

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**ESTRATÉGIAS DIFERENCIAIS DE RESPOSTA À SECA
SAZONAL EM ESPÉCIES DECÍCUAS E SEMPRE-VERDES DO
CERRADO: UMA ANÁLISE DOS MECANISMOS DE
SEGURANÇA HIDRÁULICA E ESTOQUE DE CARBONO**

VALDEIR MARTINS ALVES FILHO

Rio Verde – GO

2023

Valdeir Martins Alves Filho

**ESTRATÉGIAS DIFERENCIAIS DE RESPOSTA À SECA SAZONAL
EM ESPÉCIES DECÍCUAS E SEMPRE-VERDES DO CERRADO: UMA
ANÁLISE DOS MECANISMOS DE SEGURANÇA HIDRÁULICA E
ESTOQUE DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde,
como requisito parcial para obtenção do grau de
Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientadora: *Fernanda dos Santos Farnese*

Coorientadores: *Paulo Eduardo de Menezes Silva*

Priscila Ferreira Batista

Rio Verde – GO

Dezembro, 2023

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

AF481e Alves Filho, Valdeir Martins
Estratégias diferenciais de resposta à seca sazonal em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado: uma análise dos mecanismos de segurança hidráulica e estoque de carbono / Valdeir Martins Alves Filho; orientadora Fernanda dos Santos Farnese; co-orientador Paulo Eduardo de Menezes Silva. -- Rio Verde, 2023.
17 p.

TCC (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

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

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376



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

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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)

- Tese
- Dissertação
- Monografia – Especialização
- Artigo - Especialização
- TCC - Graduação
- Artigo Científico
- Capítulo de Livro
- Livro
- Trabalho Apresentado em Evento
- Produção técnica. Qual: _____

Nome Completo do Autor: Valdeir Martins Alves Filho

Matrícula: 2020102220530014

Título do Trabalho: Estratégias diferenciais de resposta à seca sazonal em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado: uma análise dos mecanismos de segurança hidráulica e estoque de carbono.

Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]

Documento confidencial: Não Sim, justifique.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12/12/2023

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:

1. 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;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
3. 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, 12 de dezembro de 2023.

Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Valdeir Martins Alves Filho

Ciente e de acordo:

Assinatura eletrônica do(a) orientador(a)

Fernanda dos Santos Farnese

Documento assinado eletronicamente por:

- Valdeir Martins Alves Filho, 2020102220530014 - Discente, em 12/12/2023 11:57:13.
- Fernanda dos Santos Farnese, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/12/2023 11:24:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/04/2022. 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: 377094
Código de Autenticação: 2d9f8cfc9b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



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

Ata nº 84/2023 - DPGPI-RV/CMPRV/IF GOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao décimo primeiro dia do mês de dezembro de 2023, às 14 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Dra. Fernanda dos Santos Farnese (orientadora), Dr. Jober Condé Evangelista Freitas (membro) e Dr Paulo Eduardo de Menezes Silva (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado: “ESTRATÉGIAS DIFERENCIAIS DE RESPOSTA À SECA SAZONAL EM ESPÉCIES DECÍCUAS E SEMPRE-VERDES DO CERRADO: UMA ANÁLISE DOS MECANISMOS DE SEGURANÇA HIDRÁULICA E ESTOQUE DE CARBONO” apresentado pelo estudante Valdeir Martins Alves Filho, do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do Trabalho de Curso, e em seguida, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da banca.

(Assinado Eletronicamente)

Fernanda dos Santos Farnese
Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Jober Condé Evangelista Freitas
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Paulo Eduardo de Menezes Silva
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Paulo Eduardo de Menezes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/12/2023 11:10:44.
- Jober Condé Evangelista Freitas, 2023102343760002 - Discente, em 11/12/2023 16:33:17.
- Fernanda dos Santos Farnese, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2023 15:54:15.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/12/2023. 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: 556502
Código de Autenticação: 8829bca23b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A – Taxa de assimilação líquida de carbono.

ANOVA – Análise de variância.

E – Taxa transpiratória.

E_{md} – Taxa transpiratória ao meio-dia.

g_{bark} – Condutância mínima da casca.

g_{caule} – Condutância mínima do caule.

g_{copa} – Condutância mínima da copa.

g_{leaf} – Transpiração residual da folha.

g_s – Condutância estomática.

IP – Índice de plasticidade.

PLC – Porcentagem de perda de condutividade.

TCRamos – Taxa de crescimento de ramos.

Ψ_{leaf} – Potencial hídrico da folha.

$\Psi_{leaf\ am}$ – Potencial hídrico da folha na antemanhã.

$\Psi_{leaf\ md}$ – Potencial hídrico da folha ao meio-dia.

$\Psi_{stem\ am}$ – Potencial hídrico do caule na antemanhã.

$\Psi_{caule\ md}$ – Potencial hídrico do caule ao meio-dia.

$\Psi_{caule\ md}$ – Potencial hídrico do caule ao meio-dia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primordialmente a Deus, a minha mãe Cleonice Martins e avó Eva Martins, as quais não mediram esforços e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, pelo privilégio de estudar em uma instituição que me possibilitou tantos aprendizados, oportunidades e amizades.

Agradeço a minha orientadora Fernanda dos Santos Farnese, pela integridade em todos os momentos, desde a primeira aula ministrada da disciplina de Fisiologia Vegetal, me possibilitando descobrir uma nova paixão, até a última reunião de alinhamento de defesa. Obrigado por todos os momentos de aprendizado, motivação e inspiração.

Agradeço aos meus co-orientadores Paulo Eduardo de Menezes Silva e Priscila Ferreira Batista por todo o suporte prestado ao longo de todos os projetos executados, obrigado por cada “Café com estatística” que vocês me possibilitaram, por cada momento de aprendizado e risos obtidos, vocês me inspiram!

Agradeço ao Laboratório de Estudos Aplicados em Fisiologia Vegetal (LEAF) por todo o subsídio fornecido, cada equipamento, cada reagente ou material, por ter sido a base de tudo. Destaco principalmente o apoio de cada um dos membros desse consolidado e premiado grupo de pesquisa, Kamila Mendes, Igor Abreu, Brenner Ryan, Ana Cláudia, Leticia Ferreira, Sabrina Emanuella, Marina Aun, Nathan Rosa, Maria Lúcia, Alex Cotrim, Natyelle Soares, Alex Macêdo e Jeviny Lopes, os quais me apoiaram em todos os momentos, vocês são incríveis!

Agradeço as professoras Maria Andréia, Valdneá Dalvi e Gisele Menino por cada ensinamento obtido na graduação, as conversas e concelhos, por serem uma peça-chave no meu amor ao curso, por todo o apoio, obrigado.

Agradeço aos meus fiéis companheiros Emily Duarte, Beatriz Fermino, Samara Ribeiro, Gustavo Daniel, José Augusto, Taíza Vicentine e Ana Carolina por todo o apoio nesses anos, lembrarei com carinho de cada uma das risadas e lágrimas que compartilhamos ao longo do curso, sem vocês eu não teria conseguido!

RESUMO

ALVES FILHO, VALDEIR MARTINS. **Estratégias diferenciais de resposta à seca sazonal em espécies decíduas e sempre-verdes do Cerrado: uma análise dos mecanismos de segurança hidráulica e estoque de carbono.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Licenciatura em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2023.

O domínio do Cerrado é caracterizado por ser um dos maiores *hotspots* de biodiversidade mundial e também a savana mais ameaçada do mundo devido a sua baixa proteção legal. Os modelos de projeções climáticas preveem, já para os próximos anos, um aumento da intensidade e da frequência dos eventos de seca, o que pode comprometer o crescimento e a sobrevivência de diversas espécies, ultrapassando o limiar até mesmo das espécies aclimatadas a condições de seca. Como estratégia de sobrevivência, as plantas do Cerrado apresentam diferentes níveis de deciduidade, com espécies decíduas e sempre-verdes, uma estratégia frequentemente associada a segurança hidráulica dessas plantas durante a seca. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a plasticidade da manutenção do status hídrico em espécies sempre-verdes e decíduas do Cerrado durante a estação seca e chuvosa. Para isso, foram estudadas 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. As coletas foram realizadas ao longo de 3 meses, sendo dois meses durante a estação seca, sendo maio (início da seca) e agosto (final) e um na estação chuvosa (dezembro). Foram realizadas análises de relações hídricas (potencial hídrico, *gcopa*, *gcaule* e PLC); trocas gasosas; características morfoanatômicas (TC_Ramos); bioquímicas (determinação de amido e açúcares totais) e índice de plasticidade. As espécies apresentaram comportamentos distintos nas estações. Como estratégia, espécies sempre-verdes diminuíram seu *gcopa* durante a estação seca, o que se acredita que resulte de uma maior plasticidade nas folhas, possibilitando um crescimento contínuo das folhas e ramos, que por consequência resulta em um maior gasto energético de carboidratos; enquanto as decíduas apresentaram maiores vazamentos e uma menor plasticidade, bem como um menor crescimento. Mesmo com estratégias distintas, ambos os grupos conseguiram atingir o mesmo objetivo: não atingirem a falha hidráulica durante a estação seca em condições de déficit hídrico. Destaca-se que embora essas estratégias sejam tão eficientes, com as mudanças climáticas, os vegetais mesmo bem adaptados, podem atingir um limiar, e sofrer drásticos efeitos como a substituição e extinções de espécies do Cerrado brasileiro.

Palavras-chave: Cerrado; Déficit-hídrico; Ecofisiologia; Plasticidade.

ABSTRACT

ALVES FILHO, VALDEIR MARTINS. **Differential response strategies to seasonal drought in deciduous and evergreen species of the Cerrado: an analysis of hydraulic security mechanisms and carbon stock.** 2023. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2023.

The Cerrado is one of the world's largest biodiversity hotspots and the most threatened savannah in the world due to its low legal protection. Climate projection models predict, in the coming years, an increase in the intensity and frequency of drought events, which could compromise the growth and survival of several species, exceeding the threshold even for species acclimatized to drought conditions. As a survival strategy, Cerrado plants have different levels of deciduousness, being classified as deciduous or evergreen species, a strategy often associated with the hydraulic security of these plants during drought. The objective of the work was to evaluate the plasticity of water status maintenance in evergreen and deciduous species in the Cerrado during the drought and rainy seasons. For this, 10 plant species were studied in the Botanical Garden of the Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde. Five evergreen and five deciduous species were chosen, with four replications. Samplings were carried out over 3 months, including May (the beginning of the drought), August (the end of the drought), and December (the rainy season). Analyzes of water relations were carried out (water potential, g_{canopy} , g_{stem} , and PLC); gas exchange; morphoanatomical characteristics (TC_Ramos); biochemical analyses (determination of starch and total sugars), and plasticity index. The species had different strategies between the seasons. Evergreen species decreased g_{canopy} during the drought season, which is believed to result from greater plasticity in the leaves, enabling continuous growth of leaves and branches, with consequent greater consumption of carbohydrates; while the deciduous plants showed greater leaks and less plasticity, as well as lower growth. Even with different strategies, both groups managed to achieve the same objective: prevent lethal hydraulic failure during drought. It is noteworthy that although these strategies are efficient, with climate change, even well-adapted plants can reach a threshold and suffer drastic effects such as the replacement and extinction of species in the Brazilian Cerrado.

Keywords: Cerrado; Drought; Ecophysiology; Plasticity.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA | 1 |
| 2 HIPÓTESES | 3 |
| 3 OBJETIVOS..... | 4 |
| 3.1 Objetivo geral | 4 |
| 3.2 Objetivos específicos | 4 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 4 |
| 4.1 Design Experimental..... | 4 |
| 4.2 Relações Hídricas | 5 |
| 4.2.1 <i>Potencial hídrico na antemanhã e ao meio dia</i> | 5 |
| 4.2.2 <i>Determinação da transpiração residual da folha (gleaf)</i> | 6 |
| 4.2.3 <i>Determinação da condutância mínima da casca (gbark)</i> | 6 |
| 4.2.4 <i>Determinação da porcentagem de perda de condutividade (PLC)</i> | 7 |
| 4.3 Análises fisiológicas | 7 |
| 4.3.1 <i>Trocas gasosas</i> | 7 |
| 4.4 Características morfoanatômicas | 7 |
| 4.4.1 <i>Taxa de crescimento de ramos ao longo das estações</i> | 7 |
| 4.5 Análises Bioquímicas | 7 |
| 4.5.1 <i>Determinação da concentração de amido</i> | 7 |
| 4.5.2 <i>Determinação da concentração de açúcares totais solúveis</i> | 8 |
| 4.6 Índice de Plasticidade | 8 |
| 4.8 Análises Estatísticas..... | 8 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 8 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 12 |
| 7 REFERÊNCIAS | 13 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espécies. **a)** Cagaita - *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. **b)** Guapeva - *Pouteria gardneriana* (A.DC) Radlk. **c)** Jatobá - *Hymenaceae coubaril* L. **d)** Roupala - *Roupala montana* Aubl. **e)** *Xylopia* - *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. **f)** Baru - *Dipteryx alata* Voguel. **g)** Cajazinho - *Spondias mombin* L. **h)** Cega-Machado - *Physocalymma scaberrimum* Pohl. **i)** Lixeira - *Curatella americana* L. **j)** Pequi - *Caryocar brasiliense* Cambess.5

Figura 2. Vazamentos. **a)** Transpiração (E). **b)** Transpiração ao meio-dia (E md). **c)** Condutância mínima da copa (gcopa). **d)** Condutância mínima do caule (gcaule). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$).....9

Figura 3. Status hídrico. **a)** Potencial hídrico foliar na antemanhã ($\Psi_{leaf\ am}$). **b)** Potencial hídrico foliar no meio-dia ($\Psi_{leaf\ md}$). **c)** Potencial hídrico do caule no meio-dia ($\Psi_{stem\ md}$). **d)** Porcentagem de perda de condutividade (PLC). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$)..... 10

Figura 4. Carboidratos. **a)** Taxa de assimilação líquida do carbono (A). **b)** Açúcares Totais Solúveis foliares. **c)** Teor de amido foliar. **d)** Taxa de crescimento de ramos (TC_Ramos). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$)..... 11

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies a serem estudadas.....4

Tabela 2. ANOVA do Índice de plasticidade para os vazamentos de água em espécies decíduas e sempre-verdes. *P < 0.05..... 11

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O domínio Cerrado é o segundo maior em extensão do país, compreendendo cerca de 25% de todo o território brasileiro. Com um clima tropical, esse domínio apresenta duas estações bem definidas, divididas em uma estação seca, com três a sete meses de duração, com precipitação média de 33,2 mm mensais, e outra de chuvas constantes, com média de 229,5 mm mensais (Pereira et al., 2011). Apesar de ser um dos maiores *hotspots* de biodiversidade mundial (Myers et al., 2000; Resende e Guimarães, 2007), o Cerrado é também a savana mais ameaçada do mundo, o que se deve sobretudo à ações antrópicas, como a baixa proteção legal aliada a expansão do agronegócio (Sano et al., 2019). A elevada remoção de cobertura vegetal no Cerrado tem imposto ainda um outro desafio para as plantas: a intensificação das mudanças climáticas. De fato, nos últimos 60 anos a temperatura média no Cerrado aumentou entre 2,2 e 4 °C na estação seca, enquanto a umidade diminuiu em aproximadamente 15%, valores muito acima do anteriormente previstos por modelagem climática (Hofmann et al., 2021). Essas alterações impactam diretamente os aspectos fisiológicos e adaptativos das espécies, o que compromete a conservação e a manutenção da biodiversidade, podendo resultar na mortalidade e no consequente desaparecimento das espécies nativas (Cordeiro et al., 2008; Souza e Manzi, 2014).

Eventos de mortalidade de espécies vegetais em decorrência de aumentos na temperatura e eventos de seca tem sido documentado em todo o mundo, desencadeando alterações substanciais na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (McDowell et al., 2022). O grau com o qual uma determinada espécie será afetada pela restrição hídrica depende de uma complexa rede de processos interdependentes que envolvem a perda de água pelas plantas, a existência de armazenamentos internos de água, a tolerância do xilema à seca e a privação de carbono (Blackman et al., 2016; Li et al., 2022; McDowell et al., 2022). Em secas curtas e intensas, a inabilidade para manter um status hídrico capaz de sustentar o metabolismo celular tem sido apontado como o principal determinante da mortalidade vegetal e é consequência da ocorrência de embolismo (Choat et al., 2012; Cardoso et al., 2020). Em condições de escassez hídrica no solo, a tensão hidráulica nos vasos do xilema aumenta consideravelmente, chegando a ultrapassar o limiar crítico, o que culmina na entrada de bolhas de ar (cavitação) que quando se expandem, quebram a coluna d'água que por consequência geram o bloqueio do fluxo hídrico do xilema (embolismo). Esse embolismo pode afetar de maneira crítica a dessecação dos tecidos, podendo levar a morte do vegetal (Islam et al., 2019).

Para evitar uma falha hidráulica em decorrência do déficit hídrico, uma das primeiras respostas fisiológicas das plantas mediante a seca é diminuir as taxas transpiratórias, o que

envolve o fechamento estomático, com consequente redução da condutância estomática (g_s) (Menezes-Silva et al., 2017). Entretanto, mesmo após o fechamento dos estômatos, as plantas continuam perdendo água para a atmosfera, mesmo que em menor escala, através da cutícula, espaços epidérmicos e estômatos parcialmente fechados (transpiração residual da folha - g_{leaf}) (Machado et al., 2021) e através das lenticelas do caule (condutância mínima da casca - g_{bark}) (Wolfe, 2020; Loram-Lourenço, 2022). Embora esses vazamentos ocorram em menor fração quando comparados com a transpiração estomática, eles se mantêm constantes ao longo do tempo, comprometendo a manutenção do status hídrico vegetal. Além disso, há uma escassez de estudos referentes ao efeito integrado dos vazamentos totais de g_s , g_{leaf} e g_{bark} , que podem responder muitos questionamentos referentes as estratégias de adaptação das plantas ao déficit hídrico.

O balanço do carbono também é um importante mecanismo de sobrevivência para espécies arbóreas expostas a seca (McDowell et al., 2022), e as plantas precisam lidar estrategicamente com sua dinâmica estomática, pois quando essas estruturas se fecham, além de diminuir a g_s , também ocorre a diminuição na entrada de CO_2 , e o reservatório de carbono se torna finito e esgotável. A diminuição dos ganhos fotossintéticos faz com que a produção de açúcares e amido caia consideravelmente durante a estação seca (Martínez-Vilalta et al., 2008), e o déficit de carboidratos acarreta em sérios prejuízos para os vegetais e estão diretamente interligados com a integridade hidráulica, pois além de promoverem menores taxas a crescimento, ocorre o comprometimento de funções metabólicas, danos a integridade das membranas celulares, e a incapacidade de regeneração de tecidos, o que especialmente no caso dos vasos xilemáticos, pode levar a um declínio da resistência a embolia (Tomasella et al., 2020).

As plantas do Cerrado apresentam diferentes hábitos foliares, sendo classificadas como decíduas as espécies que perdem todas ou uma grande parcela de suas folhas durante a estação seca, mas que produzem novas durante a transição para a estação chuvosa; e como sempre-verdes as espécies que apresentam produção foliar constante ao longo das estações, mantendo suas folhas mesmo quando a disponibilidade de água no solo é reduzida. Esses comportamentos, aos quais atribui-se o nome de padrão fenológico, evidenciam a existência de diferentes estratégias para que os vegetais consigam sobressair ao déficit hídrico devido à seca sazonal desse habitat (Silverio e Lenza, 2010). Com efeito, a deciduidade é constantemente apontada como uma estratégia para a redução da perda de água em decorrência do processo transpiratório, o que contribuiria para um status hídrico menos negativo durante a estação seca (Silverio e Lenza, 2010). Por outro lado, a abscisão desses órgãos acarretaria na diminuição da

fotossíntese, com consequente desequilíbrio no balanço de carbono (Choat et al., 2018). O dilema oposto é apresentado pelas sempre-verdes: a manutenção das folhas permite a fixação contínua de carbono, mas, ao mesmo tempo, resulta em maior perda de água, o que pode levar a uma desidratação e uma possível falha hidráulica.

Estudos ecofisiológicos envolvendo espécies decíduas e sempre-verdes mostraram que esses grupos apresentam características hidráulicas semelhantes entre si, não sendo a queda das folhas na estação seca o fator mais determinante do status hídrico desses vegetais (Wolfe et al., 2016; Souza et al., 2020). Os trabalhos realizados respectivamente no Panamá e na Caatinga brasileira, mostraram que houve divergências quanto ao conhecimento consolidado sobre esse tema. Wolfe et al., (2016) apontou que as sempre-verdes, mesmo mantendo suas copas, conseguiram apresentar um maior potencial hídrico, bem como uma taxa significativa igual as decíduas, enquanto Souza et al., (2020) mostraram que os dois grupos, ao decorrer da seca, apresentaram potenciais mais negativamente associados, não havendo diferença estatística entre eles. Isso leva a ideia que essas plantas utilizem de outras ferramentas para evitarem maiores vazamentos, como se moldarem para estações secas sazonais, mas esses mecanismos ainda permanecem não esclarecidos.

A plasticidade, ou seja, a capacidade de mudar algum órgão ou estrutura, se torna uma ferramenta chave para que essas plantas alterem seus tecidos e consigam responder de maneira mais eficiente as alterações ambientais, como a seca sazonal do Cerrado, mas que acarreta em um gasto de carboidratos para a produção de estruturas com características que permitem uma maior tolerância (Murren et al., 2015); e, levando em consideração a importância da preservação da biodiversidade do Cerrado brasileiro, o presente trabalho visou caracterizar a plasticidade associada aos determinantes da segurança hidráulica de espécies decíduas e sempre-verdes durante o longo da estação seca e chuvosa.

2 HIPÓTESES

Foram testadas as seguintes hipóteses: (i) o vazamento total ($g_s + g_{bark} + g_{leaf}$), e não apenas a queda das folhas, é que determina a manutenção do status hídrico na planta; (ii) plantas sempre-verdes são mais plásticas em relação aos componentes que determinam o vazamento total, e por isso conseguem manter as folhas e o potencial hídrico durante a estação seca; (iii) o custo para perder as folhas é maior que o custo para plasticidade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a plasticidade e o impacto de traços funcionais envolvidos na manutenção do status hídrico em espécies sempre-verdes e decíduas do Cerrado ao longo do ano, a fim de esclarecer as estratégias de sobrevivência dessas plantas em condições de seca.

3.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos, pretende-se: (i) verificar se o vazamento total da planta está relacionado com o status hídrico das plantas; (ii) avaliar a plasticidade dos vazamentos de caules e folhas; (iii) avaliar a perda de condutividade das plantas; (iv) avaliar o acúmulo de carboidrato pelas espécies entre as estações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Design Experimental

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, durante os meses de maio (início da estação seca), agosto (ápice da estação seca), e dezembro (estação chuvosa). As coletas foram realizadas no Jardim Botânico dessa Instituição e direcionadas ao Laboratório de Estudos Aplicados em Fisiologia Vegetal (LEAF), onde as análises foram realizadas. Foram analisadas plantas decíduas e sempre-verdes, 10 espécies do Cerrado foram amostradas, sendo 5 decíduas e 5 sempre-verdes (Tabela 1) (Figura 1). Para cada espécie, 4 plantas adultas (4 repetições) amostradas. Ao longo das coletas, foram obtidos dados climáticos. Para a umidade do solo, foi utilizado um sensor portátil de umidade do solo HydroSense II, ao qual 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. Os demais dados como Temperatura Média Condensada (°C), Temperatura Máxima (°C), Temperatura Mínima (°C), Umidade Relativa do Ar Compensada (%), Precipitação Acumulada (mm), Nº de dias com Precipitação > ou = 1 mm., Evapotranspiração Mensal e Anual foram obtidos a partir dos históricos gerados entre 1961 e 2023, a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1. Espécies a serem estudadas.

| Nome Popular | Nome Científico | Família | Grupo |
|--------------|------------------------|------------|--------------|
| Roupala | <i>Roupala montana</i> | Proteaceae | Sempre-verde |

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

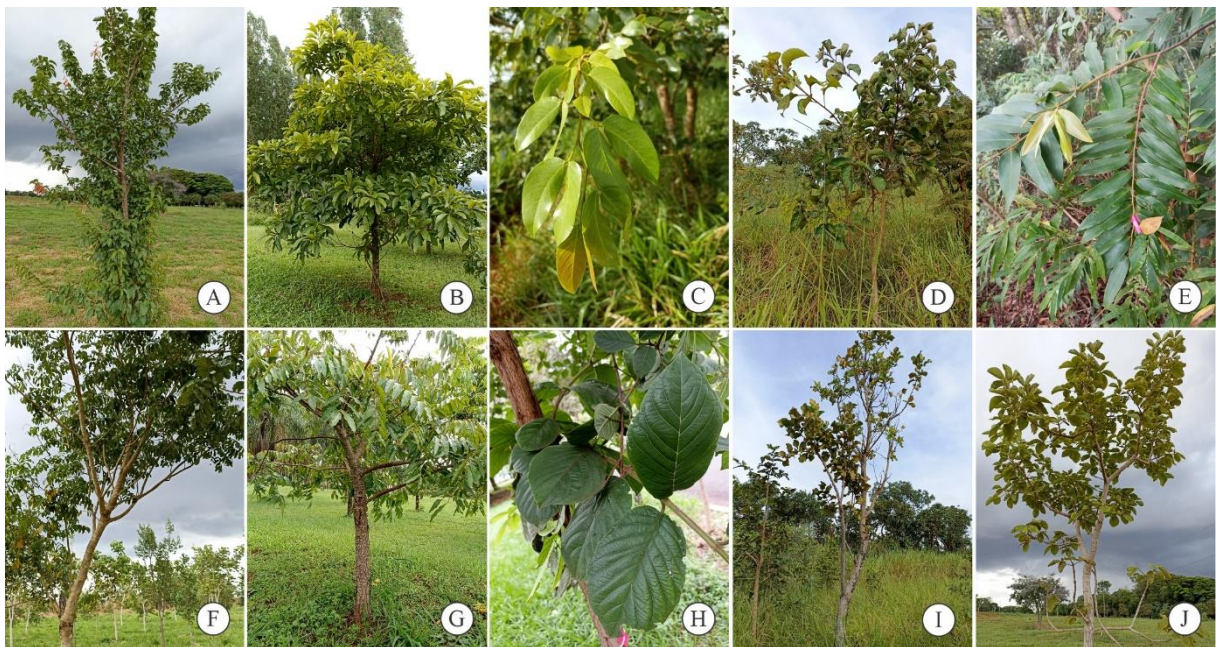


Figura 1. Espécies. **a)** Cagaita - *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC. **b)** Guapeva - *Pouteria gardneriana* (A.DC) Radlk. **c)** Jatobá - *Hymenaea coubaril* L. **d)** Roupala - *Roupala montana* Aubl. **e)** Xylopia - *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. **f)** Baru - *Dipteryx alata* Voguel. **g)** Cajazinho - *Spondias mombin* L. **h)** Cega-Machado - *Physocalymma scaberrimum* Pohl. **i)** Lixeira - *Curatella americana* L. **j)** Pequi - *Caryocar brasiliense* Cambess.

4.2 Relações Hídricas

4.2.1 Potencial hídrico na antemanhã e ao meio dia

O potencial hídrico da folha 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, as mesmas 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.

4.2.2 Determinação da transpiração residual da folha (gleaf)

Para determinação do gleaf, folhas intactas foram coletadas no entardecer do dia anterior e levadas ao laboratório em sacos ziplock saturados com CO₂, em seguida foram colocadas em placa de reidratação, onde passaram a noite. Na manhã do dia seguinte, as folhas foram retiradas da reidratação, tiveram seu à base de seus pecíolos selados em parafina derretida, afim de permitir a transpiração residual apenas através da cutícula foliar, logo foi determinado a área foliar. Posteriormente, as folhas foram colocadas em B.O.D. a 25°C e 40% de umidade, onde a cada 20 minutos tiveram seus pesos registrados em balança de precisão até atingir o gleaf. Além disso, a temperatura e umidade foram registradas durante as medições e os dados foram tabulados até chegar à linearidade das medições. As pesagens foram interrompidas após a obtenção de pelo menos 4 pontos lineares ($R^2 \geq 0.96$) (Brodrribb et al., 2014). Os dados então foram normalizados para a copa das repetições a partir da área foliar total, possibilitando mensurar a condutância mínima da copa (gcopa). A área foliar total foi feita em todos os meses de coleta, onde a partir de três ramos principais selecionados, um ramo lateral de cada foi retirado da planta, as folhas desse ramo foram fotografadas e logo foi determinada a área foliar de cada uma utilizando o software ImageJ. A área foliar total foi estimada a partir da multiplicação das áreas foliares registradas vezes a quantidade de ramos laterais, vezes a quantidade de ramos totais da planta.

4.2.3 Determinação da condutância mínima da casca (gbark)

Para determinar a gbark, segmentos de caule em ramos lignificados foram coletados na antemanhã e levados ao laboratório em saco ziplock. O gbark foi medido seguindo o método de 'perda de massa' usado para medir a transpiração residual da folha (Duursma et al., 2019). As extremidades cortadas foram seladas com parafina para deter a evaporação, a área do caule será 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, onde a cada 20 minutos tiveram seus pesos registrados em balança de precisão afim de atingir o gbark (Wolfe, 2020). A temperatura e umidade foram registradas durante as medições, e os dados foram tabulados até alcançar a linearidade. O método foi interrompido após a obtenção de pelo menos 4 pontos lineares ($R^2 \geq 0.96$). Os dados então foram normalizados para o caule das repetições a partir da área caulinar total, possibilitando mensurar a condutância mínima do caule (gcaule). Assim como a área foliar total, a área total do caule foi calculada em todos os meses de coleta. Para isso três ramos principais foram selecionados, onde o comprimento e os diâmetros foram definidos utilizando fita métrica. Foi quantificado também o número de ramos laterais esse

principal possui. A área total foi estimada a partir da multiplicação da área desses ramos pela quantidade de ramos totais.

4.2.4 Determinação da porcentagem de perda de condutividade (PLC)

Inicialmente foi aferida a capacidade máxima de transporte de água dos fragmentos de caules utilizados para determinação da condutividade hidráulica do caule (K_{stem}) proposto por Markesteijn et al., (2011), os vasos cavitados foram recuperados através da infiltração da solução de perfusão (KCl 20 mM e CaCl₂ 1 mM) com auxílio de uma bomba de vácuo. Após isso, a condutividade hidráulica máxima (K_{max}) dos fragmentos foi medida e a porcentagem de perda de condutividade (PLC) foi calculada seguindo a fórmula:

$$\text{PLC} = 100 \times [1 - (K_{\text{stem}} / K_{\text{max}})]$$

4.3 Análises fisiológicas

4.3.1 Trocas gasosas

A taxa de assimilação líquida do carbono (A), a condutância estomática (g_s), a concentração interna de CO₂ (C_i), a concentração externa de CO₂ (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 CO₂ 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.

4.4 Características morfoanatômicas

4.4.1 Taxa de crescimento de ramos ao longo das estações

Para a determinação da taxa de crescimento de ramos (T_{ramos}), dois ramos expostos ao sol, de 4 indivíduos por espécie, foram marcados e medidos com auxílio de fita métrica a cada 15 dias. Os valores de T_{ramos} (cm dia⁻¹) representam o crescimento médio ao longo de um período de 2 meses (Silva et al., 2013).

4.5 Análises Bioquímicas

4.5.1 Determinação da concentração de amido

A concentração de amido foi obtida a partir de McCready et al., (1950) em um comprimento de onda de 490 nm, usando uma curva padrão de sacarose (1%) no intervalo de 0 a 50 μg .

4.5.2 Determinação da concentração de açúcares totais solúveis

Para a determinação de açúcares solúveis totais, utilizou-se o método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956) em um comprimento de onda de 490 nm, usando uma curva padrão de sacarose (1%) de 0 a intervalo de 50 µg.

4.6 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade (IP) foi calculado para cada variável de e para cada espécie, de acordo com Valladares et al. (2000). Para cada variável, foi calculado como a diferença entre a média do valor máximo e mínimo observado para aquela variável em cada espécie entre as estações da seca inicial, seca final e chuvosa, dividido pela média do valor máximo da variável:

$$IP = \text{valor máximo da variável X} - \text{valor mínimo da variável X} / \text{valor máximo da variável X}$$

4.8 Análises Estatísticas

Os dados foram analisados utilizando um modelo de análise de variância (ANOVA), e em seguida foi aplicado um modelo aditivo generalizado misto (GAMMA) e as médias calculadas pelo teste SNK, a 0,05% de probabilidade no software estatístico R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com final da estação chuvosa e a diminuição da precipitação no Cerrado, diferentes aspectos do metabolismo das plantas foram afetados pelo déficit hídrico consequentes da estação seca. Ao observar os vazamentos (Figura 2), constatou-se que a variação de transpiração demonstrou uma queda entre a estação chuvosa e o início da seca, se mantendo igual ao final da estação para ambos os grupos (Fig. 2A), sendo o mesmo padrão observado com a transpiração ao meio-dia (Fig. 2B). Uma das relações que podemos associar a essa diminuição da transpiração é o rápido fechamento estomático, estratégia de suma importância, pois são nessas estruturas que ocorre a maior perda de água, através da transpiração (Martin-StPaul et al., 2017; Menezes-Silva et. Al., 2017). Ao final da estação seca, a transpiração residual da copa (g_{copa}) mostrou um menor vazamento nas sempre-verdes em comparação as decíduas (Fig. 2C). Na transpiração residual do caule (g_{caule}) (Fig. 2D), embora os vazamentos tenham apresentado queda entre a as estações, ao final da seca não houve diferença do parâmetro entre os grupos. Analisando os vazamentos em conjuntos, é possível dizer que os menores números de g_{copa} são resultados de uma maior plasticidade nas plantas sempre-verdes, quando comparadas as decíduas. Essa maior plasticidade no vazamento das folhas das plantas sempre-

verdes é essencial para evitar desidratação excessiva durante o déficit hídrico enquanto nas plantas decíduas a queda das folhas, por si só, já contribui para a diminuição da perda de água.

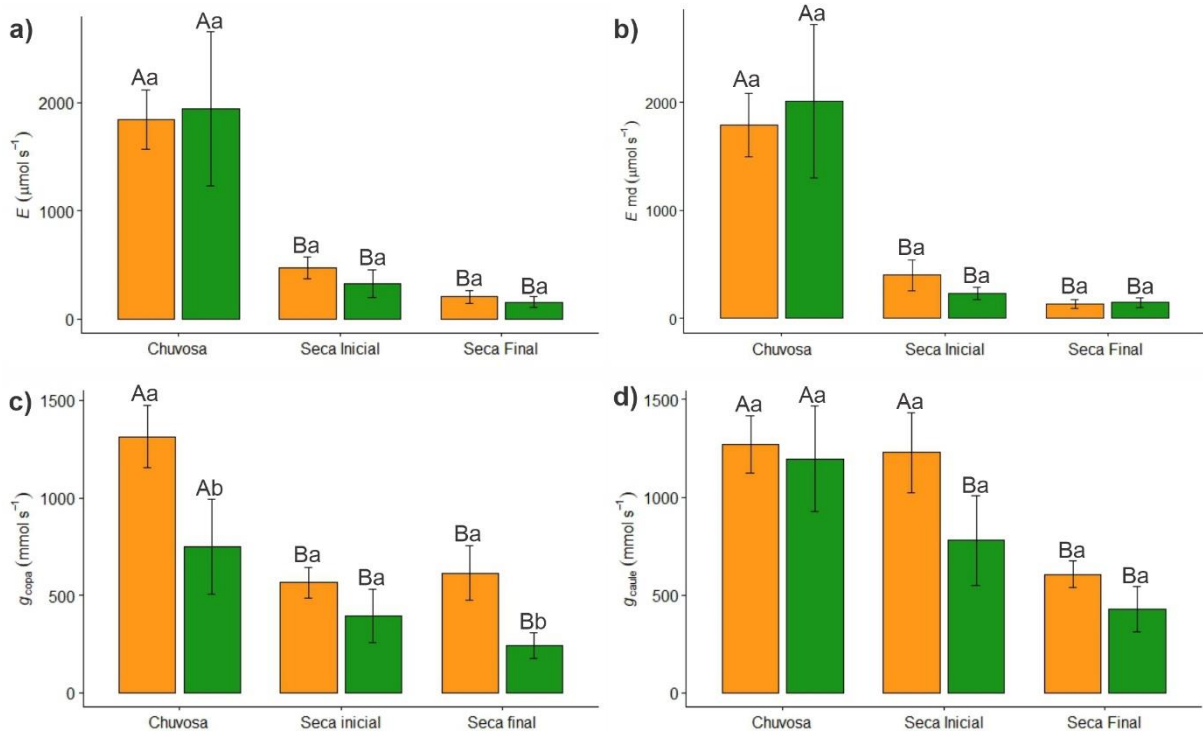


Figura 2. Vazamentos. **a)** Transpiração (E). **b)** Transpiração ao meio-dia (E_{md}). **c)** Condutância mínima da copa (g_{copa}). **d)** Condutância mínima do caule (g_{caule}). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$).

Com o avanço da estação seca, todas as plantas apresentaram uma queda gradual no potencial hídrico da antemanhã ($\Psi_{leaf\ am}$), especialmente as sempre-verdes, mas que ao final da seca não apresentou diferença estatística entre os grupos (Fig. 3A). Contudo, o mesmo padrão não se repetiu no potencial hídrico da folha ao meio-dia (Fig. 3B) e potencial hídrico do caule ao meio-dia (3C), onde embora as plantas decíduas apresentassem uma maior diferença entre as estações, os menores potenciais hídricos na estação seca foram observados nas plantas sempre-verdes (Fig. 3D). Esses resultados indicam que, apesar da diminuição na transpiração residual, a manutenção das folhas pelas sempre-verde tem um custo em relação ao grau de hidratação dos tecidos. Entretanto, ao analisar os dados do status hídrico em conjunto, torna-se errôneo afirmar que o grupo das plantas sempre-verdes seja mais vulnerável em relação à seca do que as decíduas, pois embora esse grupo tenha apresentado menores potenciais hídricos ao meio-dia, elas conseguiram se reidratar e estabilizar o status hídrico ao grupo das decíduas na

antemanhã. A perda de condutividade (PLC), que pode refletir o grau de embolismo (Barigah et al., 2023), foi igual para ambos os grupos, o que sugere que apesar de as plantas sempre-verdes apresentarem um menor potencial hídrico ao meio-dia, seus vasos xilemáticos não podem ser considerados “mais sensíveis”, já que não apresentaram níveis mais elevados de perda de condutividade. Como consequência, as duas espécies conseguiram se reidratar igualmente uma vez cessada a transpiração estomática, conforme evidenciado pelos valores do potencial hídrico na antemanhã.

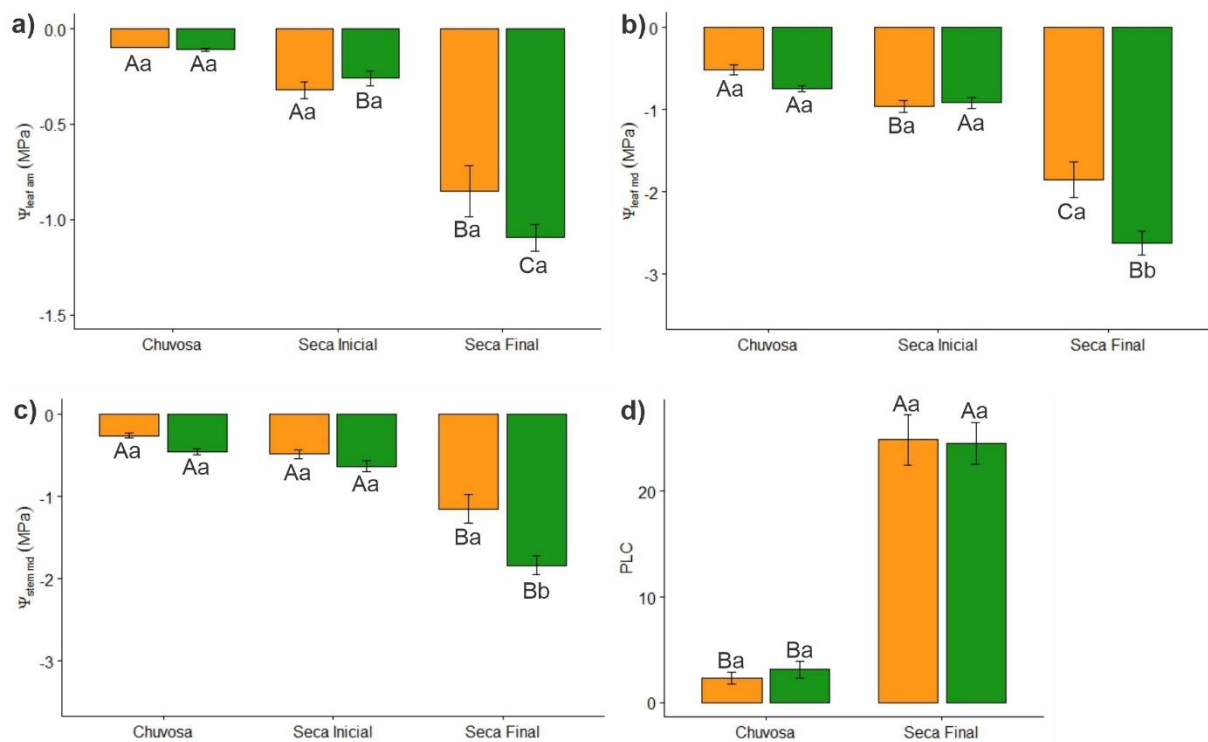


Figura 3. Status hídrico. **a)** Potencial hídrico foliar na antemanhã ($\Psi_{leaf\ am}$). **b)** Potencial hídrico foliar no meio-dia ($\Psi_{leaf\ md}$). **c)** Potencial hídrico do caule no meio-dia ($\Psi_{stem\ md}$). **d)** Porcentagem de perda de condutividade (PLC). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$).

Em relação aos carboidratos (Figura 4), as taxas fotossintéticas (A) se mantiveram maiores nas sempre-verdes durante a estação seca (Fig. 4A), mesmo com os vazamentos foliares sendo estatisticamente semelhantes as plantas decíduas (Fig. 2C). Curiosamente, a concentração de amido e açúcares foliares foram maiores durante a estação seca, especialmente as plantas decíduas que apresentaram as maiores concentrações (Fig. 4B e 4C). Convém observar que os carboidratos foram analisados apenas nas folhas, e não em órgãos de reserva e, por isso, representam o amido transitório e açúcares que serão transportados ou rapidamente

utilizados e degradados (Stitt e Zeeman, 2012). Dessa forma, é possível que a diminuição na Taxa de Crescimento de Ramos (TC_{Ramos} – Fig. 4D) tenha sido o principal responsável pelo acúmulo de açúcares nas folhas. De fato, ainda que as plantas estivessem com menor taxa fotossintética na estação seca, os processos de crescimento foram praticamente interrompidos. Sabe-se que, em plantas rápido crescimento, o amido acumulado nas folhas é quase completamente exaurido devido aos processos de crescimento (Stitt e Zeeman, 2012), o que justifica a menor concentração nas plantas durante a estação chuvosa.

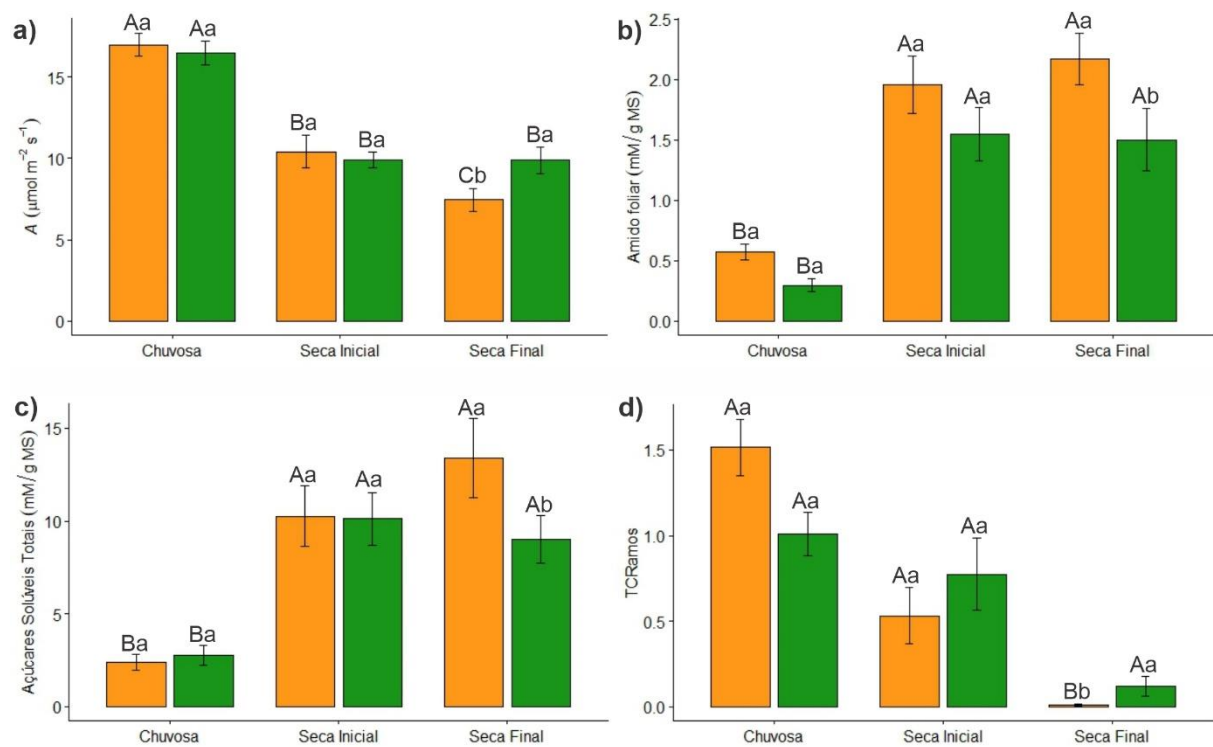


Figura 4. Carboidratos. **a)** Taxa de assimilação líquida do carbono (A). **b)** Açúcares Totais Solúveis foliares. **c)** Teor de amido foliar. **d)** Taxa de crescimento de ramos (TC_{Ramos}). Barras laranjas e verdes representam plantas decíduas e sempre-verdes, respectivamente. Letras maiúsculas comparam o mesmo grupo em diferentes estações e letras minúsculas representam grupos diferentes na mesma estação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p < 0.05$).

O Índice de plasticidade (Tabela 2) calculado para os vazamentos de água (transpiração estomática, g_{copa} e g_{caule}), parâmetro que aponta efetivamente o quanto essas plantas se moldaram ao longo das estações em relação aos vazamentos de água, demonstrou que os dois grupos mudaram, mas o índice foi maior nas espécies sempre-verdes.

Tabela 2. ANOVA do Índice de plasticidade para os vazamentos de água em espécies decíduas e sempre-verdes. * $P < 0.05$.

| Grupo | Índice de plasticidade |
|---------------|-------------------------------|
| Decíduas | 0,65* |
| Sempre-Verdes | 0,76* |

A plasticidade, ou seja, a alteração das estruturas vegetais em resposta ao ambiente, também tem um custo energético, de forma que, para moldarem suas estruturas e garantir que durante a seca apresentem um menor vazamento, as espécies sempre-verdes precisaram direcionar maior quantidade de carboidrato para vias que visam obter energia, como a respiração. O maior gasto explica a menor concentração de carboidratos nas sempre-verdes, já que ela é resultado do balanço entre a quantidade de CO₂ que é assimilada e o que é consumido pela planta. Portanto, observa-se que as plantas decíduas e as sempre-verdes atingem o mesmo resultado (tolerar o déficit hídrico causado pela seca sazonal) mas com estratégias diferentes, pois enquanto as decíduas perdem suas folhas para evitar um maior vazamento, as sempre-verdes investem seus carboidratos na plasticidade, produzindo órgãos diferentes que possibilitem que elas permaneçam com suas folhas mesmo na estação seca e não fiquem mais desidratadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender o balanço hídrico entre espécies decíduas e sempre-verdes é fundamental para conhecer a ecologia desses grupos e, a partir daí, propor estratégias de conservação, principalmente em um contexto de mudanças climáticas globais. Baseando-se nos resultados do experimento, pode-se notar que as plantas do Cerrado embora apresentem diferentes estratégias para a manutenção do status hídrico, estão aclimatadas ao ambiente e as condições em que vivem, o que permitiu o sucesso reprodutivo e a perpetuação dessas espécies por milhares de anos. Entretanto em um cenário com secas severas, é possível que mesmo essas estratégias tão eficientes atinjam um limiar, e sofram drásticos efeitos com a o déficit hídrico, podendo comprometer sua sobrevivência e podendo ocasionar a substituição de espécies. Nesse cenário, é provável que espécies sempre-verdes sofram mais, uma vez que essas espécies provavelmente já atingiram o limiar de plasticidade foliar e, ainda assim, apresentaram menor potencial hídrico ao meio dia e menor disponibilidade de carbono para lidar com possíveis danos.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.E.S. Resistência do xilema à seca ou retardo da dessecação: Determinantes da mortalidade vegetal associada ao embolismo em espécies representativas da Amazônia. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.
- BARIGAH, T.S.; FARNESE, F.S.; MENEZES-SILVA, P.E.; HUMBERT, P.; ENAJEEH, M.; NGAO, J.; BADEL, E.; COCHARD, H.; HERBETTE, S. Hydraulic adjustments of Scots pine colonizing a harsh environment on volcano slopes. **bioRxiv**, p. 2023.02. 22.528520, 2023.
- BLACKMAN, C.J.; PFAUTSCH, S.; CHOAT, B.; DELZON, S.; GLEASON, S.M.; DUURSMA, R.A. Toward an index of desiccation time to tree mortality under drought. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 10, p. 2342-2345, 2016.
- BRODRIBB, T.J.; CARRIQUI, M.; DELZON, S.; LUCANI, C. Optical measurement of stem xylem vulnerability. **Plant Physiology**, v. 174, n. 4, p. 2054-2061, 2017.
- BRODRIBB, T.J.; MCADAM, S.A.M.; JORDAN, G.J.; MARTINS, S.C.V. Conifer species adapt to low-rainfall climates by following one of two divergent pathways. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 111, n. 40, p. 14489-14493, 2014.
- BRODRIBB, T.J. SKELTON, R.P.; MCADAM, S.A.M.; BIENAIMÉ, D.; LUCANI, C.J.; MARMOTTANT, P. Visual quantification of embolism reveals leaf vulnerability to hydraulic failure. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1403-1409, 2016.
- CARDOSO, A.A.; BATZ, T.A.; MCADAM, S.A.M. Xylem embolism resistance determines leaf mortality during drought in *Persea americana*. **Plant physiology**, v. 182, n. 1, p. 547-554, 2020.
- CHOAT, B.; BRODRIBB, T.J.; BRODERSEN, C.R.; DUURSMA, R.A.; LÓPEZ, R.; MEDLYN, B.E. Triggers of tree mortality under drought. **Nature**, v. 558, n. 7711, p. 531-539, 2018.
- CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T.J.; COCHARD, H.; DELZON, S.; BHASKAR, R.; BUCCI, S.J.; FEILD, T.S.; GLEASON, S.M.; HACKE, U.G.; JACOBSEN, A.L.; LENS, F.; MAHERALI, H.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MAYR, S.; MENCUCCINI, M.; MITCHELL, P.J.; NARDINI, A.; PITTERMANN, J.; PRATT, R.B.; SPERRY, J.S.; WESTOBY, M.; WRIGHT, I.J.; ZANNE, A.E. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. **Nature**, v. 491, n. 7426, p. 752-755, 2012.
- CHOAT, B. Predicting thresholds of drought-induced mortality in woody plant species. **Tree physiology**, v. 33, n. 7, p. 669-671, 2013.
- CORDEIRO, S.A.; SOUZA, CC de; MENDOZA, ZMSH. Florestas brasileiras e as mudanças climáticas. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 11, p. 1-20, 2008.
- DE SOUZA, B.C.; CARVALHO, E.C.D.; OLIVEIRA, R. S., A.; RODAL, M.J.N. Drought response strategies of deciduous and evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. **Oecologia**, v. 194, p. 221-236, 2020.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P.T.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

DUURSMA, R.A.; BLACKMAN, C.J.; LOPÉZ, R.; MARTIN-STPAUL, N.K.; COCHARD, H.; MEDLYN, B.E. On the minimum leaf conductance: its role in models of plant water use, and ecological and environmental controls. **New Phytologist**, v. 221, n. 2, p. 693-705, 2019.

FRANKS, P.J.; DRAKE, P.L.; BEERLING, D.J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. **Plant, cell & environment**, v. 32, n. 12, p. 1737-1748, 2009.

FRANKS, P.J.; FARQUHAR, G.D. The effect of exogenous abscisic acid on stomatal development, stomatal mechanics, and leaf gas exchange in *Tradescantia virginiana*. **Plant physiology**, v. 125, n. 2, p. 935-942, 2001.

HOFMANN, G.S.; CARDOSO, M.F.; ALVES, R.J.; WEBER, E.J.; BARBOSA, A.A. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, v. 27, n. 17, p. 4060-4073, 2021.

INPE, I.N. de P.E. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI Sumário Técnico. 2007.

ISLAM, M.; RAHMAN, M.; BRÄUNING, A. Impact of extreme drought on tree-ring width and vessel anatomical features of *Chukrasia tabularis*. **Dendrochronologia**, v. 53, p. 63-72, 2019.

KLEIN, T.; CAHANOVITC, R.; SPRINTSIN, M.; HERR, N.; SCHILLER, G.; A nation-wide analysis of tree mortality under climate change: Forest loss and its causes in Israel 1948–2017. **For. Ecol. Manage.** 432, 840–849, 2019.

LENZ, T.I.; WRIGHT, I.J.; WESTOBY, M. Interrelations among pressure–volume curve traits across species and water availability gradients. **Physiologia Plantarum**, v. 127, n. 3, p. 423-433, 2006.

LI, X.; XI, B.; WU, X.; CHOAT, B.; FENG, J.; JIANG, M.; TISSUE, D. Unlocking Drought-Induced Tree Mortality: Physiological Mechanisms to Modeling. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

LORAM-LOURENÇO, L.; FARNESE, F.S.; ALVES, R.D.F.B.; MARTINS, A.C.; AUN, M.A.; BATISTA, P.F.; SILVA, F.G.; COCHARD, H.; FRANCO, A.C.; MENEZES-SILVA, P.E. Variations in bark structural properties affect both water loss and carbon economics in neotropical savanna trees in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Ecology**, 2022.

MACHADO, R.; LORAM-LOURENÇO, L.; FARNESE, F.S.; ALVES, R.D.F.B.; SOUSA, L.F.; SILVA, F.G.; VASCONCELOS-FILHO, S.C.; TORRES-RUIZ, J. M.; COCHARD, H.; MENEZES-SILVA, P.E. Where do leaf water leaks come from? Trade-offs underlying the

variability in minimum conductance across tropical savanna species with contrasting growth strategies. **New Phytologist**, v. 229, n. 3, p. 1415-1430, 2021.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; BONGERS, F.; PAZ, H.; SACK, L. Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: coordination of species' drought and shade tolerance. **New phytologist**, v. 191, n. 2, p. 480-495, 2011.

MARTIN-STPAUL, N.; DELZON, S.; COCHARD, H. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. **Ecology letters**, v. 20, n. 11, p. 1437-1447, 2017.

MARTINEZ-VILALTA, J.; PIÑOL, J.; BEVEN, K. A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean. **Ecological Modelling**, v. 155, n. 2-3, p. 127-147, 2002.

MCCULLOH, K.A.; JHONSON, D.M.; MEINZER, F.C.; WOODRUFF, D.R. The dynamic pipeline: hydraulic capacitance and xylem hydraulic safety in four tall conifer species. **Plant. Cell Environ**, 37, 1171–1183, 2014.

MCDONALD, M.S. Preparation of stomatal impressions from leaf epidermis using a cellulose acetate "peel" technique. **Laboratory Practice (UK)**, 1977.

MCDOWELL, N.G.; SAPHES, G.; PIVOVAROFF, A.; ADAMS, H.D.; ALLEN, C.D.; ANDEREGG, W.R. Mechanisms of woody-plant mortality under rising drought, CO₂ and vapour pressure deficit. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 5, p. 294-308, 2022.

MCCRCADY, R.M.; GUGGNLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. **Anal. Chem**, v. 29, p. 1156-1158, 1950.

MENEZES-SILVA, P.E.; SANGULARD, L.M.V.P.; ÁVILA, R.T.; MORAIS, L.E.; MARTINS, S.C.V.; NOBRES, P.; PATREZE, C.M.; FERREIRA, M.A.; ARAÚJO, W.L.; FERNIE, A.R.; DAMATTA, F.M.; Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 15, p. 4309-4322, 2017.

MURREN, C.J.; AULD, J.R.; CALLAHAN, H.; GHALAMBOR, C.K.; HANDELSMAN, C.A.; HESKEL, 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. Constraints on the evolution of phenotypic plasticity: limits and costs of phenotype and plasticity. **Heredity**, v. 115, n. 4, p. 293-301, 2015.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

PEREIRA, B.A.S.; VENTUROLI, F.; CARVALHO, F.A. Florestas estacionais no cerrado: uma visão geral. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 446-455, 2011.

PBMC, B.C. das M.C. Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas, 2014.

RESENDE, M.L.F.; GUIMARÃES, L.L. Inventários da biodiversidade do bioma Cerrado: biogeografia de plantas. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

SANO, E.E.; RODRIGUES, A.A.; MARTINS, E.S.; BETTIOL, G.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; BEZERRA, A.S.; COUTO, A.F.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E.L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of environmental management**, v. 232, p. 818-828, 2019.

SILVA, P.E.M.; CAVATTE, P.C.; MORAIS, L.E.; MEDINA, E.F.; DAMATTA, F.M. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and experimental botany**, v. 87, p. 49-57, 2013.

SILVÉRIO, D.V.; LENZA, E. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 10, p. 205-216, 2010.

SOUZA, B.C.; CARVALHO, E.C.D.; OLIVEIRA, R.S.; DE ARAUJO, F.S.; DE LIMA, A.L. A.; RODAL, M.J.N. Drought response strategies of deciduous and evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. **Oecologia**, v. 194, n. 1, p. 221-236, 2020.

SOUZA, E.B.D.; CUNHA, A.C.D.; MANZI, A.O.; SAMPAIO, G.; CANDIDO, L.A.; ROCHA, E.J.D. Mudanças ambientais de curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e atribuição. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas, pgs. 320-346, 2014.

STITT, M.; ZEEMAN, S.C. Starch turnover: pathways, regulation and role in growth. **Current opinion in plant biology**, v. 15, n. 3, p. 282-292, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 2017.

TOMASELLA, M.; PETRUSSA, E.; PETRUZZELLIS, F.; NARDINI, A.; CASOLO, V. The possible role of non-structural carbohydrates in the regulation of tree hydraulics. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 1, p. 144, 2019.

TRUEBA, S.; POUTEAU, R.; LENS, F.; FEILD, T.S.; ISNARD, S.; OLSON, M.E.; DELZON, S. Vulnerability to xylem embolism as a major correlate of the environmental distribution of rain forest species on a tropical island. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 2, p. 277-289, 2017.

URLI, M.; PORTE, A.J.; COCHARD, H.; GUENGANT, Y.; BURLETT, R.; DELZON, S. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. **Tree physiology**, v. 33, n. 7, p. 672-683, 2013.

WOLFE, B.T. Bark water vapour conductance is associated with drought performance in tropical trees. **Biology Letters**, v. 16, n. 8, p. 20200263, 2020.

WOLFE, B.T.; SPERRY, J.S.; KURSAR, T.A. Does leaf shedding protect stems from cavitation during seasonal droughts? A test of the hydraulic fuse hypothesis. **New Phytologist**, v. 212, n. 4, p. 1007-1018, 2016.

VALLADARES, F.; WRIGHT, S.J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K.; & PEARCY, R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v. 81, n. 7, p. 1925-1936, 2000.