

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DOS DETERMINANTES DA MANUTENÇÃO
DO STATUS HÍDRICO EM PLANTAS DECÍDUAS E SEMPRE-
VERDES NO CERRADO BRASILEIRO

Discente: Ana Claudia Martins
Orientadora: Dr^a. Fernanda dos Santos Farnese
Coorientador: Dr. Paulo Eduardo Menezes Silva

RIO VERDE – GO
AGOSTO – 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DOS DETERMINANTES DA MANUTENÇÃO
DO STATUS HÍDRICO EM PLANTAS DECÍDUAS E SEMPRE-
VERDES NO CERRADO BRASILEIRO

Discente: Ana Claudia Martins
Orientadora: Dr^a. Fernanda dos Santos Farnese
Coorientador: Dr. Paulo Eduardo Menezes Silva

Dissertação de mestrado
apresentada, como parte das
exigências para obtenção do título
de MESTRE EM
BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO, no Programa de
Pós-Graduação em Biodiversidade
e Conservação do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia
Goiano – Campus Rio Verde.

RIO VERDE – GO
AGOSTO – 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

MAN532 Martins, Ana Claudia
c CARACTERIZAÇÃO DOS DETERMINANTES DA MANUTENÇÃO DO
STATUS HÍDRICO EM PLANTAS DECÍDUAS E SEMPRE-VERDES
NO CERRADO BRASILEIRO / Ana Claudia Martins;
orientadora Fernanda dos Santos Farnese; co-
orientador Paulo Eduardo Menezes Silva. -- Rio
Verde, 2022.
36 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação
em Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Ecofisiologia. 2. Plasticidade. 3. Cerrado. 4.
Fenologia. 5. Seca. I. Farnese, Fernanda dos Santos,
orient. II. Menezes Silva, Paulo Eduardo, co-orient.
III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:
Ana Claudia Martins

Matrícula:
2020202310840019

Título do trabalho:
CARACTERIZAÇÃO DOS DETERMINANTES DA MANUTENÇÃO DO STATUS HÍDRICO EM PLANTAS
DECÍDUAS E SEMPRE-VERDES NO CERRADO BRASILEIRO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20 / 10 / 2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, Goiás
Local

20 / 10 / 2022
Data

Ana Claudia Martins

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente
FERNANDA DOS SANTOS FARNESE
Data: 20/10/2022 18:54:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 83/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA Nº/65
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e seis dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e dois, às 08h30min (oito horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **Ana Claudia Martins**, discente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof^a. Dra. Fernanda do Santos Farnese, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação Biodiversidade e Conservação, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**, na área de concentração em Conservação dos Recursos Naturais, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBio da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

| Nome | Instituição | Situação no Programa |
|---|----------------------|-----------------------------|
| Prof ^a . Dra. Fernanda do Santos Farnese | IFGoiano - Rio Verde | Presidente |
| Prof. Dr. Roniel Geraldo Avila | IFGoiano - Rio Verde | Membro externo |

| | | |
|---------------------------------|----------------------|----------------|
| Prof. Dr. Adinan Alves da Silva | IFGoiano - Rio Verde | Membro externo |
|---------------------------------|----------------------|----------------|

Documento assinado eletronicamente por:

- Roniel Geraldo Avila, Roniel Geraldo Avila - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 07/10/2022 11:38:01.
- Adinan Alves da Silva, Adinan Alves da Silva - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 19/09/2022 19:38:17.
- Fernanda dos Santos Farnese, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/09/2022 15:11:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/09/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 426819

Código de Autenticação: 0cbdaadd3



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

A minha família e amigos, como reconhecimento por todo apoio, incentivo e amor, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano, por construir mais esse degrau na minha formação, do ensino médio ao mestrado.

À Fernanda Farnese, pela brilhante orientação ao longo desses 24 meses, pela confiança e paciência a mim depositadas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos mestres, que passaram ao longo de toda minha formação, que foram tão essenciais agregando conhecimento.

À minha família, em especial minha mãe, minha avó e minhas irmãs (inclusive a Daniara) por acreditarem em mim, por sempre demonstrarem tamanha admiração, que me fizeram prosseguir nessa caminhada.

Ao meu precioso Gabriel, que foi tão importante desde o início dessa trajetória. Agradeço por fazer das minhas conquistas as suas conquistas, por sempre tirar minha pressa e ao mesmo tempo me impulsionar!

À Taiza, uma amiga tão especial que o mestrado me proporcionou.

Aos colegas e amigos de laboratório, em especial ao Lucas, meu braço forte, sempre tão disposto a ajudar, ensinar e ter boas e longas conversas.

A Deus, que me concedeu saúde, paciência e as melhores pessoas ao meu lado para dar mais esse passo em busca dos meus sonhos.

BIOGRAFIA

Ana Claudia Martins, filha de Claudia Martins da Silva, nasceu em 14 de julho de 1996, em Brasília, DF.

Em fevereiro de 2020, graduou-se em Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal Goiano Campus Ceres. Em setembro de 2020, iniciou a pós-graduação *Stricto sensu* - Mestrado em Biodiversidade e Conservação, no Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, com prazo para concluir em agosto de 2022.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE TABELAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS..... | xiv |
| RESUMO | 15 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 2. OBJETIVOS..... | 22 |
| 2.1. Geral..... | 22 |
| 2.2. Específicos..... | 22 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.1. Análises de Relações hídricas | 23 |
| 3.1.1. <i>Potencial hídrico na antemanhã e ao meio dia</i> | 23 |
| 3.1.2 <i>Condutividade hidráulica foliar (K_{leaf})</i> | 24 |
| 3.1.3. <i>Determinação da condutância mínima da copa (g_{copa})</i> | 24 |
| 3.1.4. <i>Determinação da condutância mínima do caule (g_{caule})</i> | 24 |
| 3.1.5. <i>Curvas pressão-volume (curva pv)</i> | 25 |
| 3.1.5. <i>Capacitância caulinar</i> | 25 |
| 3.2. Análises Fisiológicas..... | 25 |
| 3.2.1. <i>Parâmetros fotossintéticos</i> | 26 |
| 3.3. Análises Estatísticas | 26 |
| 4. RESULTADOS | 26 |
| 4.1. Dados Ambientais | 26 |
| 4.2. Trocas Gasosas | 27 |
| 4.3. Relações Hídricas | 28 |
| 5. DISCUSSÃO..... | 32 |
| 5.2. Efeito da seca sobre a aquisição de carbono pelas plantas | 33 |
| 5.3. Conservação de água: comportamento diferencial entre plantas decíduas e sempre- verdes durante a estação seca | 34 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 37 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de espécies decíduas e sempre-verdes estudadas.....**16**

Tabela 2 – Média dos dados ambientais, tais como: temperatura (°C), umidade do ar (%), umidade do solo (VWC %) e precipitação (mm).....**19**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de assimilação de carbono (A) (A), condutância estomática (g_s) (B), razão entre concentração interna e atmosférica de carbono (C_i/C_a) (C) e razão entre A e concentração interna de carbono (A/C_i) (D) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.....21

Figura 2 – Condutância mínima da copa (g_{copa}) (A), condutância mínima do caule (g_{caule}) (B) e transpiração da copa (E_{copa}) (C), nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.....22

Figura 3 - Potencial hídrico na antemanhã para folha e caule (Ψ_{am} (MPa)) (A), potencial hídrico ao meio-dia para folha ($\Psi_{folha-md}$) (B) e potencial hídrico ao meio dia para caule ($\Psi_{caule-md}$) (C) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.....23

Figura 4 – Condutividade hidráulica da folha (K_{leaf}) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.....24

Figura 5 – Capacitância em turgor pleno (C_{FT}) (A), capacitância em ponto de perda de turgor (C_{TLP}) (B), e capacitância caulinar ($C_{caulinar}$) (C), nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.....25

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

- A – Taxa de assimilação de carbono.
- A/C_i – Razão entre A e concentração interna de carbono.
- ANOVA – Análise de variância.
- C_{caulinar} – Capacitância caulinar.
- C_{FT} – capacitância em turgor pleno.
- C_i/C_a – Razão entre concentração interna e atmosférica de carbono.
- C_{TLP} – Capacitância no ponto de perda de turgor.
- CWR_{am} – Liberação de água pela madeira na antemanhã.
- CWR_{md} – Liberação de água pela madeira ao meio-dia.
- E – Taxa transpiratória.
- E_{copa} – Taxa transpiratória da copa.
- g_{bark} - Condutância da casca ao vapor d'água.
- g_{caule} – Condutância mínima do caule.
- g_{copa} – Condutância mínima da copa.
- g_{leaf} – Condutância mínima da folha.
- g_s – Condutância estomática.
- K_{leaf} – Condutividade hidráulica foliar.
- RuBisCO – Enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase.
- Ψ_{folha} – Potencial hídrico da folha.
- Ψ_{am} – Potencial hídrico na antemanhã para folha e caule.
- $\Psi_{\text{caule-md}}$ – Potencial hídrico ao meio-dia para caule.
- $\Psi_{\text{folha-md}}$ – Potencial hídrico ao meio-dia para folha.

RESUMO

MARTINS, ANA CLAUDIA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde/Go, agosto de 2022. **Caracterização dos determinantes da manutenção do status hídrico em plantas decíduas e sempre-verdes no Cerrado Brasileiro.** Orientadora: Dra. Fernanda dos Santos Farnese; Coorientador: Dr. Paulo Eduardo de Menezes Silva. Programa de Pós-Graduação – Mestrado em Biodiversidade e Conservação.

O Cerrado se caracteriza por ser domínio tropical sazonalmente seco, com duas estações bem definidas – o período chuvoso e o de secas intensas. Embora as espécies desse domínio estejam aclimatadas à ocorrência de seca sazonal, os modelos de mudanças climáticas preveem aumento na frequência e na intensidade de secas para a região do Cerrado nos próximos anos, o que pode resultar em eventos de restrição hídrica que ultrapassem os limiares de tolerância das plantas, ocasionando a morte e a substituição de espécies. Espécies arbóreas desse domínio apresentam diferentes padrões de deciduidade, sendo definidas como sempre-verdes ou decíduas. Esses padrões fenológicos são indicados como estratégias para aclimação às condições ambientais e a deciduidade é frequentemente apontada como mecanismo crucial para manutenção do potencial hídrico. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar os principais determinantes do potencial hídrico em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado Brasileiro durante as estações seca e chuvosa. O estudo avaliou 10 espécies vegetais no Jardim Botânico do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, sendo 5 espécies sempre-verdes e 5 decíduas, com 4 repetições adultas para cada espécie. As coletas foram realizadas ao longo de 3 meses, sendo dois meses durante a estação seca (maio e agosto) e um na estação chuvosa (dezembro). O mês de maio foi definido como início da seca, agosto como final da seca e dezembro como estação chuvosa. Foram realizadas análises ambientais (umidade do solo, umidade e temperatura do ar, e precipitação pluviométrica) e das plantas, sendo estas fisiológicas (trocas gasosas) e de relações hídricas (potencial hídrico; transpiração residual – g_{copa} e g_{caule} , condutividade hidráulica da folha, curvas pressão-volume e capacitância caulinar). Espécies sempre-verdes e decíduas apresentaram diferentes estratégias de sobrevivência à seca sazonal, e refletiu em capacidade diferencial para a manutenção do potencial hídrico. A estratégia das decíduas consistiu em diminuir g_s , e com isso, diminuíram fotossíntese, demonstraram capacidade no transporte de água e liberação de água armazenada, mantendo maior K_{leaf} , C_{FT} , C_{TLP} e C_{caulinar} . As sempre-verdes mantiveram g_s e a fotossíntese. Enquanto sempre-verdes priorizaram a manutenção do processo fotossintético e investiram em estratégias não estomáticas para diminuir a perda de água, as plantas decíduas investiram em processos relacionados ao transporte e liberação de água.

Palavras-chave: Ecofisiologia; Plasticidade; Cerrado; Fenologia; Seca; Carbono; Armazenamento.

ABSTRACT

MARTINS, ANA CLAUDIA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde/Go, August 2022. Determinants characterization of water status maintenance in deciduous and evergreen plants in the Brazilian Cerrado. Advisor: Dr. Fernanda dos Santos Farnese; Co-advisor: Dr. Paulo Eduardo de Menezes Silva. Graduate Program – Master's in Biodiversity and Conservation.

The Cerrado is characterized as a seasonally dry tropical domain, with two well-defined seasons – the rainy season and the intense dry season. Although the species in this domain are acclimatized to the occurrence of seasonal drought, climate change models predict an increase in the frequency and intensity of droughts for Cerrado region in the coming years, which may result in water restriction events that exceed the thresholds of plants tolerance, causing the death and replacement of species. Tree species in this domain show different patterns of deciduousness, being defined as evergreen or deciduous. These phenological patterns are indicated as strategies for acclimatization to environmental conditions and deciduousness is often pointed out as a crucial mechanism for maintaining water potential. Therefore, the objective of this study was to evaluate the main determinants of water potential in deciduous and evergreen species from the Brazilian Cerrado during the dry and rainy seasons. The study evaluated 10 plant species in the Botanical Garden of the Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, being 5 evergreen and 5 deciduous species, with 4 adult replicates for each species. The collections were carried out over 3 months, two months during the dry season (May and August) and one during the rainy season (December). The month of May was defined as the beginning of the drought, August as the end of the drought and December as the rainy season. Environmental (soil moisture, air humidity and temperature, and rainfall) and plant analyzes were carried out, being these physiological (gas exchange) and water relations (water potential; residual transpiration - g_{copae} stem, hydraulic conductivity of the leaf, curves pressure-volume and stem capacitance). Evergreen and deciduous species showed different survival strategies to seasonal drought and reflected in a differential capacity to maintain water potential. The deciduous strategy consisted of decreasing g_s , and with that, they decreased photosynthesis, demonstrated ability to transport water and release stored water, maintaining greater K_{leaf} , CFT, CTLP and Cacaular. Evergreens maintained g_s and photosynthesis. While evergreens prioritized the maintenance of the photosynthetic process and invested in non-stomatal strategies to reduce water loss, deciduous plants invested in processes related to the transport and release of water.

Keywords: Ecophysiology; Plasticity; Thick; Phenology; Dry; Carbon; Storage.

1. INTRODUÇÃO

Ações antrópicas constituem os principais fatores responsáveis pela degradação ecossistêmica. Com efeito, cerca de 75% da superfície terrestre já foi ocupada pelo ser humano e tal disseminação geográfica fez com a biodiversidade mundial diminuísse em aproximadamente 14% (IPCC, 2020). Ações dessa natureza induzem diversas alterações ambientais, como por exemplo, mudanças nas dinâmicas climáticas. De fato, relatórios técnicos apontam para aumentos na frequência de eventos climáticos extremos nos próximos anos, como intensas ondas de calor e diminuição nas precipitações (IPCC, 2022, 2020), fatores que podem afetar o crescimento, desenvolvimento e até mesmo a sobrevivência de espécies vegetais (Bryant *et al.*, 2021; Menezes-Silva *et al.*, 2019; Seidl *et al.*, 2017). A ocorrência de eventos de seca atípicos pode modificar o ambiente para além dos limiares naturais de cada bioma (Menezes-Silva *et al.*, 2019; Nakamura *et al.*, 2017), comprometendo a sobrevivência até mesmo de espécies que ocorrem em ambientes em que a restrição hídrica já ocorre de forma sazonal, como é o caso do Cerrado.

O Cerrado é o segundo maior Domínio brasileiro e abriga mais de 12.400 espécies vegetais, muitas delas endêmicas, e faz com que ele seja considerado um dos grandes hotspots mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). O Cerrado é caracterizado por ser um Domínio tropical sazonalmente seco, com duas estações bem definidas, com períodos de chuva e períodos de seca intensos, característicos da região (García-Núñez *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2021). O período chuvoso pode durar cerca de seis meses (outubro a março), tendo como precipitação média 229,5 mm mensais; a estação seca, em contrapartida, dura em média cerca de quatro meses, embora possa se estender por até seis meses, tendo como característica temperaturas elevadas, alta incidência solar e diminuição na umidade do solo e na precipitação, que atinge valores médios de 33,2 mm mensais se estendendo de maio a setembro (CLIMATEMPO, 2021). Apesar da sua importância para a biodiversidade mundial, o Cerrado é a savana tropical mais ameaçada no mundo e fatores como a expansão do agronegócio e a baixa proteção legal ameaçam a sobrevivência das espécies (IPCC, 2022; Sano *et al.*, 2019; Strassburg *et al.*, 2017). Essas ameaças tornam-se ainda mais preocupantes quando consideram as previsões de mudanças climáticas para as próximas décadas, as quais apontam para reduções de até 45% na pluviosidade do Cerrado, até o fim deste século

(PBMC, 2014). Caso se confirmem, esses eventos de seca podem levar a grande onda de morte florestal, culminando com a perda em massa de biodiversidade e substituição de espécies (IPCC, 2022; Mencuccini *et al.*, 2015; Mitchell and O'Grady, 2015).

Espécies arbóreas do Domínio Cerrado apresentam diferentes padrões de deciduidade, sendo que as espécies classificadas como decíduas perdem todas as folhas no ápice da seca, produzindo rapidamente novas folhas durante a transição da estação seca para a chuvosa; enquanto as espécies consideradas sempre-verdes apresentam taxas de abscisão e produção foliar contínuas ao longo do ano (Araújo and Haridasan, 2007; Fu *et al.*, 2012; Silvério and Lenza, 2010). Esses padrões fenológicos são indicativos de diferentes estratégias para aclimatação às condições desse habitat, sendo que a deciduidade foliar é frequentemente apontada como importante mecanismo para evitar possíveis danos provocados pelo déficit hídrico (Araújo and Haridasan, 2007; Lucena *et al.*, 2015; Silvério and Lenza, 2010) pois, ao perder as folhas, a planta reduz sua taxa transpiratória. A transpiração consiste na perda de água na forma de vapor e, em condições de restrição hídrica, contribui significativamente para a queda do potencial hídrico, comprometendo processos fisiológicos e podendo desencadear a ocorrência de falha hidráulica (Choat *et al.*, 2018). Porém, a queda das folhas representa um paradoxo, uma vez que, apesar da deciduidade gerar benefícios na conservação de água, há impedimento para a realização da fotossíntese, comprometendo o balanço de carbono (Fajardo *et al.*, 2013). As espécies sempre-verdes, por outro lado, mantêm suas folhas durante todo ano, indicando uma estratégia eficiente no uso de água e uma precisa regulação estomática, que seria importante para impedir a perda de água excessiva durante a seca (de Souza *et al.*, 2020).

Embora decíduas e sempre-verdes sejam tradicionalmente abordadas como espécies com estratégias de tolerância à seca totalmente distintas, com a deciduidade sendo apontada como importante mecanismo de adaptação à restrição hídrica, estudos recentes têm demonstrado que a resposta entre plantas desses dois grupos podem ser semelhantes e que nem sempre a abscisão foliar resulta em estabilização do potencial hídrico (de Souza *et al.*, 2020; Wolfe *et al.*, 2016). Wolfe *et al.*, (2016) e Souza *et al.*, (2020) demonstraram que, embora decíduas e sempre-verdes sejam agrupadas em grupos fenologicamente distintos, dentro de cada grupo há variação muito grande no que diz respeito à manutenção do status hídrico durante a seca. Com efeito, algumas espécies decíduas, mesmo perdendo suas folhas, apresentam queda brusca no potencial hídrico na estação seca, o que não seria esperado, considerando que a abscisão foliar é

apontada como sendo essencial para cessar a perda de água e manter o potencial hídrico; por outro lado, existem espécies sempre-verdes que, mesmo mantendo suas folhas durante toda a estação seca, são capazes de manter potencial hídrico menos negativo do que de algumas plantas decíduas. Esses resultados indicam claramente que outros mecanismos de retenção e/ou perda de água podem ser tão importantes quanto, ou até mesmo mais importantes, do que a queda das folhas no que concerne à manutenção do status hídrico vegetal.

Uma possível explicação para os resultados descritos acima consiste no fato de que, mesmo após o fechamento estomático ou a queda das folhas, as plantas continuam perdendo água para a atmosfera, em maior ou em menor escala, através da cutícula e de estômatos incompletamente fechados (condutância mínima da folha - g_{leaf}) (Machado *et al.*, 2021) e através das lenticelas do caule (condutância da casca ao vapor d'água - g_{bark}) (Loram-Lourenço *et al.*, 2022). Essas características, no entanto, são frequentemente negligenciadas em estudos de ecofisiologia vegetal, sob o argumento de que representam apenas pequena fração da perda de água quando comparada àquela proveniente dos estômatos. Embora tal afirmação seja verdade, esses “vazamentos” de água se mantêm ao longo do tempo e podem, portanto, impactar a sobrevivência vegetal em condições de restrição hídrica. Com efeito, uma parte considerável da superfície das árvores é coberta pela casca, a qual permite, em maior ou menor grau, a troca de gases, incluindo vapor d'água, com a atmosfera (Wolfe, 2020). Essa troca de gases pela casca ocorre por meio das lenticelas, estruturas multicelulares e funcionalmente análogas aos estômatos. Correlação entre g_{bark} e a manutenção do potencial hídrico do caule foi recentemente demonstrada por Wolfe (2020). É possível, portanto, que alterações nas características da periderme e, conseqüentemente, em g_{bark} , ao longo das estações seca e chuvosa sejam importantes para, em associação com os hábitos foliares, determinar o potencial hídrico das plantas. De forma similar, g_{leaf} é determinado por características da epiderme (Machado *et al.*, 2021) e possíveis alterações em parâmetros como tamanho e a densidade dos estômatos podem ser essenciais para a manutenção do status hídrico vegetal durante a estação seca no Cerrado. Por último, o tempo e a taxa de queda das folhas em espécies decíduas podem ser muito variáveis, que também pode influenciar a manutenção da hidratação da planta (Wolfe *et al.*, 2016).

A queda das folhas podem reduzir a perda de água por esses órgãos, em que estão localizados os estômatos, os principais responsáveis pela perda de água em espécies vegetais (de Souza *et al.*, 2020; Machado *et al.*, 2021; Wolfe *et al.*, 2016).

Entretanto, para evitar a morte da planta em condições de restrição hídrica, além de perder pouca quantidade, acumular água em seus órgãos – como folha e caule, pode ser uma importante estratégia para evitar a seca e amenizar alterações no potencial hídrico (Xiong *et al.*, 2017; Ziemińska *et al.*, 2020). Isso acontece pois a água armazenada nas plantas pode ser liberada para seus tecidos e auxiliar no processo de transporte de água, evitando flutuações de potencial hídrico, evitando a falha hidráulica (Scholz *et al.*, 2011, 2007). O armazenamento de água no caule pode contribuir com até 50% no balanço hídrico diário (Ziemińska *et al.*, 2020), atuando de forma significativa na sobrevivência vegetal (Blackman *et al.*, 2016). Apesar de ser menos estudada que o caule, as folhas podem armazenar água em diversas regiões, e se correlaciona de forma positiva com a condutividade hidráulica da folha (Scholz *et al.*, 2011).

Traços funcionais das plantas, como a transpiração residual de caules e folhas se correlacionam com o ambiente físico que essas espécies evoluíram e são importantes para determinar a performance vegetal em condições normais e em condições de estresse (Li *et al.*, 2018). A plasticidade fenotípica é uma estratégia chave que permite aos organismos responder às flutuações ambientais por meio de alterações em caracteres funcionais, sendo especialmente importante em ambientes que apresentam variações sazonais na disponibilidade de recursos essenciais, como a água. Essa plasticidade, no entanto, é limitada, tanto pelo custo associado ao seu desenvolvimento quanto pela inabilidade da planta em desenvolver determinada característica (Murren *et al.*, 2015). É possível, portanto, que os diferentes padrões de deciduidade observados no Cerrado durante a estação seca reflitam tanto uma plasticidade limitada quanto uma estratégia de aquisição de carbono.

Visando caracterizar as estratégias de tolerância à seca das plantas do Cerrado, o presente estudo objetivou avaliar os principais determinantes do potencial hídrico em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado durante as estações seca e chuvosa. As seguintes hipóteses foram testadas: (1) espécies decíduas e sempre verdes apresentam diferentes estratégias de sobrevivência à seca sazonal; (2) espécies sempre-verdes apresentam controle estomático mais rígido, visto que mantêm suas folhas ao longo das estações; (3) espécies decíduas são capazes de manter maiores potenciais hídricos durante a estação seca do que sempre-verdes, visto que perdem parte de suas folhas e cessam a perda de água através da transpiração por esses órgãos.

As informações geradas a partir desse estudo, além de contribuírem para a compreensão da fisiologia das plantas do Cerrado, fornecem evidências que podem

auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para proteção, conservação e manejo de ambientes florestais em um cenário de mudanças climáticas, uma vez que compreender como as plantas se aclimatam para alcançar a tolerância à seca é crucial para prever a vulnerabilidade futura de espécies e biomas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar os principais determinantes do potencial hídrico em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado Brasileiro durante as estações seca e chuvosa.

2.2. Específicos

- Acompanhar a variação de potencial hídrico nas espécies ao longo das estações;
- Verificar se E_{total} , g_{copa} e g_{caule} da planta está relacionado com a manutenção do potencial hídrico durante a seca;
- Identificar o efeito das estações sob a condutividade hidráulica da folha;
- Estabelecer os padrões fotossintéticos das espécies entre estações;
- Estabelecer a capacitância foliar e caulinar ao longo das estações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Brasil (17°48'18.33" de latitude sul e 50°54'0.04" de longitude oeste e 748 m de altitude), durante os meses de maio, agosto e dezembro de 2021. Análises de campo e coletas foram realizadas no Jardim Botânico dessa Instituição, sendo as amostras direcionadas ao Laboratório de Estudos Aplicados em Fisiologia Vegetal (LEAF) para análises posteriores. A fim de compreender os determinantes da manutenção do status hídrico e da aquisição de carbono em plantas decíduas e sempre-verdes, 10 espécies do Domínio Cerrado foram amostradas, sendo 5 espécies decíduas e 5 espécies sempre-verdes. Para cada espécie, 4 plantas adultas (4 repetições) foram amostradas.

As espécies selecionadas abrangem diversidade de famílias (tabela 1), garantindo à pesquisa uma representatividade das espécies coocorrentes no Cerrado. As

coletas e as análises descritas nas próximas seções foram realizadas durante 3 meses, sendo dois meses durante a estação seca (maio e agosto) e um na estação chuvosa (dezembro). O mês de maio foi definido como início da seca, agosto como final (ápice) da seca e dezembro como estação chuvosa. A cada coleta, foram obtidos dados ambientais, incluindo a umidade do solo, umidade do ar, temperatura e precipitação. A umidade do solo foi medida com o sensor portátil de umidade do solo HydroSense II, que possui sondas que são inseridas no solo a aproximadamente 20 centímetros de profundidade, fornecendo o conteúdo volumétrico de água (VWC), numa escala que abrange de 0% (mínimo) a 50% (máximo). Essas leituras foram realizadas sempre em dia de análises e coletas a campo, em pontos aleatórios próximo ao tronco das árvores. As demais variáveis, foram obtidas em dias de coleta, a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui estação convencional instalada em Rio Verde, sob número 83470 (INMET, n.d.)

Tabela 1 – Lista de espécies decíduas e sempre-verdes estudadas.

| Nome Popular | Nome Científico | Família | Fenologia |
|---------------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| Roupala | <i>Roupala montana</i> | Proteaceae | Sempre-verde |
| Baru | <i>Dipteryx alata</i> | Fabaceae | Sempre-verde |
| Guapeva | <i>Pouteria gardneriana</i> | Sapoaceae | Sempre-verde |
| Cagaita | <i>Eugenia dysenterica</i> | Myrtaceae | Sempre-verde |
| Jatobá | <i>Hymenaceae coubaril</i> | Fabaceae | Sempre-verde |
| Pequi | <i>Caryocar brasiliensis</i> | Caryocaraceae | Decídua |
| Lixeira | <i>Curatella americana</i> | Dilleniaceae | Decídua |
| Xylopia | <i>Xylopia aromatica</i> | Annonaceae | Decídua |
| Cega Machado | <i>Physocalymma scaberrimum</i> | Lythraceae | Decídua |
| Cajazinho | <i>Spondias mombin</i> | Anacardiaceae | Decídua |

3.1. Análises de relações hídricas

3.1.1. Potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia

O potencial hídrico foliar foi determinado em folhas individuais com uma bomba de pressão do tipo Sholander, na antemanhã e ao meio-dia (McCulloh et al., 2014). Para determinação do potencial hídrico em caules, enquanto houve folhas, elas foram enroladas em papel alumínio (ainda na árvore) por 2 horas, e em seguida, o potencial hídrico foi avaliado na mesma bomba de pressão utilizada para o potencial

hídrico foliar. No período em que não houve folhas disponíveis nas árvores, o potencial hídrico foi determinado em ramos terminais.

3.1.2 Condutividade hidráulica foliar (K_{leaf})

O K_{leaf} foi determinado utilizando o método do fluxo evaporativo, empregando parâmetros de transpiração (E), $\Psi_{caule-md}$ e $\Psi_{folha-md}$ por meio da seguinte equação:

$$K_{leaf} = (E) / \Psi_{caule-md} - \Psi_{folha-md}$$

3.1.3. Determinação da condutância mínima da copa (g_{copa})

Para determinação do g_{leaf} , folhas intactas foram coletas no entardecer do dia anterior e levados ao laboratório em sacos ziplock, em seguida foram colocadas em placa de reidratação, e passaram a noite. Na manhã do dia seguinte, as folhas foram retiradas da reidratação e tiveram a base de seus pecíolos selados em parafina derretida a fim de permitir a transpiração mínimo apenas através da cutícula, logo foi determinada a área foliar. Posteriormente, as folhas foram colocadas em B.O.D. a 25°C e 40% de umidade do ar, e a cada 20 minutos tiveram seus pesos registrados em balança de precisão a fim de atingir o g_{leaf} . Além disso, a temperatura e umidade do ar foram registradas durante as medições e os dados tabulados e calculados até chegar à linearidade das medições. As pesagens foram interrompidas após a obtenção de pelo menos 3 pontos lineares ($R^2 \geq 0.96$) (Brodrribb *et al.*, 2014). Os dados obtidos foram normalizados a partir da multiplicação da área foliar total pelo g_{leaf} , obtendo assim g_{copa} .

3.1.4. Determinação da condutância mínima do caule (g_{caule})

Para determinar a g_{bark} , segmentos de caule em ramos lignificados foram coletados na antemã e levados ao laboratório em saco ziplock. g_{bark} foi medida seguindo o método de 'perda de massa' usado para medir a condutância mínima da folha (Duursma *et al.*, 2019). As extremidades cortadas foram seladas com parafina para deter a evaporação, a área do caule foi determinada utilizando um paquímetro, obtendo as medidas de comprimento e os dois diâmetros. Em seguida, os fragmentos foram colocados em B.O.D. a 25°C e 40% de umidade, e a cada 20 minutos tiveram seus pesos registrados em balança de precisão, a fim de atingir o g_{bark} (Wolfe, 2020). A temperatura

e umidade foram registradas durante as medições, e os dados foram tabulados e calculados até alcançar a linearidade. O método foi interrompido após a obtenção de pelo menos 3 pontos lineares ($R^2 \geq 0.96$). Os dados obtidos foram normalizados a partir da multiplicação da área total do caule pelo g_{bark} , obtendo assim g_{caule} .

3.1.5. Curvas pressão-volume (curva pv)

No final da tarde do dia anterior às medições, foram coletados cinco ramos aleatórios de cada espécie a serem analisadas. Após coletados, as amostras foram colocadas em placa de reidratação ao longo da madrugada. Na manhã seguinte, com o auxílio de uma navalha, foram feitos cortes basais no pecíolo a fim de remover a folha do caule, e posteriormente foi medida a área foliar. Em seguida, foi medido o potencial hídrico da folha (Ψ_{folha}) com o auxílio de uma bomba de pressão do tipo Sholander e logo após, a folha foi pesada em uma balança de alta precisão. Esse procedimento foi realizado diversas vezes tomando cuidado para medir intervalos de 0,2-0,3 Mpa, até que o Ψ_{folha} atinja -3,0 Mpa. Ao finalizar, a folha foi levada a uma estufa a 70°C por 48h para obtenção da massa seca (Lenz et al., 2006). Os dados obtidos foram derivados para obtenção dos seguintes parâmetros: capacitância no turgor pleno (C_{FT}) e capacitância no ponto de perda de turgor (C_{TLP}).

3.1.5. Capacitância caulinar

A capacitância caulinar foi definida com base no cálculo a seguir (Ziemińska et al., 2020):

$$\text{Capacitância} = CWR_{md} - CRW_{am} / \Psi_{am} - \Psi_{md}$$

Em que CWR_{md} é a liberação de água pela madeira ao meio-dia, CWR_{am} é a liberação de água pela madeira na antemanhã. Ψ_{am} representa o potencial hídrico do caule na antemanhã, e Ψ_{md} representa o potencial hídrico do caule ao meio-dia.

3.2. Análises Fisiológicas

3.2.1. Parâmetros fotossintéticos

Os parâmetros fotossintéticos foram mensurados em todas as plantas entre o período de 08h às 11h da manhã. A taxa de assimilação líquida do carbono (A), a condutância estomática (g_s), a concentração interna de CO_2 (C_i), a concentração externa de CO_2 (C_a) e a taxa transpiratória (E) foram determinadas em sistema aberto, sob luz saturante ($1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e pressão parcial de CO_2 de 40 Pa. Para determinação desses parâmetros foi utilizado um analisador de gases a infravermelho (LI-6800, Li-Cor Inc., Nebraska, EUA), equipado com uma fonte de luz azul/vermelho (modelo LI-6800, LI-COR). A transpiração da copa (E_{copa}) foi determinada a partir de E , e os dados foram multiplicados pela área foliar total aproximada, obtendo assim E_{copa} .

3.3. Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no software R Studio. Foram testados modelos de distribuição dos dados, sendo selecionado, para todas as variáveis, o modelo de distribuição gaussiana, sendo a seleção baseada no critério de informação de Akaike (AIC). Uma vez que os dados não obedeceram ao critério de normalidade, avaliado pelo teste de Shapiro-Wilk, rodou-se um modelo linear misto. Resultados com probabilidade menor ou igual a 5% foram considerados significativos e foram submetidos ao teste *post hoc* Z-normal, sendo o p-valor corrigido pelo método de Tukey. Para os dados que apresentaram normalidade, rodou-se apenas anova e teste de média.

4. RESULTADOS

4.1. Dados Ambientais

Ao longo das coletas e análises de campo, dados ambientais foram coletados. Observa-se que em todos os dados coletados, houve uma diminuição conforme a seca se pronunciava, tanto na temperatura, umidade do ar, umidade do solo e precipitação. A Tabela 2 traz a média dos parâmetros ambientais nos dias nos quais foram realizadas as coletas e, para a precipitação, é apresentada a média mensal.

Tabela 2 – Média dos dados ambientais: temperatura (°C), umidade do ar (%), umidade do solo (VWC %) e precipitação (mm).

| Estação | Temperatura (°C) | Umidade do ar (%) | Umidade do solo (VWC %) | Precipitação (mm) |
|---------------------|------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| Chuvosa | 26,5 | 75,68 | 40,3 | 261 |
| Seca Inicial | 21,58 | 57,68 | 27,8 | 34 |
| Seca Final | 22,05 | 39,9 | 12,8 | 19 |

4.2. Trocas Gasosas

Ambos os grupos, decíduas e sempre-verdes foram afetados pela seca e apresentaram queda em suas taxas de assimilação de carbono (A) à medida que a seca avançou. Entretanto, ao final da seca foi possível observar que as espécies do grupo sempre-verdes foram capazes de manter A maior do que as espécies do grupo decíduas (Fig. 1A). Em resposta à diminuição do conteúdo de água no solo, a condutância estomática (g_s) também diminuiu em ambos os grupos. Entretanto, as espécies do grupo decíduas se sobressaíram no controle do fechamento estomático no estágio mais avançado da seca, apresentando queda em g_s , enquanto as sempre-verdes se mantiveram iguais ao início da seca (Fig. 1B). Em relação a razão entre concentração interna e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a), alterações foram observadas apenas para as espécies decíduas no final da estação seca, as quais apresentaram queda em C_i/C_a , enquanto as sempre-verdes se mantiveram constantes (Fig. 1C). A razão entre A e concentração interna de carbono (A/C_i), que indica a eficiência instantânea de carboxilação da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO), apresentou queda já no início da seca para decíduas e para sempre-verdes e, no caso das decíduas, essa diminuição tornou-se ainda mais acentuada com o avanço da estação seca (Fig. 1D).

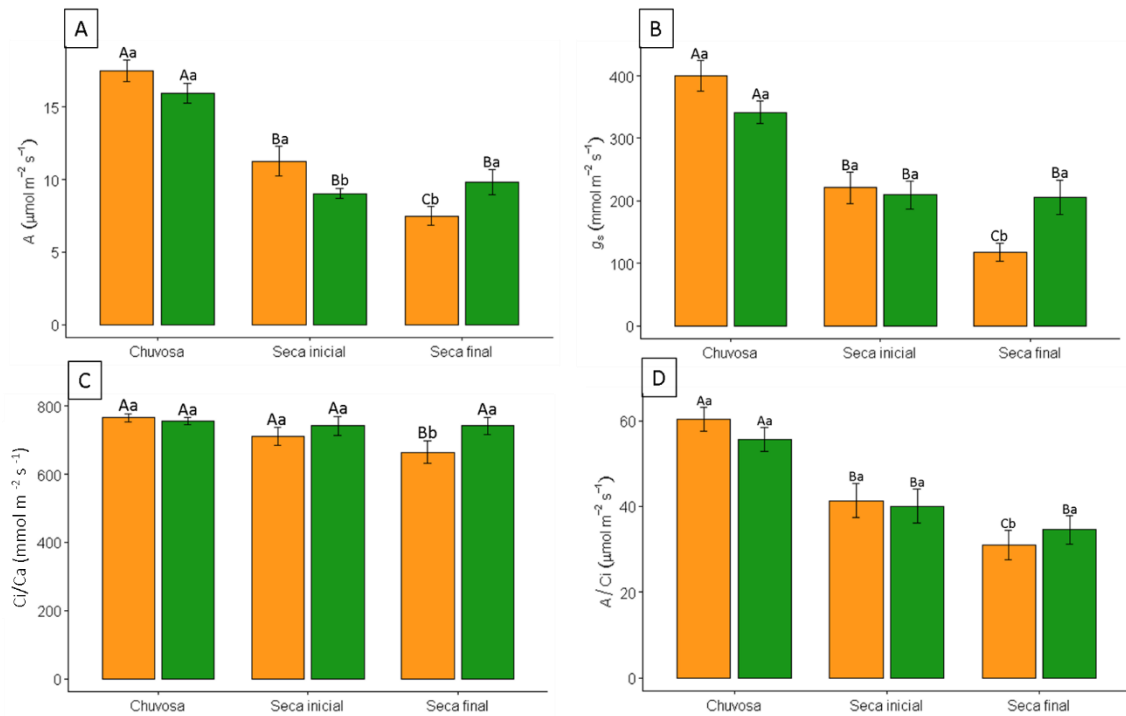


Figura 1 - Taxa de assimilação líquida de carbono (A) (A), condutância estomática (g_s) (B), razão entre concentração interna e atmosférica de carbono (C_i/C_a) (C) e razão entre A e concentração interna de carbono (A/C_i) (D) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.

4.3. Relações Hídricas

Ao serem expostas a seca, foi possível observar que ambos os grupos apresentaram queda na condutância mínima da copa (g_{copa}), não havendo diferença entre eles (Fig. 2A). Padrão similar foi observado para a condutância mínima do caule (g_{caule}), sendo que, nesse caso, a queda já foi observada no início da estação seca, não sendo observada novamente diferença entre os grupos (Fig. 2B). Na estação chuvosa, espécies sempre-verdes apresentaram a transpiração da copa (E_{copa}) significativamente superior às decíduas. Ambos os grupos apresentaram queda significativa nesse parâmetro na estação seca, não havendo diferença entre sempre-verdes e decíduas (Fig. 2C).

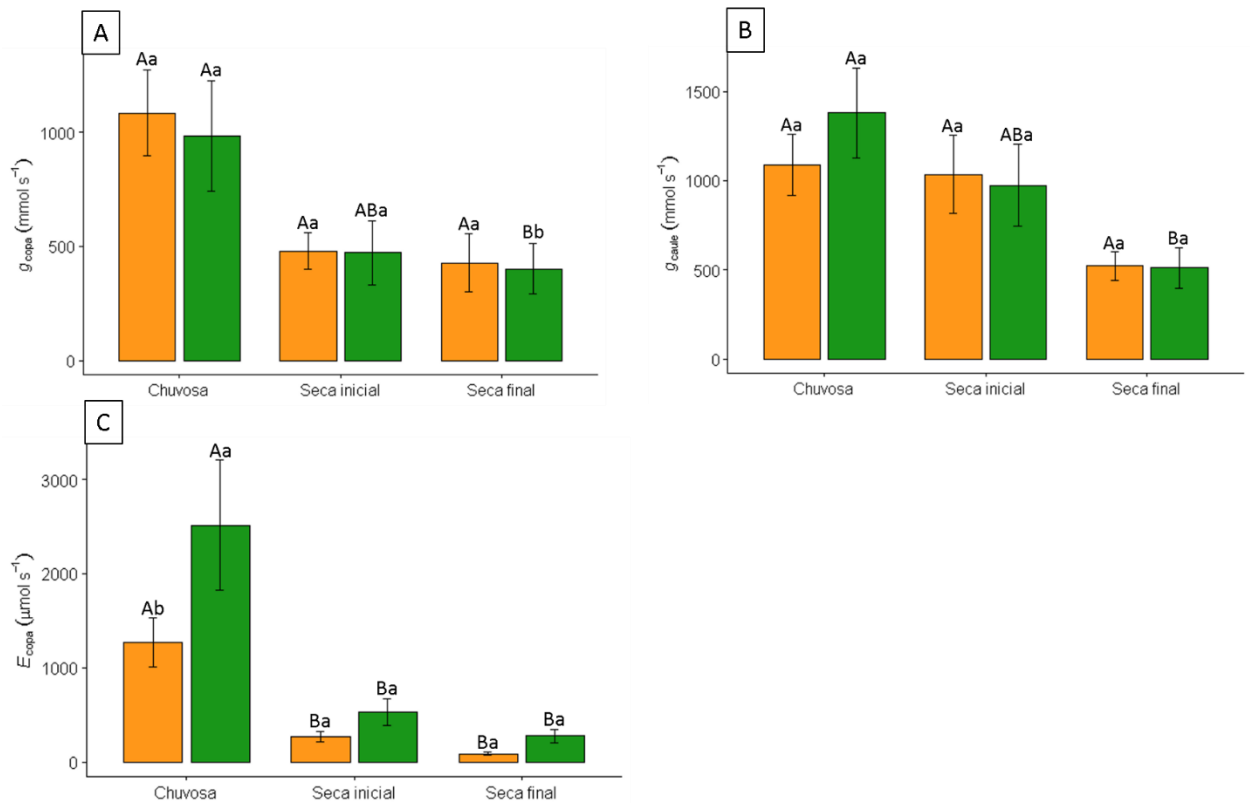


Figura 2 – Condutância mínima da copa (g_{copa}) (A), condutância mínima do caule (g_{caule}) (B) e transpiração da copa (E_{copa}) (C), nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.

A progressão do déficit hídrico afetou sobremaneira o potencial hídrico de folhas e caules das espécies avaliadas, sendo que as plantas decíduas foram capazes de manter potenciais menos negativos em comparação com as espécies sempre-verdes. Com efeito, ainda no início da estação seca, as sempre-verdes já apresentaram diminuições no potencial hídrico na antemãhã para folha (Ψ_{am}), e se intensificou à medida que a seca avançou (Fig. 4A). Em contrapartida, para o potencial hídrico ao meio-dia para folha ($\Psi_{\text{folha-md}}$) e caule ($\Psi_{\text{caule-md}}$), as espécies decíduas sofreram alteração logo que o solo começou a secar, mas foram capazes de manter esses parâmetros em valores mais positivos do que as sempre verdes ao final da estação seca (Fig. 4B e C).

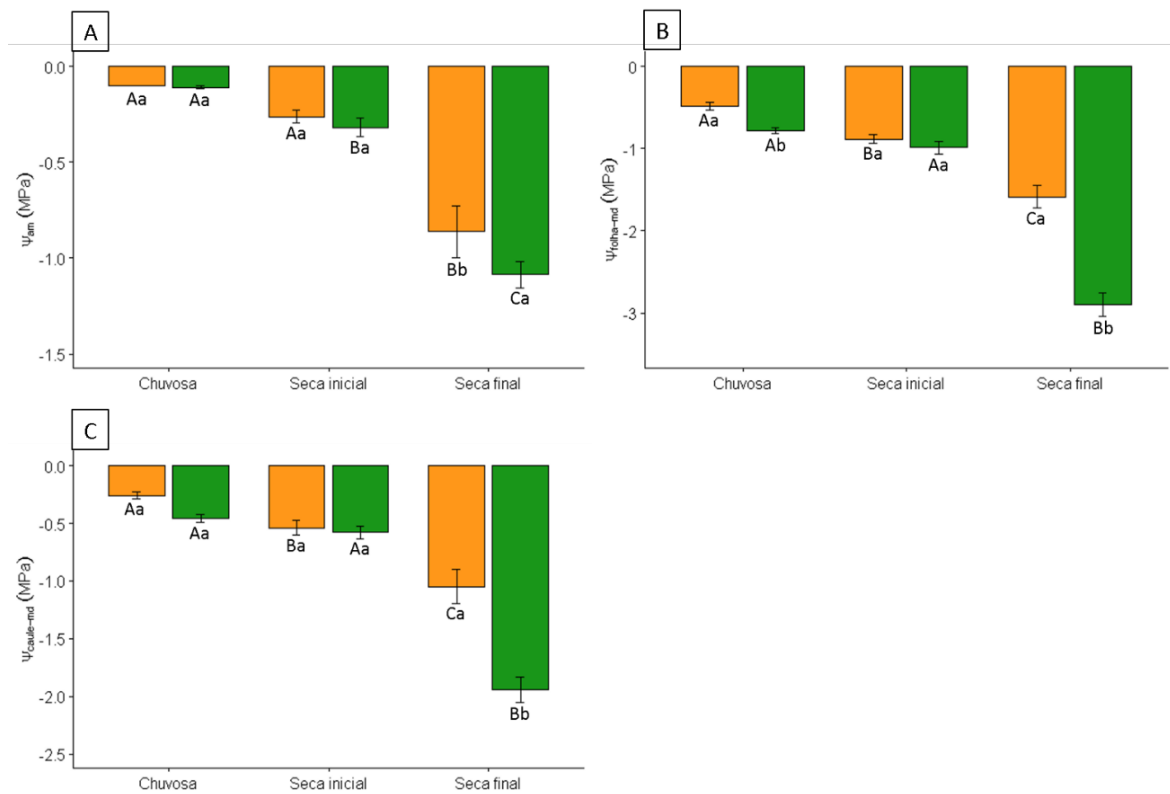


Figura 3 - Potencial hídrico na antemãnhã para folha e caule (Ψ_{am} (MPa)) (A), potencial hídrico ao meio-dia para folha ($\Psi_{folha-md}$) (B) e potencial hídrico ao meio-dia para caule ($\Psi_{caule-md}$) (C) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.

Em relação à condutividade hidráulica da folha (K_{leaf}), observou-se efeito drástico da restrição hídrica em ambos os grupos avaliados. Entretanto, apesar da seca ter se prolongado, as espécies sempre-verdes conseguiram manter esse parâmetro em níveis similares aos observados no início da restrição hídrica, enquanto as decíduas apresentaram queda ainda maior no K_{leaf} com o avanço da seca (Fig. 4). Apesar disso, plantas sempre verdes apresentaram menor K_{leaf} do que plantas decíduas no final da estação seca.

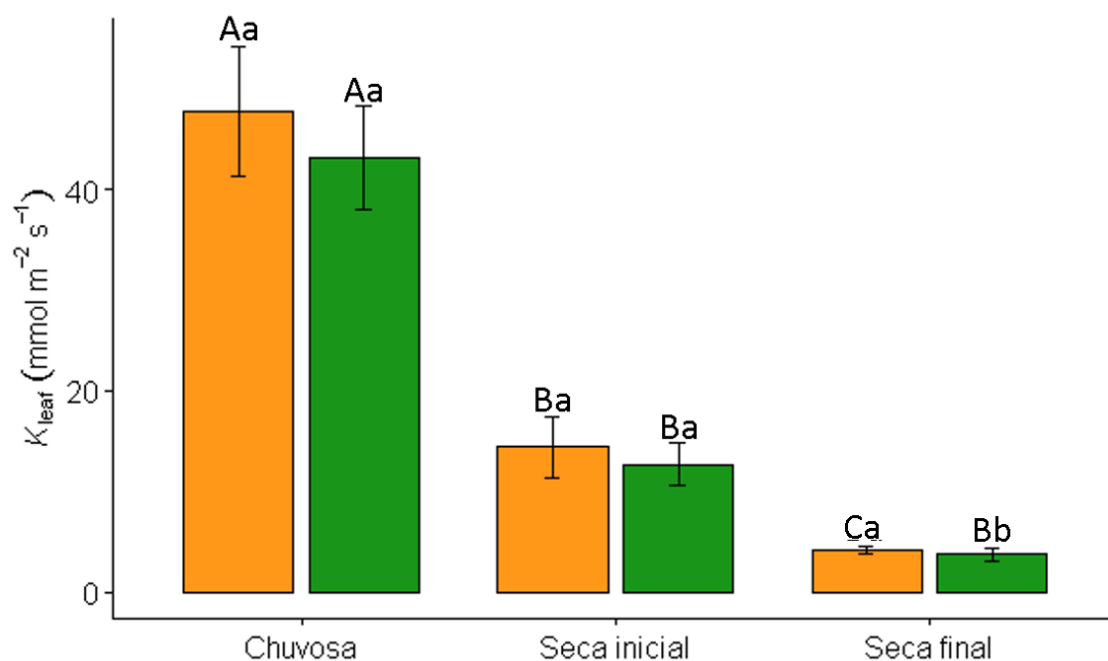


Figura 4 – Condutividade hidráulica da folha (K_{leaf}) nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.

A capacitância em turgor pleno (C_{FT}) foi estável em ambos os grupos em todos os períodos, entretanto, apresentou diferença entre os grupos na estação chuvosa e ao final da seca, no qual as sempre-verdes mantiveram valores inferiores às decíduas em ambos os períodos (Fig. 5A). Em relação a capacitância no ponto de perda de turgor (C_{TLP}), apresentou diferença entre os grupos na seca inicial e ao final da seca. Dentro de um mesmo grupo, no entanto, apenas as sempre-verdes apresentaram queda nesse parâmetro ao longo das estações, ocorrendo diminuição da C_{TLP} no fim da estação seca (Fig. 4B). Para a capacitância caulinar ($C_{caulinar}$), em todas as estações, as espécies sempre-verdes mantiveram-se inferiores às decíduas. E, ao final da seca, espécies sempre-verdes apresentaram queda significativa em $C_{caulinar}$ em relação ao início da seca (Fig. 5C).

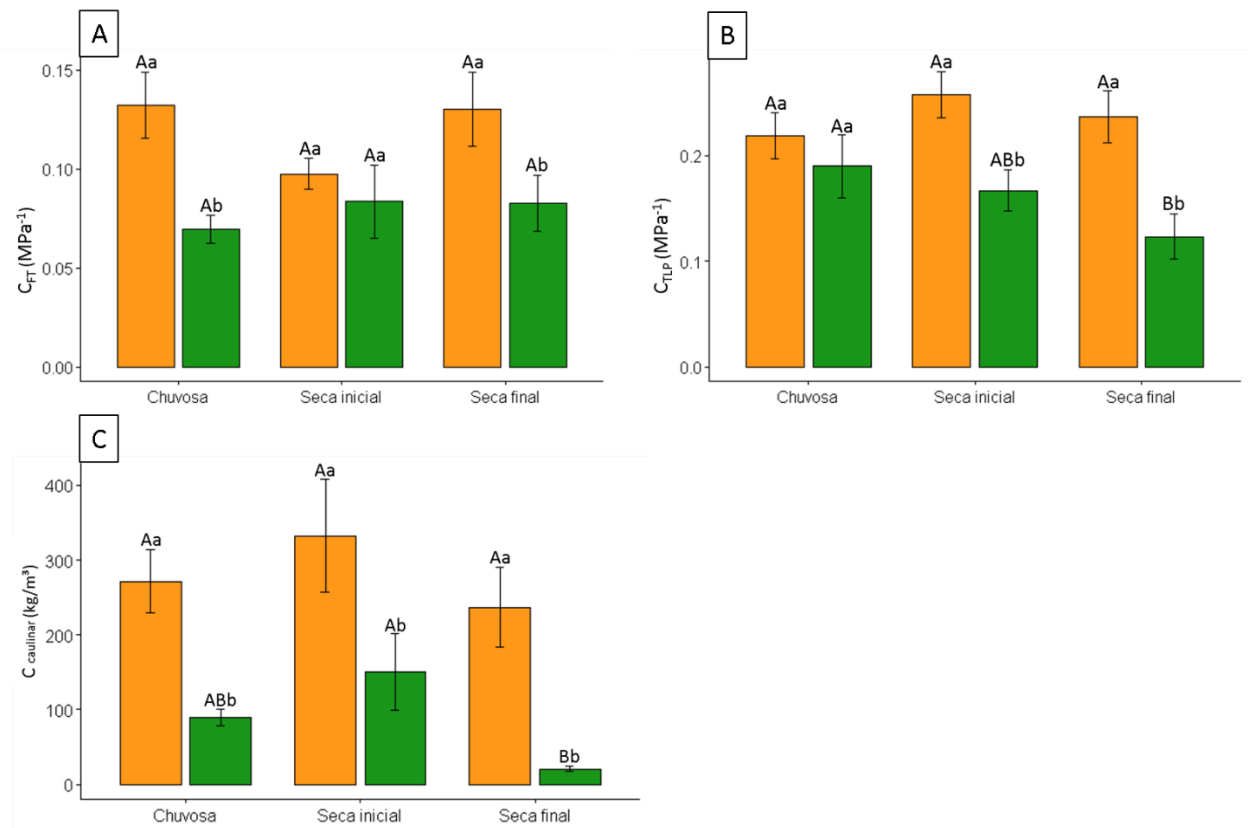


Figura 5 – Capacitância em turgor pleno (C_{FT}) (A), capacitância em ponto de perda de turgor (C_{TLP}) (B), e capacitância caulinar ($C_{caulinar}$) (C), nas espécies do grupo fenológico decíduas (barra alaranjada) e nas espécies do grupo fenológico sempre verdes (barra verde). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas indicam comparação entre os grupos para a mesma estação, enquanto letras maiúsculas indicam comparação de um mesmo grupo entre estações.

5. DISCUSSÃO

A América do Sul está altamente exposta, vulnerável e afetada pelas alterações climáticas (IPCC, 2022), representando risco para a conservação de espécies, principalmente no Cerrado Brasileiro, que já se encontra ameaçado por fatores como queimadas, expansão do agronegócio e baixa proteção legal (Sano *et al.*, 2019). Com efeito, embora as espécies do Cerrado tenham evoluído em ambiente que a seca ocorre de forma sazonal, alterações no regime hídrico podem submeter as espécies a condições para além dos seus limites de tolerância, comprometendo sua sobrevivência e conservação. Neste estudo, foram avaliadas características fisiológicas no âmbito de relações hídricas e trocas gasosas que determinam a conservação de água em 10 espécies coocorrentes do Cerrado, as quais pertencem a grupos fenológicos distintos. Os

resultados observados indicam que grupos distintos de espécies apresentam estratégias diferenciais de tolerância à seca e, portanto, podem ser impactadas diferencialmente em um cenário de mudanças climáticas.

5.2. Efeito da seca sobre a aquisição de carbono pelas plantas

É de amplo conhecimento que a fotossíntese (A) é um mecanismo chave para a sobrevivência das plantas, bem como para a manutenção da produtividade dos ecossistemas (Fernández-Marín et al., 2020). Entretanto, durante esse processo, as plantas enfrentam um *trade-off*, no impasse que, ao mesmo tempo que realizam a fotossíntese e garantem sua energia, perdem água através dos estômatos (Machado et al., 2021; Xiong et al., 2017; Xiong and Nadal, 2020). Em cenário propício, com disponibilidade de água e boas condições ambientais esse processo é eficiente e sem consequências danosas. Entretanto, em condições de escassez hídrica, isso pode comprometer a sobrevivência das plantas. Em ambos os grupos fenológicos estudados, sempre-verdes e decíduas, foi observado queda na fotossíntese à medida que a disponibilidade de água no solo diminuiu (Tabela 2, Fig. 1A). Entretanto, pode-se observar que ao final da seca, as decíduas apresentaram maior redução na fixação de carbono do que as sempre-verdes, e pode ser explicado, ainda que parcialmente, pela diminuição mais acentuada na condutância estomática (g_s) apresentada pelas decíduas (Fig. 2A).

Em adição à limitação difusiva imposta pela diminuição em g_s , o processo fotossintético das espécies avaliadas aparentemente também enfrentou limitações não estomáticas, conforme evidenciado pela manutenção ou ligeira queda de C_i/C_a (Fig. 1C) (Flexas, 2002). Em concordância com esses dados, a diminuição em A/C_i (Fig. 1D) demonstra menor eficiência instantânea de carboxilação da RuBisCO, e pode ter sido ocasionado por aumentos da fotorrespiração (Scalon et al., 2020). Com efeito, a diminuição de g_s diminui o fluxo de CO_2 para o mesófilo foliar podendo reduzir a concentração de CO_2 junto a RuBisCO, e por isso, a fotorrespiração tende a aumentar, visto que a enzima reduz sua atividade carboxilase e aumenta a de oxigenase (Scalon et al., 2020). Em adição, é possível que, nas decíduas, as folhas já tivessem iniciado o processo de senescência. De fato, embora nenhum sinal visível de senescência pudesse ser detectado nas folhas analisadas (dados não demonstrados) no final de agosto muitas espécies decíduas perderam totalmente suas folhas e durante o início do processo de

senescência ocorre tanto a diminuição na síntese de novas unidades da RuBisCO (Imai *et al.*, 2008), quanto o aumento na sua degradação (Ono *et al.*, 2013).

Surpreendentemente, a transpiração da copa (E_{copa}) não alterou entre os grupos de plantas na estação seca, embora fosse bem maior nas espécies decíduas durante a estação chuvosa (Fig. 2C). É esperado que as sempre-verdes tenham um controle estomático mais rigoroso, visto que as mesmas mantêm suas folhas durante a seca (de Souza *et al.*, 2020). Esse comportamento, no entanto, não foi observado para as plantas do Cerrado. As espécies decíduas apresentaram maior controle estomático, mantendo menores valores de g_s no final da seca o que, associado com a queda foliar, resultou em intensa queda na transpiração da copa, quando comparado com aquela apresentada na estação chuvosa. Apesar disso, esse maior controle estomático não refletiu em menor perda de água pela copa quando comparado com as espécies sempre-verdes. É possível, portanto, que embora não tenham apresentado queda foliar tão intensa, as plantas sempre-verdes tenham alterado o tamanho das folhas produzidas durante a estação seca, alterando a área foliar específica, e resultaria em queda na transpiração (Yates *et al.*, 2010).

5.3. Conservação de água: comportamento diferencial entre plantas decíduas e sempre-verdes durante a estação seca

Mesmo após o fechamento estomático, as plantas continuam perdendo água para a atmosfera, por duas importantes estruturas que frequentemente são negligenciadas nos estudos de ecofisiologia vegetal – a transpiração residual das folhas (g_{copa}) (Machado *et al.*, 2021) e a condutância da casca ao vapor d'água (g_{caule}) (Wolfe, 2020). No presente estudo foi possível observar que a plasticidade nos parâmetros de g_{copa} e g_{caule} ocorreram para ambos os grupos de espécies vegetais, enfatizando a importância desses processos para a resposta das plantas do Cerrado à seca sazonal. Dentre os fatores que determinam g_{copa} , os mais relevantes são a densidade estomática, o tamanho do estômato e a composição da cutícula. Estômatos maiores, com vasta distribuição e cutícula menos hidrofóbica, contribuem para maior perda de água por g_{copa} (Machado *et al.*, 2021). Os principais determinantes de g_{caule} , por sua vez, são as lenticelas. Estudos apontam que as lenticelas apresentam plasticidade, e por isso, conseguem alterar suas propriedades e estruturas, sendo esse o principal local de perda de água pela casca, indicando que elas

podem ser mais permeáveis ao vapor d'água durante a estação chuvosa, apontando certa plasticidade nessas estruturas (Groh *et al.*, 2002; Lenzian, 2006). Já foi demonstrado que porções da periderme com lenticelas são até 39 vezes mais permeáveis à água do que porções da mesma periderme sem lenticelas (Groh *et al.*, 2002). Ao contrário dos estômatos, no entanto, as lenticelas não estão sob controle regulatório. Mesmo assim, diversos registros apontaram para mudanças nas propriedades das lenticelas entre as estações, mostrando que elas podem ser mais permeáveis ao vapor d'água durante a estação chuvosa, evidenciando certo grau de plasticidade nessas estruturas (Groh *et al.*, 2002; Lenzian, 2006). As plantas apresentam alta plasticidade em suas cascas, essa plasticidade ocorre pela modificação estrutural, podendo alterar, por exemplo, as estruturas das lenticelas, fazendo-as mais ou menos permeáveis, sendo capaz até de fecha-las (Groh *et al.*, 2002; Lenzian, 2006).

O potencial hídrico é um reflexo do grau de hidratação dos tecidos vegetais. No presente estudo foi possível constatar que as plantas decíduas foram mais eficazes para manter essa variável em níveis mais próximos dos observados na estação chuvosa, em comparação com as espécies sempre verdes, sobretudo ao final da estação seca (Fig. 3A – C). Parâmetros de conservação de água, no entanto, não são capazes de explicar essa diferença entre os grupos, já que não houve diferença entre E_{total} , g_{copa} e g_{caule} na estação seca. De forma similar, o padrão de deciduidade também não explica as variações no potencial hídrico, já que a transpiração da copa se manteve a mesma entre os grupos. Dois outros parâmetros, portanto, podem estar envolvidos na manutenção do potencial hídrico nas decíduas: capacidade de absorver e transportar água do solo; e capacidade de liberar água armazenada nos tecidos vegetais.

Ambos os grupos tiveram queda brusca na condutividade hidráulica da folha (K_{leaf}), uma vez que a disponibilidade hídrica reduziu para todas (Fig. 4). A condutividade hidráulica da folha é importante para auxiliar a manter os estômatos abertos, visto que consiste na eficiência do transporte de água através da folha (Xiong *et al.*, 2017). Embora as espécies sempre-verdes tenham mantido seus estômatos abertos por mais tempo, as espécies decíduas apresentaram maior conservação do K_{leaf} . K_{leaf} apresenta uma medida da eficiência do transporte de água nas folhas, e depende das propriedades do xilema, bem como densidade de venação e disponibilidade hídrica (Laur and Hacke, 2014). É normal que plantas expostas a baixa disponibilidade hídrica, apresente redução em K_{leaf} , tanto pela diminuição do potencial hídrico do solo, quanto pela possível ocorrência de embolismo nos vasos condutores do xilema (Laur and

Hacke, 2014; Romero *et al.*, 2017). Plantas que apresentam K_{leaf} mais alto são capazes de manter maior hidratação nos tecidos (Brodribb *et al.*, 2007). É possível, portanto, que o K_{leaf} observado nas decíduas tenha contribuído para manutenção do maior potencial hídrico foliar, embora a diferença nesse parâmetro tenha sido muito pequena e, sozinha, não explique toda a variação no potencial hídrico. Em adição, é possível que espécies decíduas apresentem um sistema radicular mais extenso. Além das diferenças nos mecanismos que envolvem perda de água, como g_s , g_{copa} , g_{caule} e E_{copa} , a profundidade das raízes pode variar entre espécies com distintos hábitos foliares, o que resulta em diferenças nos padrões de relações hídricas (Vieira *et al.*, 2021), e consequentemente na manutenção do potencial hídrico. Espécies com sistemas radiculares mais profundos, conseguem absorver água por mais tempo, uma vez que o solo tende a secar da camada superior para a mais inferior (Cianciaruso *et al.*, 2013; García-Núñez *et al.*, 2019).

Alterações também foram observadas em relação à capacitância dos grupos de espécies, tanto na folha quanto no caule (Fig. 5A, B e C). A capacitância consiste na quantidade de água que pode ser liberada por determinada mudança de potencial hídrico (Sperry *et al.*, 2008), e está atrelada ao status hídrico das plantas. Ou seja, a capacitância indica a quantidade de água armazenada que uma planta é capaz de liberar para seus tecidos (Zhang *et al.*, 2013). Esse processo está envolvido na regulação do status hídrico (Matheny *et al.*, 2015; Xiong *et al.*, 2017), retardando a diminuição do potencial hídrico (Xiong *et al.*, 2017) e auxiliando na tolerância à dessecação (HÖLTTÄ *et al.*, 2009). Em relação à capacitância da folha, observou-se tanto C_{FT} quanto C_{TLP} foram superiores nas espécies decíduas ao longo das estações, sendo que C_{FT} das espécies sempre-verdes foram consideravelmente menor que as decíduas ao final da seca (Fig. 5AB). O mesmo padrão ocorreu em C_{TLP} , em que as espécies sempre-verdes foram substancialmente menores que as decíduas desde a seca inicial. C_{FT} desempenha papel importante atenuando o potencial hídrico da folha mediante alterações no status hídrico (Sack *et al.*, 2003). A liberação e o armazenamento de água estão fortemente associados, C_{TLP} auxilia no armazenamento de água após o fechamento estomático da folha desidratada, pois define o conteúdo de água armazenada que pode ser perdida antes da dessecação (Bartlett *et al.*, 2012). Para C_{caulinar} , ao longo de todas as estações observou que as espécies decíduas mantiveram significativamente superior as sempre-verdes, essa diferença intensificou de acordo com que a seca foi tornando mais severa. C_{caulinar} apresenta forte contribuição para o equilíbrio do balanço hídrico diurno e sazonal de árvores do Cerrado (Choat *et al.*, 2005), amenizando as alterações de potencial hídrico

e atrasando seus efeitos (Scholz *et al.*, 2007). Em estudo semelhante, também foi relatado que espécies decíduas apresentaram capacitância superior as sempre-verdes (Choat *et al.*, 2005). Foi possível identificar que espécies decíduas, que apresentaram capacitância superior as sempre-verdes tanto para folha, quanto para caule (Fig. 5), foram capazes de manter seu potencial hídrico menos negativo (Fig. 3 A, B e C), sendo capazes de tamponar alterações de potencial hídrico. Dessa forma, a capacidade de liberar água à medida que a seca avança aparentemente foi o principal determinante da manutenção do potencial hídrico nas espécies decíduas.

6. CONCLUSÃO

A manutenção do potencial hídrico é crucial para preservar a integridade do sistema vascular em condições de restrição hídrica. Espécies sempre-verdes e decíduas apresentaram diferentes estratégias de sobrevivência à seca sazonal, e refletiu em capacidade diferencial para a manutenção do potencial hídrico. A estratégia das decíduas consistiu em diminuir g_s , e com isso, diminuíram fotossíntese. Ainda, demonstraram capacidade no transporte de água e liberação de água armazenada nos tecidos vegetais, mantendo maior K_{leaf} , C_{FT} , C_{TLP} e $C_{caulinar}$. Por outro lado, as sempre-verdes mantiveram g_s , e com isso, mantiveram a fotossíntese. Contudo, ambos os grupos apresentaram queda em parâmetros de perda de água (E_{copa} , g_{copa} e g_{caule}), demonstrando importante resposta para a seca sazonal. Dessa forma, enquanto sempre-verdes priorizaram a manutenção do processo fotossintético e investiram em estratégias não estomáticas para diminuir a perda de água, as plantas decíduas investiram em processos relacionados ao transporte e liberação de água, em detrimento do processo fotossintético. É possível que, ao longo da estação chuvosa, as plantas decíduas tenham investido em armazenamento de carboidratos, permitindo que a queda na fotossíntese durante a estação seca não comprometesse a sobrevivência das espécies. Modelos de mudanças climáticas indicam fortes tendências para possíveis reduções de precipitação e temperaturas mais altas, diversos estudos têm associado à mortalidade florestal a secas severa. Com isso, apesar das estratégias das sempre-verdes serem eficientes, é provável que as espécies decíduas sejam menos afetadas, uma vez que conseguem manter seu potencial hídrico por mais tempo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, J.F. de, Haridasan, M., 2007. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Rev. Bras. Botânica* 30, 533–542. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000300017>
- Bartlett, M.K., Scoffoni, C., Sack, L., 2012. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. *Ecol. Lett.* 15, 393–405. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01751.x>
- Blackman, C.J., Pfautsch, S., Choat, B., Delzon, S., Gleason, S.M., Duursma, R.A., 2016. Toward an index of desiccation time to tree mortality under drought. *Plant. Cell Environ.* 39, 2342–2345. <https://doi.org/10.1111/pce.12758>
- Brodribb, T.J., Feild, T.S., Jordan, G.J., 2007. Leaf Maximum Photosynthetic Rate and Venation Are Linked by Hydraulics. *Plant Physiol.* 144, 1890–1898. <https://doi.org/10.1104/pp.107.101352>
- Brodribb, T.J., McAdam, S.A.M., Jordan, G.J., Martins, S.C.V., 2014. Conifer species adapt to low-rainfall climates by following one of two divergent pathways. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 14489–14493. <https://doi.org/10.1073/pnas.1407930111>
- Bryant, C., Fuenzalida, T.I., Brothers, N., Mencuccini, M., Sack, L., Binks, O., Ball, M.C., 2021. Shifting access to pools of shoot water sustains gas exchange and increases stem hydraulic safety during seasonal atmospheric drought. *Plant. Cell Environ.* pce.14080. <https://doi.org/10.1111/pce.14080>
- Choat, B., Ball, M.C., Luly, J.G., Holtum, J.A.M., 2005. Hydraulic architecture of deciduous and evergreen dry rainforest tree species from north-eastern Australia. *Trees* 19, 305–311. <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0392-1>
- Choat, B., Brodribb, T.J., Brodersen, C.R., Duursma, R.A., López, R., Medlyn, B.E., 2018. Triggers of tree mortality under drought. *Nature* 558, 531–539. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>
- Cianciaruso, M. V., Silva, I.A., Manica, L.T., Souza, J.P., 2013. Leaf habit does not predict leaf functional traits in cerrado woody species. *Basic Appl. Ecol.* 14, 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.05.002>
- CLIMATEMPO, 2021. Climatologia em Rio Verde - Goiás [WWW Document]. URL <https://www.climatepo.com.br/climatologia/90/rioverde-go>
- de Souza, B.C., Carvalho, E.C.D., Oliveira, R.S., de Araujo, F.S., de Lima, A.L.A., Rodal, M.J.N., 2020. Drought response strategies of deciduous and evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. *Oecologia* 194, 221–236. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04760-3>
- Drake, J.E., Tjoelker, M.G., Aspinwall, M.J., Reich, P.B., Barton, C.V.M., Medlyn, B.E., Duursma, R.A., 2016. Does physiological acclimation to climate warming stabilize the ratio of canopy respiration to photosynthesis? *New Phytol.* 211, 850–863. <https://doi.org/10.1111/nph.13978>
- Duursma, R.A., Blackman, C.J., López, R., Martin-StPaul, N.K., Cochard, H., Medlyn, B.E., 2019. On the minimum leaf conductance: its role in models of plant water use, and ecological and environmental controls. *New Phytol.* 221, 693–705. <https://doi.org/10.1111/nph.15395>

- Fajardo, A., Piper, F.I., Hoch, G., 2013. Similar variation in carbon storage between deciduous and evergreen treeline species across elevational gradients. *Ann. Bot.* 112, 623–631. <https://doi.org/10.1093/aob/mct127>
- Fernández-Marín, B., Gulías, J., Figueroa, C.M., Iñiguez, C., Clemente-Moreno, M.J., Nunes-Nesi, A., Fernie, A.R., Cavieres, L.A., Bravo, L.A., García-Plazaola, J.I., Gago, J., 2020. How do vascular plants perform photosynthesis in extreme environments? An integrative ecophysiological and biochemical story. *Plant J.* 101, 979–1000. <https://doi.org/10.1111/tpj.14694>
- FLEXAS, J., 2002. Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited. *Ann. Bot.* 89, 183–189. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>
- Fu, P.-L., Jiang, Y.-J., Wang, A.-Y., Brodribb, T.J., Zhang, J.-L., Zhu, S.-D., Cao, K.-F., 2012. Stem hydraulic traits and leaf water-stress tolerance are co-ordinated with the leaf phenology of angiosperm trees in an Asian tropical dry karst forest. *Ann. Bot.* 110, 189–199. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs092>
- García-Núñez, C., Pirela, M., Fariñas, M., Azócar, A., 2019. Seasonal patterns of gas exchange and water relations in juveniles of two Neotropical savanna tree species differing in leaf phenology. *Acta Oecologica* 95, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.01.005>
- Groh, B., Hübner, C., Lenzian, K., 2002. Water and oxygen permeance of phellements isolated from trees: the role of waxes and lenticels. *Planta* 215, 794–801. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0811-8>
- HÖLTTÄ, T., COCHARD, H., NIKINMAA, E., MENCUCCINI, M., 2009. Capacitive effect of cavitation in xylem conduits: results from a dynamic model. *Plant. Cell Environ.* 32, 10–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01894.x>
- Imai, K., Suzuki, Y., Mae, T., Makino, A., 2008. Changes in the Synthesis of Rubisco in Rice Leaves in Relation to Senescence and N Influx. *Ann. Bot.* 101, 135–144. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm270>
- INMET, n.d. Instituto Nacional de Meteorologia [WWW Document]. 2021. URL <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/>
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel Clim. Chang. 6, 3676.
- IPCC, 2020. *Climate Change and Land*. Geneva.
- Laur, J., Hacke, U.G., 2014. The Role of Water Channel Proteins in Facilitating Recovery of Leaf Hydraulic Conductance from Water Stress in *Populus trichocarpa*. *PLoS One* 9, e111751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111751>
- Lenzian, K.J., 2006. Survival strategies of plants during secondary growth: barrier properties of phellements and lenticels towards water, oxygen, and carbon dioxide. *J. Exp. Bot.* 57, 2535–2546. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl014>
- Li, X., Blackman, C.J., Choat, B., Duursma, R.A., Rymer, P.D., Medlyn, B.E., Tissue, D.T., 2018. Tree hydraulic traits are coordinated and strongly linked to climate-of-origin across a rainfall gradient. *Plant. Cell Environ.* 41, 646–660. <https://doi.org/10.1111/pce.13129>
- Loram-Lourenço, L., Farnese, F.S., Alves, R.D.F.B., Dario, B.M.M., Martins, A.C.,

- Aun, M.A., Batista, P.F., Silva, F.G., Cochard, H., Franco, A.C., Menezes-Silva, P.E., 2022. Variations in bark structural properties affect both water loss and carbon economics in neotropical savanna trees in the Cerrado region of Brazil. *J. Ecol.* <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13908>
- Lucena, I.C. de, Leite, M.B., Matos, D.M. da S., 2015. A DECIDUIDADE FOLIAR INDICA A VULNERABILIDADE DE ESPÉCIES LENHOSAS AO FOGO. *Rev. Árvore* 39, 59–68. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100006>
- Machado, R., Loram-Lourenço, L., Farnese, F.S., Alves, R.D.F.B., Sousa, L.F., Silva, F.G., Filho, S.C.V., Torres-Ruiz, J.M., Cochard, H., Menezes-Silva, P.E., 2021. Where do leaf water leaks come from? Trade-offs underlying the variability in minimum conductance across tropical savanna species with contrasting growth strategies. *New Phytol.* 229, 1415–1430. <https://doi.org/10.1111/nph.16941>
- Martinez-Vilalta, J., Anderegg, W.R.L., Sapes, G., Sala, A., 2019. Greater focus on water pools may improve our ability to understand and anticipate drought-induced mortality in plants. *New Phytol.* 223, 22–32. <https://doi.org/10.1111/nph.15644>
- Matheny, A.M., Bohrer, G., Garrity, S.R., Morin, T.H., Howard, C.J., Vogel, C.S., 2015. Observations of stem water storage in trees of opposing hydraulic strategies. *Ecosphere* 6, art165. <https://doi.org/10.1890/ES15-00170.1>
- McCulloh, K.A., Jhonson, D.M., Meinzer, F.C., Woodruff, D.R., 2014. The dynamic pipeline: hydraulic capacitance and xylem hydraulic safety in four tall conifer species. *Plant. Cell Environ.* 37, 1171–1183. <https://doi.org/10.1111/pce.12225>
- McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D.G., Yezzer, E.A., 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.* 178, 719–739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x>
- Mencuccini, M., Minunno, F., Salmon, Y., Martínez-Vilalta, J., Hölttä, T., 2015. Coordination of physiological traits involved in drought-induced mortality of woody plants. *New Phytol.* 208, 396–409. <https://doi.org/10.1111/nph.13461>
- Menezes-Silva, P.E., Loram-Lourenço, L., Alves, R.D.F.B., Sousa, L.F., Almeida, S.E. da S., Farnese, F.S., 2019. Different ways to die in a changing world: Consequences of climate change for tree species performance and survival through an ecophysiological perspective. *Ecol. Evol.* 9, 11979–11999. <https://doi.org/10.1002/ece3.5663>
- Mitchell, P., O’Grady, A., 2015. Adaptation of Leaf Water Relations to Climatic and Habitat Water Availability. *Forests* 6, 2281–2295. <https://doi.org/10.3390/f6072281>
- Murren, C.J., Auld, J.R., Callahan, H., Ghalambor, C.K., Handelsman, C.A., Heskell, M.A., Kingsolver, J.G., Maclean, H.J., Masel, J., Maughan, H., Pfennig, D.W., Relyea, R.A., Seiter, S., Snell-Rood, E., Steiner, U.K., Schlichting, C.D., 2015. Constraints on the evolution of phenotypic plasticity: limits and costs of phenotype and plasticity. *Heredity (Edinb.)* 115, 293–301. <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.8>
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

- Nakamura, A., Kitching, R.L., Cao, M., Creedy, T.J., Fayle, T.M., Freiberg, M., Hewitt, C.N., Itioka, T., Koh, L.P., Ma, K., Malhi, Y., Mitchell, A., Novotny, V., Ozanne, C.M.P., Song, L., Wang, H., Ashton, L.A., 2017. Forests and Their Canopies : Achievements and Horizons in Canopy Science. *Trends Ecol. Evol.* 32, 438–451. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.02.020>
- ONO, Y., WADA, S., IZUMI, M., MAKINO, A., ISHIDA, H., 2013. Evidence for contribution of autophagy to Rubisco degradation during leaf senescence in *Arabidopsis thaliana*. *Plant. Cell Environ.* 36, 1147–1159. <https://doi.org/10.1111/pce.12049>
- PBMC, B.C. das M.C., 2014. Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas.
- Romero, P., Botía, P., Keller, M., 2017. Hydraulics and gas exchange recover more rapidly from severe drought stress in small pot-grown grapevines than in field-grown plants. *J. Plant Physiol.* 216, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.05.008>
- Sack, L., COWAN, P.D., JAIKUMAR, N., HOLBROOK, N.M., 2003. The ‘hydrology’ of leaves: co-ordination of structure and function in temperate woody species. *Plant. Cell Environ.* 26, 1343–1356. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2003.01058.x>
- Sano, E.E., Rodrigues, A.A., Martins, E.S., Bettioli, G.M., Bustamante, M.M.C., Bezerra, A.S., Couto, A.F., Vasconcelos, V., Schüler, J., Bolfe, E.L., 2019. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *J. Environ. Manage.* 232, 818–828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>
- Scalon, S. de P.Q., Kodama, F.M., Dresch, D.M., Pereira, Z.V., Mussury, R.M., Scalon, L.Q., 2020. Gas Exchange in Caryocar Brasiliense Cambess Seedlings in Water Deficit Conditions. *Floresta e Ambient.* 27. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.052017>
- Scholz, F.G., BUCCI, S.J., GOLDSTEIN, G., MEINZER, F.C., FRANCO, A.C., MIRALLES-WILHELM, F., 2007. Biophysical properties and functional significance of stem water storage tissues in Neotropical savanna trees. *Plant. Cell Environ.* 30, 236–248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01623.x>
- Scholz, F.G., Phillips, N.G., Bucci, S.J., Meinzer, F.C., Goldstein, G., 2011. Hydraulic Capacitance: Biophysics and Functional Significance of Internal Water Sources in Relation to Tree Size. pp. 341–361. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_13
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A., Reyer, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7, 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Silvério, D.V., Lenza, E., 2010. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotrop.* 10, 205–216. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000300024>
- Sperry, J.S., MEINZER, F.C., McCULLOH, K.A., 2008. Safety and efficiency conflicts in hydraulic architecture: scaling from tissues to trees. *Plant. Cell Environ.* 31,

- 632–645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01765.x>
- Strassburg, B.B.N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A.E., Oliveira Filho, F.J.B., De Scaramuzza, C.A.M., Scarano, F.R., Soares-Filho, B., Balmford, A., 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat. Ecol. Evol.* 1. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Vieira, E.A., Silva, M. das G., dos Santos Gomes, A., Urakawa, A.H., Barros, A.L., 2021. Carbon-nitrogen metabolism and oxidative stress in young plants of *Dipteryx alata* Vog. subjected to seasonal water regimes in the Cerrado. *Environ. Exp. Bot.* 183, 104361. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104361>
- Wolfe, B.T., 2020. Bark water vapour conductance is associated with drought performance in tropical trees. *Biol. Lett.* 16, 20200263. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0263>
- Wolfe, B.T., Sperry, J.S., Kursar, T.A., 2016. Does leaf shedding protect stems from cavitation during seasonal droughts? A test of the hydraulic fuse hypothesis. *New Phytol.* 212, 1007–1018. <https://doi.org/10.1111/nph.14087>
- Xiong, D., Flexas, J., Yu, T., Peng, S., Huang, J., 2017. Leaf anatomy mediates coordination of leaf hydraulic conductance and mesophyll conductance to CO_2 in *Oryza*. *New Phytol.* 213, 572–583. <https://doi.org/10.1111/nph.14186>
- Xiong, D., Nadal, M., 2020. Linking water relations and hydraulics with photosynthesis. *Plant J.* 101, 800–815. <https://doi.org/10.1111/tpj.14595>
- Yates, M.J., Anthony Verboom, G., Rebelo, A.G., Cramer, M.D., 2010. Ecophysiological significance of leaf size variation in Proteaceae from the Cape Floristic Region. *Funct. Ecol.* 24, 485–492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01678.x>
- Zeppel, M.J.B., Adams, H.D., Anderegg, W.R.L., 2011. Mechanistic causes of tree drought mortality: recent results, unresolved questions and future research needs. *New Phytol.* 192, 800–803. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03960.x>
- Zhang, Y.O.-J., MEINZER, F.C., QI, J.-H., GOLDSTEIN, G., CAO, K.-F., 2013. Midday stomatal conductance is more related to stem rather than leaf water status in subtropical deciduous and evergreen broadleaf trees. *Plant. Cell Environ.* 36, 149–158. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02563.x>
- Ziemińska, K., Rosa, E., Gleason, S.M., Holbrook, N.M., 2020. Wood day capacitance is related to water content, wood density, and anatomy across 30 temperate tree species. *Plant. Cell Environ.* 43, 3048–3067. <https://doi.org/10.1111/pce.13891>