–52. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-49782-4.00002-4>. Acesso em: 7 maio 2025.

- MORTENSEN, M. S.; RUIZ, J.; WATTS, J. L. Polyunsaturated Fatty Acids Drive Lipid Peroxidation during Ferroptosis. **Cells**, Basel, v. 12, n. 5, p. 804, 4 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cells12050804>. Acesso em: 10 jan.2025.
- MOURA, J. B. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi associated with bamboo under Cerrado Brazilian vegetation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Heidelberg, v. 19, n. 4, p. 954–962, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00093-0>. Acesso em: 7 maio 2025.
- MUELLER, M. J. Archetype signals in plants: the phytoprostanes. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 441–448, ago. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.04.001>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- MUHAMMAD ASLAM, M. *et al.* Mechanisms of Abscisic Acid-Mediated Drought Stress Responses in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 23, n. 3, p. 1084, 19 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23031084>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- MURPHY, G. P. *et al.* Kin recognition, multilevel selection and altruism in crop sustainability. **Journal of Ecology**, Chichester, v. 105, n. 4, p. 930–934, jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12787>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- MUSSO, C. *et al.* Effects of water and nutrient availability on morphological, physiological, and biochemical traits of one invasive and one native grass of a Neotropical savanna. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 182, p. 104305, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104305>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 23–35, mar. 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(92\)90073-I](https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90073-I). Acesso em: 16 ago.2024.
- NIU, Y.; XIANG, Y. An Overview of Biomembrane Functions in Plant Responses to High-Temperature Stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 915, 3 jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00915>. Acesso em: 27 nov. 2024.
- OLDE VENTERINK, H. Does phosphorus limitation promote species-rich plant communities? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, n. 1–2, p. 1–9, ago. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0834-7>. Acesso em : 3 ago. 2024.
- OLIVEIRA, A. F. M.; MEIRELLES, S. T.; SALATINO, A. Epicuticular waxes from caatinga and cerrado species and their efficiency against water loss. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 75, n. 4, p. 431–439, dez. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652003000400003>. Acesso em: 17 nov.2024.
- OPENAI. **ChatGPT (dec 2024 version)** [GPT-4 powered]. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com/chat>. Acesso em: 7 maio 2025.

- PANTIN, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. Coming of leaf age: control of growth by hydraulics and metabolics during leaf ontogeny. **New Phytologist**, Chichester, v. 196, n. 2, p. 349–366, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04273.x>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- QIN, M. *et al.* Experimental duration determines the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant biomass in pot experiments: A meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, p. 1024874, 3 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024874>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- RAJA, V. *et al.* Abiotic stress: Interplay between ROS, hormones and MAPKs. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 137, p. 142–157, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.010>. Acesso em: 20 dezembro 2024.
- RAWAT, N.; SINGLA-PAREEK, S. L.; PAREEK, A. Membrane dynamics during individual and combined abiotic stresses in plants and tools to study the same. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 171, n. 4, p. 653–676, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.13217>. Acesso em: 21 dez.2024.
- RIMINGTON, W. R. *et al.* The distribution and evolution of fungal symbioses in ancient lineages of land plants. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 30, n. 1, p. 23–49, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00938-y>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its application to human foods. Em: JAMES, W. P. T.; THEANDER, O. (ed.). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 123–158.
- ROBINSON, S. Mechanobiology of cell division in plant growth. **New Phytologist**, Chichester, v. 231, n. 2, p. 559–564, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.17369>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- RODRIGUEZ, R. J. *et al.* Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. **The ISME Journal**, Oxford, v. 2, n. 4, p. 404–416, 1 abr. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.106>. Acesso em: 7 maio 2025.
- ROMA, L. P. **Composição química e morfologia das ceras cuticulares foliares de diferentes espécies de *Simaba* Aubl. sensu stricto e *Homalolepis* Turcz. (Simaroubaceae)**. 2018. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.41.2018.tde-22102018-142737>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- SÄLE, V. *et al.* Ancient lineages of arbuscular mycorrhizal fungi provide little plant benefit. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 31, n. 5, p. 559–576, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00572-021-01042-5>. Acesso em: 9 jan.2025.
- SALES, L. R. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi on the biomass and nutrition of *Urochloa decumbens* at different soil densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 8, p. 943–951, ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800009>. Acesso em: 20 jan. 2025.

- SANGHERA, G. S.. *et al.* Engineering Cold Stress Tolerance in Crop Plants. **Current Genomics**, Sharjah, v. 12, n. 1, p. 30–43, 1 mar. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/138920211794520178>. Acesso em: 9 jan. 2025.
- SANJARI, S. *et al.* Molecular, chemical, and physiological analyses of sorghum leaf wax under post-flowering drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 159, p. 383–391, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.001>. Acesso em: 23 dez. 2023.
- SANTOS LUCAS, L. *et al.* Mycorrhizal fungi arbuscular in forage grasses cultivated in Cerrado soil. **Scientific Reports**, London, v. 12, n. 1, 3103, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07088-5>. Acesso: 20 jan. 2025.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287–294, dez. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p287-294>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- SARMIENTO, G. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. **Journal of Vegetation Science**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 325–336, jun. 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3235757>. Acesso em: 30 nov. 2024.
- SHARMA, L. *et al.* The multifaceted nature of plant acid phosphatases: purification, biochemical features, and applications. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, Abingdon, v. 38, n. 1, p. 2282379, 31 dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14756366.2023.2282379>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- SHEN, W. *et al.* Metabolic and Transcriptional Responses of Glycerolipid Pathways to a Perturbation of Glycerol 3-Phosphate Metabolism in Arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, New York, v. 285, n. 30, p. 22957–22965, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.M109.097758>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- SILVA, T. E. D. *et al.* Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 38, n. 1, p. 45, 1 jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i1.29171>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- SINGH, B. R.; SINGH, D. P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 42, n. 2–3, p. 57–67, ago. 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00025-L](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00025-L). Acesso em: 20 jan.2025.
- SMITH, S. E.; READ, D. Mineral nutrition, toxic element accumulation and water relations of arbuscular mycorrhizal plants. *In: Mycorrhizal symbiosis*. Amsterdam: Elsevier, 2008. p. 145–VI. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50007-6>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- SOLDAN, R. *et al.* The effect of plant domestication on host control of the microbiota. **Communications Biology**, London, v. 4, n. 1, p. 936, 5 ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02467-6>. Acesso em: 5 agosto 2024.

SOLER, C. M. T. *et al.* Impact of Water Stress on Maize Grown Off-Season in a Subtropical Environment. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 193, n. 4, p. 247–261, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00265.x>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SONG, F. *et al.* Response to water stress of soil enzymes and root exudates from drought and non-drought tolerant corn hybrids at different growth stages. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 92, n. 3, p. 501–507, mar. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106330>. Acesso em: 27 maio 2023.

SOUZA, A. A. D. *et al.* Grain sorghum under pre- and post-flowering drought stress in a semiarid environment. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 15, n. 8, 2021, p. 1139–1145, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.08.p3162>. Acesso em: 31 jul. 2024.

SOUZA, A. A. **Produção e caracterização bioquímica de uma fosfatase ácida de *Trichoderma harzianum* (ALL42)**. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/1267>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SOUZA, F. A.; SILVA, I. C. L.; BERBARA, R. L. L. Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava. *In*: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Editora UFLA, 2007. p. 483-536.

SOUZA, G. M.; BARBOSA, A. M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. **Visão Agrícola**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 30–34, 2015.

SUN, C. *et al.* The effects of drought stress on the activity of acid phosphatase and its protective enzymes in pigweed leaves. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 9, n. 6, p. 825–833, 8 fev. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJB09.1253>. Acesso em: 30 out. 2024.

SUN, Y. *et al.* Response of Plants to Water Stress: A Meta-Analysis. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, p. 978, 26 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00978>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SURIYAGODA, L. D. B. *et al.* Plant Responses to Limited Moisture and Phosphorus Availability. *In*: **Advances in Agronomy**. Amsterdam: Elsevier, 2014. v. 124p. 143–200. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00004-8>. Acesso em: 8 maio 2025.

TABATABAI, M. A.; BREMMER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 1, n. 4, p. 301–307, 1969. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1). Acesso em: 8 maio 2025.

TAYLOR, S. H. *et al.* Drought limitation of photosynthesis differs between C₃ and C₄ grass species in a comparative experiment. **Plant, Cell e Environment**, Chichester, v. 34, n. 1, p. 65–75, jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02226.x>. Acesso em: 29 jan. 2025.

TEIXEIRA, D. S. **Efeito da seca natural e induzida sobre remodelação de ácidos graxos de plantas nativas e exóticas de Cerrado**. 2022. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/235520>. Acesso em: 7 maio 2025.

TOULOTTE, J. M. *et al.* Water stress resilient cereal crops: Lessons from wild relatives. **Journal of Integrative Plant Biology**, Richmond, v. 64, n. 2, p. 412–430, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jipb.13222>. Acesso em: 8 jul. 2024.

TRAN, H. T.; HURLEY, B. A.; PLAXTON, W. C. Feeding hungry plants: The role of purple acid phosphatases in phosphate nutrition. **Plant Science**, Shannon, v. 179, n. 1–2, p. 14–27, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.005>. Acesso em: 7 maio 2025.

VIERHEILIG, H. *et al.* Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 64, n. 12, p. 5004–5007, dez. 1998. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998>. Disponível em: 30 junho 2023.

WANG, Y. *et al.* Dynamic changes in membrane lipid composition of leaves of winter wheat seedlings in response to PEG-induced water stress. **BMC Plant Biology**, London, v. 20, n. 1, p. 84, dez. 2020. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2257-1>. Disponível em: 13 jan. 2025.

WEINER, J. *et al.* Evolutionary Agroecology: the potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. **Evolutionary Applications**, Hoboken, v. 3, n. 5–6, p. 473–479, set. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00144.x>. Acesso em: 9 jul. 2024.

WILLIAMS, G. C. **Adaptation and natural selection**: a critique of some current evolutionary thought. [S. l.]: Princeton University, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/j.ctt7s4g0>. Acesso em: 8 ago. 2024.

WOOD, T. E. *et al.* Short-term variability in labile soil phosphorus is positively related to soil moisture in a humid tropical forest in Puerto Rico. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 127, n. 1, p. 35–43, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-015-0150-z>. Acesso em: 9 jul. 2024.

WRIGHT, G.; SMITH, R.; MCWILLIAM, J. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth and yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Clayton, v. 34, n. 6, p. 615, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AR9830615>. Acesso em: 31 maio 2023.

YIN, L. *et al.* Altered fatty acid composition confers improved drought acclimation in maize. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 206, p. 108274, jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108274>. Acesso em: 4 jan. 2025.

YU, C. *et al.* The effects of soil compaction on wheat seedling root growth are specific to soil texture and soil moisture status. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 29, p. 100838, mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100838>. Acesso em: 28 julho 2024.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ZHANG, H. *et al.* Drought promotes soil phosphorus transformation and reduces phosphorus bioavailability in a temperate forest. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 732, p. 139295, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.13929>. Acesso em: 9 agosto 2024.

ZHANG, H.; ZHAO, Y.; ZHU, J.-K. Thriving under Stress: How Plants Balance Growth and the Stress Response. **Developmental Cell**, Cambridge, v. 55, n. 5, p. 529–543, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2020.10.012>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ZHANG, X. *et al.* Integrative analysis of the cuticular lipidome and transcriptome of *Sorghum bicolor* reveals cultivar differences in drought tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 163, p. 285–295, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.007>. Acesso em: 17 janeiro 2025.