UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - RIO CLARO

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

VITÓRIA CALASSO TAMÁCIA DA SILVA

Efeito da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

Rio Claro - SP
2025

VITÓRIA CALASSO TAMÁCIA DA SILVA

Efeito da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial de Anadenanthera peregrina (L.) Speg.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas

Orientador(a): Profa. Dra. Neidiquele Maria Silveira

Rio Claro - SP
2025

S586e

Silva, Vitória Calasso Tamácia da

Efeito da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial de Anadenanthera peregrina (L.) Speg. / Vitória Calasso Tamácia da Silva. -- Rio Claro, 2025

30 p. : fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Neidiquele Maria Silveira

1. Mudanças climáticas. 2. Estresse por alta temperatura. 3. Peroxidação lipídica. 4. Restauração florestal. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

VITÓRIA CALASSO TAMÁCIA DA SILVA

Efeito da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial de Anadenanthera peregrina (L.) Speg.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências, Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Neidiquele Maria Silveira

Prof. Dr. Thales Henrique Dias Leandro

Dra. Brenda Mistral de Oliveira Carvalho

Aprovado em: 10 de novembro de 2025

gov.br Documento assinado digitalmente
VITORIA CALASSO TAMACIA DA SILVA
Data: 01/12/2025 10:07:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do discente

gov.br Documento assinado digitalmente
NEIDIQUELE MARIA SILVEIRA
Data: 01/12/2025 11:58:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Izabel e Silvio, ao meu irmão, Gabriel, e a toda a minha família, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis e que me impulsionam a evoluir e crescer. Sem vocês, chegar até aqui não teria sido possível.

À minha orientadora, Neidiquele, pelo imenso apoio, acolhimento e paciência durante minha estadia no laboratório. Sou muito grata por ter me proporcionado a oportunidade de aprender sob sua tutela e de conhecer ainda melhor o mundo da fisiologia vegetal.

À Naiara, Ester e Mariana, colegas de departamento que me ajudaram imensamente durante a pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório, Caio, Mavi, Fernandinho, Jaque, Edu, Sabrina, Zikang, Ana e Stephanie, pelo amplo acolhimento e parceria. Adorei e aproveitei cada segundo de companheirismo e aprendizado com vocês!

Ao Instituto de Biociências e, em especial, ao Departamento de Biodiversidade, pela oportunidade de conhecer e atuar no Laboratório de Fisiologia Vegetal, bem como pela infraestrutura disponibilizada para a realização dos experimentos.

Às minhas amigas Isa e Rapha, que se tornaram grandes parceiras durante a graduação. Obrigada por todas as festas de aniversário, os cafezinhos que fizemos, as risadas que demos, os filmes que assistimos e todos os bons momentos durante esses anos. Vocês foram um dos pilares mais importantes desta jornada.

A toda a equipe de funcionários da Unesp, especialmente aos trabalhadores da biblioteca e ao pessoal de apoio à graduação, que sempre estiveram dispostos a nos atender e que, com certeza, tornam a graduação mais simples.

RESUMO

As mudanças climáticas têm se intensificado nas últimas décadas, com impacto negativo na biodiversidade e nos ecossistemas. Projeções realizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) preveem a elevação das temperaturas médias globais, com aumentos de 1,5°C a 4°C para as próximas décadas. O estresse térmico pode prejudicar o metabolismo vegetal, especialmente nas fases de germinação e desenvolvimento inicial. A exposição prolongada a altas temperaturas causa a desnaturação de proteínas essenciais, comprometendo o metabolismo. Além disso, o estresse térmico pode resultar na produção de compostos tóxicos, como as espécies reativas de oxigênio e peróxidos lipídicos, que danificam as membranas celulares e outras estruturas vegetais. Diante desse cenário, estudar os efeitos das altas temperaturas nas plantas, especialmente nas fases iniciais de germinação e crescimento, é essencial para compreender o impacto do estresse térmico nas espécies. Portanto, este trabalho teve como objetivo investigar os efeitos da alta temperatura na espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. durante a germinação e o desenvolvimento inicial. Nesse sentido, os tratamentos foram: (I) controle (25°C); (II) temperatura (35°C); (III) temperatura (40°C/30°C) e (IV) temperatura (40°C). As variáveis analisadas foram porcentagem de germinação (%G), índice de velocidade de germinação (IVG), crescimento radicular e de parte aérea e massa seca. Além disso, para identificar danos nas membranas celulares decorrentes de peroxidação lipídica, foi quantificada a concentração de malondialdeído (MDA) nas raízes. Os resultados mostraram que a temperatura de 40°C induziu o acúmulo de MDA, reduzindo o vigor das sementes. Em temperaturas intermediárias (35°C e 40/30°C), observou-se germinação mais lenta e restrições ao crescimento radicular. Esses resultados indicam que estresses térmicos prolongados podem comprometer a sobrevivência e estabelecimento da espécie em áreas de restauração, ressaltando a necessidade de estratégias de manejo que considerem sua sensibilidade às altas temperaturas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Estresse por alta temperatura; Peroxidação lipídica; Restauração florestal.

ABSTRACT

Climate change has intensified in recent decades, exerting negative impacts on biodiversity and ecosystems. Projections by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicate that average global temperatures are expected to rise by 1.5°C to 4°C in the coming decades. Heat stress can impair plant metabolism, especially during germination and early development stages. Prolonged exposure to high temperatures leads to the denaturation of essential proteins, compromising metabolic processes. In addition, heat stress may lead to the production of toxic compounds such as reactive oxygen species and lipid peroxides, which damage cell membranes and other plant structures. In this context, studying the effects of high temperatures on plants, particularly during the initial phases of germination and growth, is essential to understanding the impact of heat stress on species. Therefore, this study aimed to investigate the effects of high temperature on the species *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. during germination and early development. Treatments consisted of: (I) control (25°C); (II) temperature (35°C); (III) temperature (40°C/30°C); and (IV) temperature (40°C). The analyzed variables included germination percentage (%G), germination speed index (GSI), root and shoot growth, and dry mass. Furthermore, to identify cell membrane damage resulting from lipid peroxidation, the concentration of malondialdehyde (MDA) in roots was quantified. Results revealed that exposure to 40°C induced MDA accumulation, leading to reduced seed vigor. At intermediate temperatures (35°C and 40/30°C), slower germination and restricted root growth were observed. These findings indicate that prolonged heat stress may compromise the survival and establishment of this species in restoration areas, emphasizing the importance of management strategies that account for its sensitivity to high temperatures.

Keywords: Climate change; Heat stress; Lipid peroxidation; Forest restoration.

Title in english: Effect of High Temperature on Germination and Early Development of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **8**

1.1 Mudanças Climáticas e a Restauração Florestal **8**

1.2 Germinação e desenvolvimento inicial **9**

1.3 Efeitos da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial **9**

1.4 Objetivo geral **11**

1.5 Objetivos específicos **11**

2 MATERIAL E MÉTODOS **12**

2.1 Espécie estudada **12**

2.2 Estratégia experimental **13**

2.3 Experimento: Teste de germinação **13**

2.4 Peroxidação Lipídica **14**

2.5 Análises Estatísticas **14**

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO **16**

3.1 Variáveis Germinativas (G% e IVG) **16**

3.2 Análises Biométricas 18

3.3 Análise de Peroxidação Lipídica 20

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS **23**

REFERÊNCIAS **24**

1 INTRODUÇÃO

1.1 Mudanças Climáticas e a Restauração Florestal

Ao longo das últimas décadas, o clima global vem passando por uma série de mudanças, caracterizadas como mudanças climáticas. Segundo o Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima (IPCC, 2023), as mudanças climáticas podem ser definidas como alterações no estado climático, evidenciadas por alterações na média de suas variáveis como temperatura, precipitações e umidade relativa do ar, que ocorrem tipicamente durante longos períodos de tempo. De acordo com projeções climáticas realizadas pelo IPCC (2023), pode haver acréscimos de 1,5ºC a 4ºC até 2050 em todo o globo, trazendo impactos negativos para os ecossistemas terrestres e marinhos.

No Brasil, o desmatamento é um dos maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, atividade que contribui significativamente para o agravamento do aquecimento global (Brasil, 2025). Nesse sentido, as políticas de restauração florestal se destacam como uma medida fundamental. A restauração florestal visa recuperar ecossistemas degradados a partir de um cuidadoso plano de manejo, considerando as características, as espécies naturalmente presentes e suas interações na área alvo. A partir do plantio de espécies arbóreas nativas, e considerando os aspectos de sucessão ecológica, a técnica almeja aproximar a fisionomia da floresta degradada àquela da vegetal natural. Assim, a restauração florestal visa garantir a perpetuação dos processos ecológicos naturais, de forma que, a longo prazo, a floresta restaurada consiga se sustentar e não retorne à condição degradada (Crestana, 1993; Ribeiro; Brancalion; Isernhagen, 2009).

As árvores desempenham um papel essencial nesse processo, pois fixam grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera, ajudando a reduzir a concentração de gases de efeito estufa. Além disso, elas desempenham funções ecológicas cruciais, como a regulação do ciclo da água, a manutenção da biodiversidade e a proteção do solo contra a erosão. O reflorestamento pode, ainda, auxiliar na proteção das nascentes e na regeneração de habitats, ao prover alimento e abrigo para diversas espécies (Scarpinella, 2002).

Contudo, para que os projetos de restauração florestal sejam realmente eficazes, é necessário compreender como as plantas serão afetadas pelas altas temperaturas, desde a germinação e desenvolvimento inicial. Assim, poderão ser desenvolvidas estratégias adequadas para melhorar o vigor das sementes e permitir seu estabelecimento no ambiente.

1.2 Germinação e desenvolvimento inicial

A germinação é definida como o início do crescimento radicular do embrião, e pode ser dividida em duas etapas. Em uma primeira etapa, denominada embebição, onde ocorre uma rápida absorção de água até os tecidos da semente. A hidratação de suas macromoléculas é responsável pela ativação de processos metabólicos como a transcrição e a tradução; além disso, o alongamento celular, acompanhado do afrouxamento das paredes celulares, torna os tecidos permeáveis à radícula que, ao emergir do tegumento, marca o fim da segunda etapa da germinação (Kerbauy, 2019; Taiz *et al.*, 2021). Após a germinação, o desenvolvimento inicial é marcado pelo crescimento radicular e do eixo embrionário. É um período chave para a sobrevivência das plântulas, uma vez que se mostram mais sensíveis aos fatores abióticos e bióticos do ambiente, como o estresse hídrico e a herbivoria (Evert; Eichhorn, 2014).

O desenvolvimento do sistema vascular acompanha o alongamento da raiz. A partir do procâmbio, tecido presente no embrião, serão formados o protoxilema e o metaxilema, além do protofloema e metafloema. Os primeiros integrarão o xilema, constituindo traqueídes ou elementos de vaso, enquanto os últimos são responsáveis pela formação do floema, gerando elementos de tubo crivado e células companheiras (Taiz *et al.*, 2021). A plântula estará estabelecida quando, enfim, possuir capacidade de realizar fotossíntese, absorver água e assimilar nutrientes por conta própria (Taiz *et al.*, 2021).

1.3 Efeitos da alta temperatura na germinação e desenvolvimento inicial

A temperatura, assim como a água, luz e oxigênio, é um fator abiótico que influencia a germinação e o desenvolvimento inicial em plantas. Cada espécie apresenta uma temperatura ótima para germinar, assim como limites mínimo e máximo de temperatura para germinação. No entanto, a exposição a altas temperaturas de forma breve ou prolongada pode afetar a ocorrência desses eventos,

uma vez que as sementes são especialmente sensíveis à temperatura nas fases finais de sua maturação (Taiz *et al.*, 2021).

Um dos efeitos mais amplamente reconhecidos da exposição a altas temperaturas é a desnaturação proteica. Sua ação é especialmente danosa às enzimas, que apresentam temperaturas ótimas de funcionamento (Larkindale; Mishkind; Vierling, 2005). O aumento da temperatura para além dos limites ótimos favorece a quebra das ligações não covalentes no centro hidrofóbico das proteínas, levando à diminuição da velocidade de reações catalíticas e culminando na perda de sua conformação funcional (Alberts, 2017; Anfinsen, 1973). As membranas lipídicas também são afetadas pelas altas temperaturas. A exposição ao estresse por altas temperaturas inibe a transcrição de enzimas dessaturases, que catalisam a saturação e insaturação de ácidos graxos, garantindo a fluidez adequada às membranas (Niu; Xiang, 2018; Ruelland; Zachowski, 2010). A exposição contínua ao estresse térmico promove danos subsequentes, a partir da formação de compostos oxidantes tóxicos, conhecidos como espécies reativas de oxigênio (EROs) (Mathur; Agrawal; Jajoo, 2014). São moléculas que, devido ao seu alto poder oxidante, acarretam a deterioração de biomoléculas, como os lipídios de membrana. Essa reação de oxidação, denominada peroxidação lipídica, forma aldeídos reativos, especialmente o malondialdeído (MDA). Tais moléculas se associam à proteínas de membrana, comprometendo sua fluidez e, por conseguinte, comprometem o bom funcionamento de várias reações metabólicas, como a cadeia de transporte de elétrons no fotossistema II. Nesse sentido, essa molécula pode ser utilizada para sinalizar a deterioração de membranas celulares, e é utilizada como um índice para o estresse oxidativo (Yamauchi *et al.*, 2008).

Alguns estudos demonstraram os efeitos das altas temperaturas em sementes do gênero *Anadenanthera*. Nogueira *et al.* (2014) verificaram que a temperatura de 40°C afeta negativamente a taxa de germinação e o índice de velocidade de germinação (IVG), bem como o desenvolvimento de plântulas normais em *A. colubrina*. Além disso, a alta temperatura contribuiu para a redução no tamanho da radícula, o que pode ser prejudicial para o estabelecimento das plântulas no ambiente. Para *A. falcata*, foi observado que a temperatura de 40°C acarretou diminuição expressiva na taxa de germinação, totalizando menos de 20%. Na temperatura de 45°C, o processo germinativo foi completamente inibido (Ribeiro; Borghetti, 2014). Apesar disso, os trabalhos sobre outras espécies do mesmo gênero são escassos, e

não há estudos que avaliem os efeitos das altas temperaturas em *A. peregrina*. Considerando a emergência das mudanças climáticas e o aumento global das temperaturas atmosféricas, é fundamental investigar os efeitos das altas temperaturas sobre essa espécie, uma vez que apresenta grande potencial para a recuperação de áreas degradadas, contribuindo significativamente para a ciclagem de nutrientes, a estocagem de carbono e o enriquecimento do solo (Souza *et al.*, 2023; Torres *et al.*, 2017; Valente *et al.*, 2023). Compreender suas respostas fisiológicas às variações térmicas é crucial para antever os efeitos das mudanças climáticas e desenvolver estratégias de conservação eficazes.

1.4 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo investigar a influência da alta temperatura na germinação e no desenvolvimento inicial da *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg*.,* uma espécie de interesse para projetos de restauração florestal. A principal hipótese do trabalho é que a exposição de sementes de *A. peregrina* a altas temperaturas aumenta a concentração de malondialdeído (MDA) intracelular, reduzindo a germinação e comprometendo o desenvolvimento inicial das plântulas.

1.5 Objetivos específicos

a) Avaliar a porcentagem de germinação (%G) e calcular o índice de velocidade de germinação (IVG) sob distintos regimes de temperatura;

b) Verificar o crescimento radicular e da parte aérea, bem como a massa seca das plântulas sob diferentes regimes térmicos em comparação com o tratamento controle (25°C);

c) Verificar a concentração de malondialdeído (MDA) - índice de dano de membrana - em distintos regimes térmicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Espécie estudada

Neste trabalho, foram utilizadas sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. *A. peregrina* é uma espécie arbórea da família Fabaceae (Mimosoideae), nativa das regiões norte, nordeste e sudeste do Brasil, podendo ocorrer também nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Está presente na mata semidecídua e na transição para o Cerrado. É conhecida popularmente como angico-do-morro ou angico, e encontra aplicação nas indústrias de marcenaria, construção civil e vestuário. Seu uso medicinal é muito difundido entre povos nativos sul-americanos, devido às propriedades anti-inflamatórias, anestésicas e psicoativas (Lorenzi, 1998; Govaerts, 2024).

A espécie pode atingir entre 3 a 27 metros de altura (Chaachouay; Douira; Zidane, 2025). Apresenta folhas compostas bipinadas que portam folíolos opostos, medindo de 12 a 30 centímetros. As flores estão organizadas em inflorescências do tipo capítulo, e ocorrem durante os meses de setembro e outubro. Os frutos são legumes deiscentes, coriáceos e retos de comprimento variando entre 12 a 22 centímetros. Cada fruto abriga entre 8 a 16 sementes achatadas e de coloração marrom escura. A dispersão das sementes é do tipo barocórica, visto que os propágulos tendem a se estabelecer próximos à planta mãe (Costa; Contini; Melo, 2003; Lorenzi, 1998).

Além disso, *A. peregrina* é uma espécie empregada em projetos de restauração florestal diversos. Na recuperação de áreas de mata ciliar, seu uso tem se mostrado adequado dado o sucesso no estabelecimento das plântulas sob várias condições ambientais (Yamashita *et al.*, 2024). Algumas características fisiológicas da espécie podem contribuir para a sua escolha, como o alto potencial germinativo e a capacidade de suportar solos adversos, isto é, compactados, drenados ou encharcados (Giacomelli; Morais, 2018; Lorenzi, 1998; Souza *et al.*, 2012). Ademais, devido à sua capacidade de promover fixação biológica, é uma espécie sugerida para o enriquecimento de solos degradados (Bighi, 2021; Souza *et al.,* 2012). Também é indicada para fomentar o enriquecimento de florestas secundárias, uma vez que tem o potencial de promover o crescimento e desenvolvimento de espécies de diferentes grupos ecológicos em uma comunidade. Dessa forma, a espécie pode contribuir para

o aumento na diversidade vegetal ao longo do tempo (Crestana; Toledo Filho; Campos, 1993; Souza *et al.*, 2012).

2.2 Estratégia experimental

Neste trabalho, foram utilizados quatro tratamentos com distintos regimes térmicos: (I) controle, onde as sementes foram mantidas à temperatura constante de 25°C (temperatura ideal para a germinação desta espécie) (Pinho *et al.*, 2009); (II) sementes mantidas a 35°C constante; (III) sementes acondicionadas a temperaturas alternadas, a cada 12 horas, de 40°C durante o dia e 30°C no período noturno (40°C/30°C); (IV) sementes mantidas à temperatura constante de 40°C. Todos os experimentos foram conduzidos em câmaras de germinação (BOD), sob fotoperíodo de 12 horas (Nogueira *et al.*, 2014). Para cada tratamento, foram utilizadas 40 sementes por repetição, totalizando 4 repetições por tratamento.

2.3 Experimento: Teste de germinação

As sementes utilizadas neste trabalho foram adquiridas a partir da empresa Arbocenter®, localizada em Birigui (SP). Para o teste de germinação, as sementes foram previamente esterilizadas com solução de hipoclorito de sódio 1% (v/v), por 20 minutos.

As sementes foram dispostas em papel filtro (tipo germitest®) umedecido com água destilada. Os papéis foram dispostos, em formato de rolo, em câmara de germinação BOD. A avaliação da germinação foi realizada diariamente, durante 5 dias. Foram consideradas germinadas as sementes com radícula ≥ 1 mm de comprimento. Foram mensurados a porcentagem de germinação (%G) e o índice de velocidade de germinação (IVG).

O percentual de sementes germinadas para cada réplica foi estabelecido pela fórmula: %G = (N/50) x 100 [%], em que N representa o número de sementes germinadas. O total de sementes germinadas foi determinado a partir da média das quatro repetições, e expresso em porcentagem (Brasil, 2009).

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi avaliado de acordo com Maguire (1962), a partir da seguinte fórmula: IVG = $\sum$ (N/t). N representa o número de sementes germinadas, e t representa o tempo, em dias, decorrido desde a semeadura até a última contagem de germinação.

Com o término do experimento, foram realizadas análises biométricas para aferir o crescimento da parte aérea e radicular. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada durante 3 dias para determinação do peso seco da parte aérea e radicular. Foram selecionadas 20 amostras representativas em cada repetição. Adicionalmente, raízes de cada réplica foram coletadas e armazenadas a -20 °C para posterior análise da peroxidação lipídica, pelo método de determinação da concentração de malondialdeído (MDA).

2.4 Peroxidação Lipídica

Buscando avaliar a concentração de MDA – índice de peroxidação lipídica – foi conduzido o ensaio de reatividade ao ácido tiobarbitúrico (TBAR) (Heath; Packer, 1968). Amostras de raízes (aproximadamente 0,2 gramas) foram coletadas e trituradas em 2 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1% (g/v). Em seguida, a solução foi centrifugada a 12.000 g, durante 20 minutos à 4°C, e uma alíquota do sobrenadante (300 µL) foi solubilizada em 1700 µL ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,5%. A solução foi deixada em banho maria a 90°C por 20 minutos e, logo após, levada a banho de gelo por 10 minutos para interromper a reação. Por fim, alíquotas de cada amostra (250 µL) foram avaliadas, em duplicata, a 532 nm, com subtração da absorbância a 600 nm (Silveira *et al.*, 2020).

2.5 Análises Estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software JASP versão 0.95.1 (jasp-stats.org). A normalidade dos dados foi checada a partir do teste estatístico de Shapiro-Wilk, e a homoscedasticidade, via teste de Levene (igualdade de variâncias). Os conjuntos de dados relativos ao índice de velocidade de germinação (IVG) e ao MDA (peroxidação lipídica) se encontraram adequados aos critérios mencionados acima, portanto, foram submetidos ao teste ANOVA one-way com teste pós-hoc de Tukey para a comparação entre os diferentes tratamentos ($p<0,05$ para significância estatística). Os dados de massa seca radicular atenderam à normalidade, mas não à homoscedasticidade, logo, para comparação dos grupos e identificação de diferenças entre eles, foi aplicado o teste ANOVA one-way de Welch com pós-hoc de Games-Howell para comparação dos tratamentos ($p<0,05$ para significância estatística). Os demais conjuntos de dados (massa seca aérea,

comprimento radicular, altura de parte aérea e %G) não atenderam aos critérios de normalidade e homoscedasticidade, portanto, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para aferir possível diferença entre os diferentes tratamentos. Neste caso, quando efeitos significativos forem detectados, os tratamentos serão comparados utilizando o teste pós-hoc de Dunn ($p<0,05$ para significância estatística).

A confecção dos gráficos foi realizada por meio do software GraphPad Prism versão 9.3.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis Germinativas (G% e IVG)

A porcentagem de germinação das sementes variou de acordo com os diferentes regimes de temperatura aplicados. O tratamento controle (25 °C) apresentou a maior taxa de germinação, com 90,63%. Nos regimes térmicos de 35 °C e 40 °C/30 °C houve redução da germinabilidade em 53% e 17%, respectivamente, em relação ao controle; contudo, essas diferenças não foram estatisticamente significativas. Apenas o regime de 40 °C, que reduziu a germinabilidade em 70%, apresentou diferença significativa em comparação ao controle (Figura 1A).

Em relação ao índice de velocidade de germinação (IVG), os resultados denotam que as altas temperaturas promovem diminuição na velocidade de germinação média de *A. peregrina* (Figura 1B). A temperatura controle (25°C) mostrou maior IVG, ou seja, uma emergência mais rápida dentre os tratamentos. A partir do tratamento de 35°C, é possível observar uma queda significativa na velocidade de germinação das sementes em relação ao grupo controle. O IVG foi reduzido em 82%, 60% e 83% das temperaturas 35°C, 40°C/30°C e 40°C respectivamente, comparado ao controle. Não foi encontrada diferença estatística entre os regimes térmicos de 35°C, 40°C/30°C e 40°C.

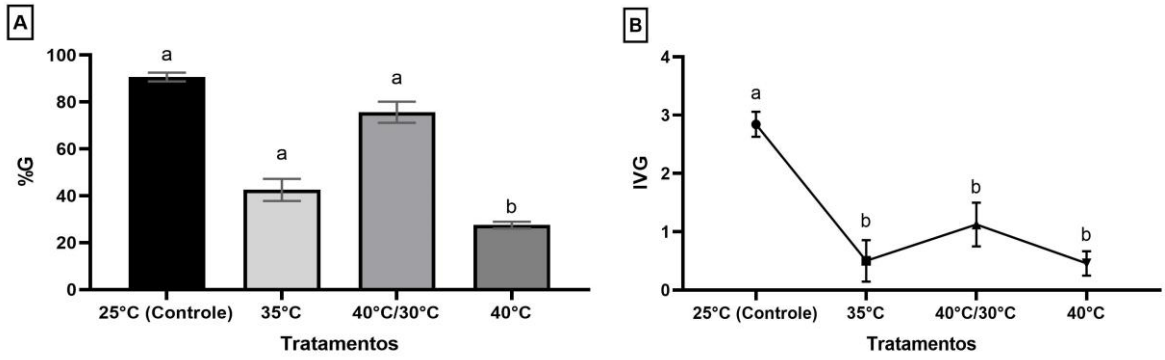


Figura 1 – Porcentagem de Germinação (%G, em A) e índice de velocidade de germinação (IVG, em B) a partir de sementes de *A. peregrina* submetidas aos tratamentos controle (25°C), e os regimes de temperatura de 35°C, 40°C/30°C e 40°C. Os dados representam os valores médios de quatro repetições ± erro padrão. As letras indicam a diferença estatística entre os tratamentos (teste de Dunn para A, e teste de Tukey para B).

A germinação é uma etapa crucial para a sobrevivência e estabelecimento das plântulas, e é um parâmetro que pode ser utilizado como primeira etapa no entendimento dos impactos do estresse térmico sobre a morfofisiologia vegetal (Essemine; Ammar; Bouzid, 2010). Neste trabalho, apenas o regime térmico de 40°C contínuo reduziu a porcentagem e a velocidade de germinação de *Anadenanthera peregrina*. O regime intermitente (40°C/30°C) e o tratamento de 35°C reduziram a velocidade de germinação, ainda que não tenham afetado significativamente a porcentagem de sementes germinadas. Em conjunto, os resultados indicam que exposições prolongadas a extremos térmicos (40°C contínuos) ultrapassam limites fisiológicos críticos da espécie, provocando danos irreversíveis que comprometem a germinação.

A redução acentuada do IVG com o aumento da temperatura para além do ótimo térmico tem implicações ecológicas diretas. Uma germinação mais lenta prolonga o período em que as plântulas permanecem no estado mais vulnerável, aumentando a exposição à estresses bióticos e abióticos, fatores que diminuem a probabilidade de estabelecimento das plântulas e a persistência da população. Esse efeito sobre a velocidade foi documentado em estudos que mostram que o aumento de temperatura desloca a curva de resposta térmica da germinação para fora do ótimo, reduzindo taxa e vigor de emergência (Santelices-Moya *et al.*, 2022; Wawzyniak *et al*., 2023).

Resultados semelhantes foram relatados para outras espécies florestais de interesse em projetos de restauração. Para espécies, como *Anadenanthera falcata* e *Handroanthus impetiginosus*, a temperatura de 40°C diminuiu significativamente a porcentagem de germinação das sementes em comparação à temperatura controle (30°C) (Ribeiro; Borghetti, 2014). Em *Anadenanthera colubrina*, a temperatura de 40°C foi o único regime de alta temperatura que afetou a porcentagem de germinação (%G) e o índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes, enquanto que para o regime de 35°C, também não foram observados efeitos significativos (Nogueira *et al.*, 2014). A espécie *Myracrodruon urundeuva* também teve sua germinação afetada pelas altas temperaturas: o estudo de Oliveira *et al.* (2019) demonstrou que as sementes apresentam baixa taxa de germinação e IVG à 40°C, mas que pode haver variações entre diferentes lotes. Em alguns cultivares, a diminuição na porcentagem de germinação pode ser explicada pelo aumento da taxa de respiração (Nascimento; Cantliffe; Huber, 2005), bem como pela indução ao envelhecimento acelerado

(Corbineau; Picard; Côme, 1994). Esses mecanismos podem representar desafios ainda maiores para espécies florestais de mata decídua ou semidecídua, como as citadas acima, uma vez que geralmente apresentam maior sensibilidade às altas temperaturas (Ribeiro; Borghetti, 2014).

As altas temperaturas, ainda que não produzam efeitos fatais ou significativos para a germinabilidade das sementes, podem comprometer sua qualidade. O aumento da temperatura pode influenciar a fenologia das espécies e provocar um desenvolvimento reprodutivo acelerado, impactando a formação de flores e frutos (Essemine; Ammar; Bouzid, 2010; Oliveira *et al.*, 2020). Isso leva à formação de sementes menores e em menor número por fruto. Para espécies de relevância na alimentação, como cereais, vegetais e legumes, menos sementes representam ameaças ao cultivo e à produtividade, o que amplia os riscos de insegurança alimentar e eleva custos relacionados tanto ao manejo pré-plantio quanto às práticas de manutenção pós-plantio (Hasanuzzaman; Araújo; Gill, 2020; Reed; Bradford; Khanday, 2022; Zabed Hossain; Md Anawar; Chaudhary, 2023).

3.2 Análises Biométricas

Após a realização dos testes germinativos, foi aferido o comprimento da parte aérea e radicular, bem como suas respectivas massas secas.

Em relação à massa seca aérea, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos (Figura 3A). Entretanto, a maior altura da parte aérea foi observada no regime térmico de 35°C, seguida pelos regimes de 40/30°C, 25°C e 40°C (Figura 3C).

Em relação a massa seca radicular, a análise dos dados revelou que os regimes térmicos contínuos (35°C e 40°C) se mostraram significativamente inferiores ao controle, produzindo radículas de biomassa 68% e 95,2% menores, respectivamente. No entanto, os tratamentos controle e 40°C/30°C não diferiram entre si (Figura 3B).

Em consonância, radículas com menor massa também apresentaram menor comprimento (Figuras 2 e 3D). Os regimes térmicos de 35°C, 40°C/30°C e 40°C diferiram estatisticamente em relação ao controle, com radículas de comprimentos 61,7%, 46,1% e 78,75% menores, respectivamente.

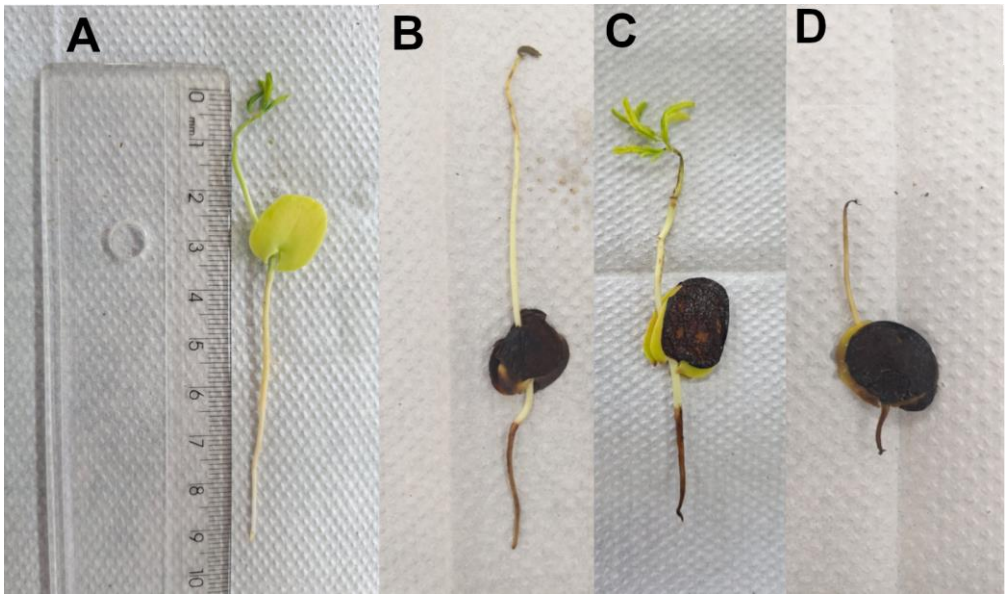


Figura 2 – Plântulas representativas de *A. peregrina* submetidas aos tratamentos A – 25°C; B – 35°C; C- 40°C/30°C; D – 40°C no quinto dia de avaliação.

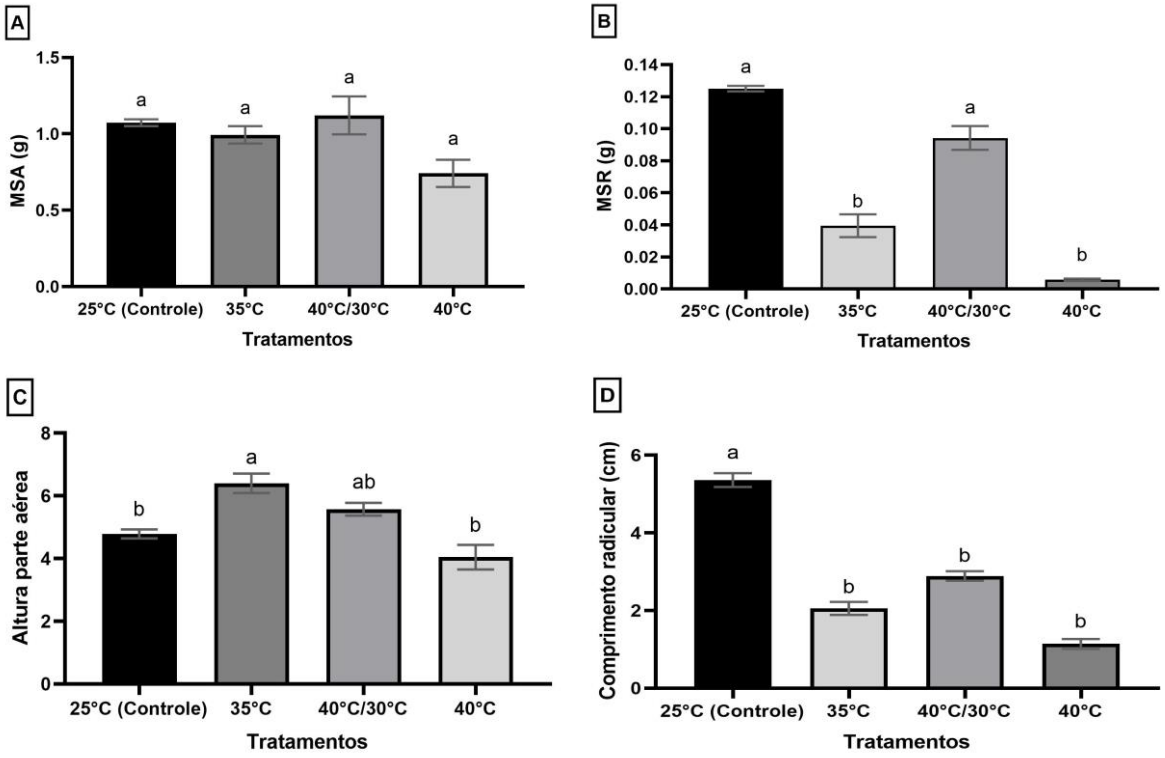


Figura 3 – Massa seca de parte aérea (MSA em A), massa seca radicular (MSR, em B) e altura de parte aérea (em C) e comprimento radicular (em D) aferida para os tratamentos controle (25°C) e os regimes de temperatura de 35°C, 40/30°C e 40°C. Os dados representam os valores médios de quatro repetições ± erro padrão. As letras indicam a diferença estatística entre os tratamentos (teste de Dunn para A, C e D; teste de Tukey para B).

Os resultados obtidos sugerem que as diferenças observadas entre parte aérea e radicular podem estar associadas a distintas estratégias de alocação das reservas seminais em resposta ao estresse térmico. Enquanto regimes térmicos contínuos (35°C e 40°C) resultaram em radículas mais curtas e com menor biomassa, nos regimes térmicos de 35°C e 40/30°C houve favorecimento relativo do comprimento da parte aérea, ainda que sem incremento proporcional em massa seca. Esse padrão é consistente com o observado por Felix *et al.* (2020) em *Erythrina velutina*, em que temperaturas elevadas promoveram mobilização acelerada das reservas dos cotilédones para o crescimento inicial do eixo embrionário, com tendência de direcionamento ao desenvolvimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular. Resultados semelhantes também foram reportados em outras espécies, onde o aumento da temperatura alterou a arquitetura do sistema radicular e favoreceu o crescimento do caule ou hipocótilo em detrimento das raízes (Sun *et al.*, 2012; Luo *et al.*, 2020). Esse consumo rápido das reservas favorece inicialmente o crescimento da parte aérea, mas, ao comprometer o desenvolvimento radicular, evidencia que tal estratégia adaptativa de curto prazo é insuficiente para garantir o pleno desenvolvimento das plântulas em condições de estresse térmico. Raízes reduzidas têm menor capacidade de captar água e nutrientes, o que impacta diretamente o estabelecimento e sobrevivência das plantas (González-García *et al.*, 2023).

3.3 Análise de Peroxidação Lipídica

A partir da análise de peroxidação lipídica, não foi observada diferença significativa para os regimes térmicos de 35°C e 40°/30°C em relação ao controle (25°C). No entanto, os resultados obtidos demonstram um aumento significativo, de 4 vezes na concentração de MDA para o regime térmico de 40°C (Figura 4). Não foi observada diferença estatística entre regimes térmicos de 25°C, 35°C e 40°/30°C. Nesse sentido, é possível afirmar que houve dano de membrana no regime térmico de 40°C.

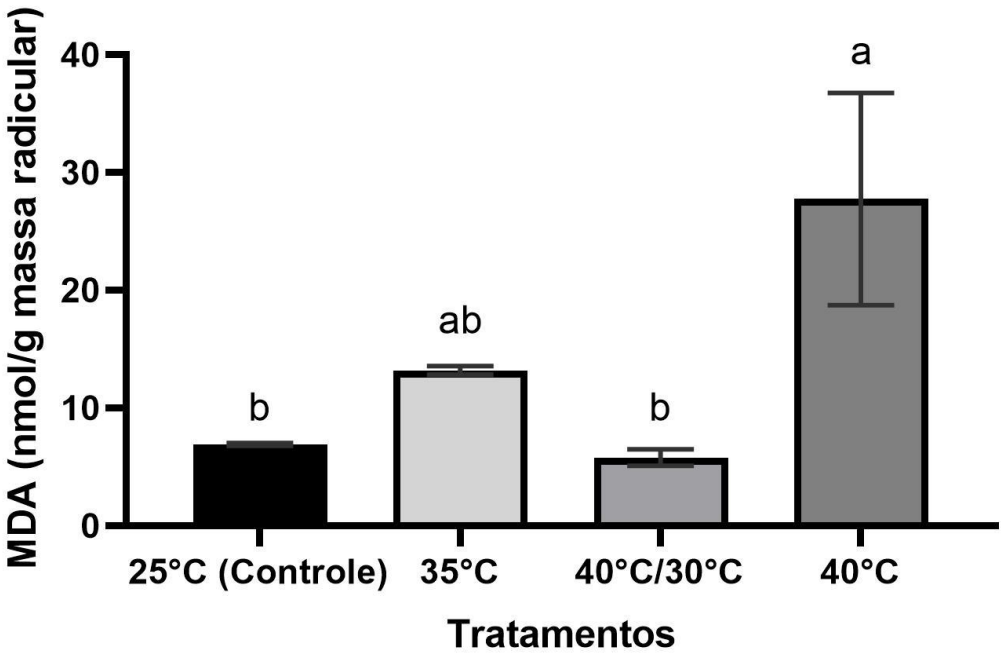


Figura 4 - Concentração de malondialdeído (MDA) radicular em nmol/g de massa fresca para os tratamentos controle (25°C), e os regimes de temperatura de 35°C, 40°C/30°C e 40°C. Os dados representam os valores médios de três repetições ± erro padrão. As letras indicam a diferença estatística entre os tratamentos (teste de Tukey).

Altos níveis de MDA tecidual estão fortemente associados à danos induzidos pelo estresse térmico (Nahar *et al.*, 2015; Hasanuzzaman; Araújo; Gill, 2020). As altas temperaturas induzem a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), e a produção excessiva e acúmulo dessas moléculas promove danos oxidativos às membranas celulares, enzimas e fotossistemas, prejudicando o metabolismo energético e fotossintético dos vegetais (Hasanuzzaman; Araújo; Gill, 2020). Nesse sentido, os níveis de MDA observados nos resultados apontam para a existência de danos graves às membranas celulares, notavelmente provocados pelo maior regime térmico a 40°C (Nahar *et al.*, 2015).

No trabalho de Li *et al.* (2024), plântulas de soja em condição de alta temperatura apresentaram níveis de MDA radicular elevados em relação ao controle. O estudo realizado por Zandalinas *et al.* (2017) revelou que plantas de *Citrus* spp. acumularam concentrações significativas de MDA quando expostas ao estresse térmico de 40°C. Luo *et al.* (2021) avaliaram o conteúdo de MDA radicular em amostras de *Triticum aestivum* submetidas ao regime de 42°C, concluindo que as

altas temperaturas promoveram maior acúmulo de MDA nas raízes em relação ao grupo controle.

Para lidar com os efeitos do estresse oxidativo, as plantas contam com mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos. Outro mecanismo é a produção de proteínas de choque térmico (‘heat shock proteins’), substâncias osmoprotetoras e antioxidantes (Nahar *et al.*, 2015; Hasanuzzaman, 2020). Estudos em espécies arbóreas evidenciam que esses mecanismos desempenham papel crucial frente ao estresse térmico, mitigando o dano oxidativo (Shafqat *et al.*, 2021; Osório *et al.*, 2011; Rached-Kanouni; Alatou, 2013). Por outro lado, quando o sistema antioxidante é insuficiente, os efeitos deletérios do calor tornam-se mais pronunciados (Lima; Gurgel; Borges, 2021; Reis *et al.*, 2021, 2022).

Assim, fica evidente que a combinação de mecanismos antioxidantes e outros recursos, como as proteínas de choque térmico, constituem um eixo central da tolerância vegetal ao estresse térmico. De acordo com Hasanuzzaman *et al.* (2012), plantas com níveis mais elevados de antioxidantes apresentam maior tolerância a diferentes tipos de estresses ambientais, reforçando a importância desses mecanismos na adaptação das plantas a condições adversas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que os distintos regimes térmicos exercem efeitos diferentes sobre a germinação e o desenvolvimento inicial da *Anadenanthera peregrina*. O regime térmico de 40°C comprometeu severamente a germinação. Nos regimes térmicos de 35°C e 40/30°C, embora tenha ocorrido germinação, esta se deu de forma mais lenta e acompanhada de comprometimento do crescimento radicular. Especificamente a 35 °C, observou-se não apenas desaceleração na germinação e redução do crescimento das raízes, como também menor massa seca radicular. Os resultados deste estudo reforçam que a exposição das sementes a elevadas temperaturas pode limitar a sobrevivência e o estabelecimento da espécie em áreas de restauração, salientando a necessidade de estratégias de manejo que considerem a sensibilidade das sementes e plântulas, bem como o desenvolvimento e aplicação de pesquisas voltadas à mitigação dos efeitos deletérios das altas temperaturas em espécies florestais.

REFERÊNCIAS

ALBERTS, B. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017. E-book. p.172. ISBN 9788582714232. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582714232/. Acesso em: 12 mar. 2025.

ANFINSEN, C. B. Principles that Govern the Folding of Protein Chains. **Science**, [S.L.], v. 181, n. 4096, p. 223-230, 20 jul. 1973. American Association for the Advancement of Science (AAAS). Disponível em: http://dx.doi.org/10.1126/science.181.4096.223. Acesso em: 12 mar. 2025.

BIGHI, K. N. **Fixação biológica de nitrogênio e aspectos nutricionais em povoamentos de *Anadenanthera peregrina* var. peregrina e *Schizolobium parahyba* var. amazonicum em função da densidade de plantio e condições ambientais**, 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2021. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/handle/10/14480. Acesso em: 23 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 399 p., 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfda/arquivos-publicacoes-laboratorio/regras-para-analise-de-sementes.pdf/view. Acesso em: 12 mar. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **O Brasil no enfrentamento à mudança do clima**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima. Acesso em: 04 mar. 2025.

CHAACHOUAY, N.; DOUIRA, A.; ZIDANE, L. Yopo (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. Fabaceae). In: CHAACHOUAY, N.; AZEROUAL, A.; ZIDANE, L. (ed.). **Comprehensive Guide to Hallucinogenic Plants**. Abingdon: Taylor & Francis Group, 2025. p. 121-129.

CORBINEAU, F.; PICARD, M.; CÔME, D. EFFECTS OF TEMPERATURE, OXYGEN AND OSMOTIC PRESSURE ON GERMINATION OF CARROT SEEDS: EVALUATION OF SEED QUALITY. **Acta Horticulturae**, [S.L.], n. 354, p. 9–16, 1994.

COSTA, R. B. D.; CONTINI, A. Z.; MELO, E. S. de P. Sistema reprodutivo de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Vochysia haenkiana* (Spreng.) Mart. em fragmento de cerrado na Chapada dos Guimarães - MT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 305-310, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782003000200019.

CRESTANA, M. DE S.; TOLEDO FILHO, D. V.; CAMPOS, J. B. **Florestas: sistemas de recuperação com essências nativas**. 1 ed. Campinas: CATI, 1993. 60 p.

ESSEMINE, J.; AMMAR, S.; BOUZID, S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defence. **Journal of Biological Sciences,** [S.L.], v. 10, p. 565–572, 2010.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. E-book. p.536. ISBN 978-85-277-2384-8. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-2384-8/. Acesso em: 08 mar. 2025.

GIACOMELLI, F. B.; MORAIS, G. A. D. Aperfeiçoamento tecnológico da semeadura direta de espécies nativas para a restauração florestal. **ANAIS DO EGRAD**, 4(7), 2018. Disponível em: https://anaisonline.uems.br/index.php/egrad/article/view/4672. Acesso em: 23 mar. 2025.

GONZÁLEZ-GARCÍA, M. P.; CONESA, C. M.; LOZANO-ENGUITA, A.; BACA-GONZÁLEZ, V.; SIMANCAS, B.; NAVARRO-NEILA, S.; SÁNCHEZ-BERMðDEZ, M.; SALAS-GONZÁLEZ, I.; CARO, E.; CASTRILLO, G. Temperature changes in the root ecosystem affect plant functionality. **Plant Communications**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 100514, maio 2023. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100514. Acesso em: 14 set 2025.

GOVAERTS, R. **Anadenanthera peregrina** (L.) Speg. In: GOVAERTS, R. **The World Checklist of Vascular Plants (WCVP)**. Royal Botanic Gardens, Kew, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.15468/6h8ucr. Acesso em: 23 mar. 2025.

HASANUZZAMAN, M. (org.). **Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II: Mechanisms of Adaptation and Stress Amelioration**. Singapore: Springer Singapore, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-981-15-2172-0. Acesso em: 11 set. 2025.

HASANUZZAMAN, M.; ARAÚJO, S.; GILL, S. S. (org.). **The Plant Family Fabaceae: Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses**. Singapore: Springer Singapore, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-981-15-4752-2. Acesso em: 10 set. 2025.

HASANUZZAMAN, M.; HOSSAIN, M. A.; SILVA, J. A. T. D.; FUJITA, M (ed.). Plant Response and Tolerance to Abiotic Oxidative Stress: antioxidant defense is a key factor. In: **Crop Stress And Its Management**: Perspectives and Strategies, [S.L.], p. 261-315, 18 out. 2011. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2220-0_8. Acesso em: 10 set. 2025.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. **Archives Of Biochemistry And Biophysics**, [S.L.], v. 125, n. 1, p. 189-198, abr. 1968. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1. Acesso em: 12 mar. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1. ed. [S.L.] Cambridge University Press, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf . Acesso em: 20 mar. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. Summary for policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of**

Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H. Lee; J. Romero (Ed.). Gênova: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Acesso em: 07 mar. 2025.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. E-book. p.359. ISBN 9788527735612. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788527735612/. Acesso em: 07 mar. 2025.

LARKINDALE, J.; MISHKIND, M.; VIERLING, E. Plant responses to high temperature. In: JENKS, M. A.; HASEGAWA, P. M. (ed.). **Plant Abiotic Stress**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. Cap. 5. p. 100-144.

LI, J.; WU, M.; CHEN, H.; LIAO, W.; YAO, S.; WEI, Y.; WANG, H.; LONG, Q.; HU, X.; WANG, W. An integrated physiological indicator and transcriptomic analysis reveals the response of soybean buds to high-temperature stress. **Bmc Plant Biology**, [S.L.], v. 24, n. 1, 20 nov. 2024. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1186/s12870-024-05798-8. Acesso em: 14 set. 2025.

LIMA, C. C.; GURGEL, E. S. C.; BORGES, E. E. D. L. E. Antioxidant enzyme activity in germination of Dalbergia spruceana seeds under different temperatures. **Journal Of Seed Science**, [S.L.], v. 43, p. 1-2, 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43244385. Acesso em: 23 mar. 2025.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1998. v. 2, 351 p.

LUO, H.; XU, H.; CHU, C.; HE, F.; FANG, S. High Temperature can Change Root System Architecture and Intensify Root Interactions of Plant Seedlings. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 11, 26 fev. 2020. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.00160. Acesso em: 14 set. 2025.

LUO, Y. XIE, Y.; LI, W.; WEI, M.; DAI, T.; LI, Z.; WANG, B. Physiological and Transcriptomic Analyses Reveal Exogenous Trehalose Is Involved in the Responses of Wheat Roots to High Temperature Stress. **Plants**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 2644, 1 dez. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/plants10122644. Acesso em: 14 set. 2025.

MAGUIRE, J. D. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor1. **Crop Science**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 176-177, mar. 1962. Wiley. Disponível em: http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x. Acesso em: 12 mar. 2025.

MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: response to high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S.L.], v. 137, p. 116-126, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134414000190#b0580. Acesso em: 11 mar. 2025.

NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; AHAMED, K. U.; HAKEEM, K. R.; OZTURK, M.; FUJITA, M. Plant Responses and Tolerance to High Temperature Stress: Role of Exogenous Phytoprotectants. In: HAKEEM, K. R. (org.). **Crop Production and Global Environmental Issues**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 385–435. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-23162-4_17. Acesso em: 11 set. 2025.

NASCIMENTO, W. M.; CANTLIFFE, D. J.; HUBER, D. J. Seed aging affects ethylene production and endo--mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. **Seed Science and Technology**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 11–17, 2005.

NIU, Y.; XIANG, Y. An overview of biomembrane functions in plant responses to high-temperature stress. **Frontiers in Plant Science**, [S.L.], v. 9, p. 915, 2018. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.00915/full. Acesso em: 11 mar. 2025.

NOGUEIRA, F. C. B.; PINHEIRO, C. L.; FILHO, S. M.; MATOS, D. M. D. S. Seed germination and seedling development of *Anadenanthera colubrina* in response to weight and temperature conditions. **Journal of Plant Sciences**, [S.L.] v. 2, n. 1, p. 37-42, fev. 2014. Disponível em: https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.jps.20140201.17. Acesso em: 22 mar. 2025.

OLIVEIRA, G. M. D.; SILVA, F. F. S. D.; ARAUJO, M. D. N.; COSTA, D. C. D.; GOMES, S. E. V.; MATIAS, J. R.; ANGELOTTI, F.; CRUZ, C. R. P.; SEAL, C. E.; DANTAS, B. F. Environmental stress, future climate, and germination of Myracrodruon urundeuva seeds. **Journal Of Seed Science**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 32-43, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191945. Acesso em: 14 set. 2025.

OLIVEIRA, G. M. D.; ANGELOTTI, F.; MARQUES, E. J. N.; SILVA, F. F. S. D.; PELACANI, C. R.; DANTAS, B. F. Climate and the Myracrodruon urundeuva Allemão seed production. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 07, p. 3689-3697, 11 dez. 2020. http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3689-3697. Acesso em: 14 set. 2025.

OSÓRIO, M. L.; OSÓRIO, J.; VIEIRA, A. C.; GONÇALVES, S.; ROMANO, A. Influence of enhanced temperature on photosynthesis, photooxidative damage, and antioxidant strategies in Ceratonia siliqua L. seedlings subjected to water deficit and rewatering. **Photosynthetica**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 3-12, 1 mar. 2011. Institute of Experimental Botany. http://dx.doi.org/10.1007/s11099-011-0001-7. Acesso em: 14 set. 2025.

PINHO, D. S.; BORGES, E. E. L. E.; CORTE, V. B.; NASSER, L. C. B. Evaluation of the physiological quality of anadenenthera peregrina (L.) Speg. seeds during storage. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, p. 27–33, 2009.

RACHED-KANOUNI, M.; ALATOU, D. Change in activity of antioxidative enzymes in leaves of Acacia retinodes, Biota orientalis and Casuarina equisetifolia under heat stress condition. **European Scientific Journal**, v. 9, n. 24, 2013.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, [s. l.], v. 128, n. 6, p. 450–459, 2022.

REIS, L. P.; BORGES, E. E. L. E.; BRITO, D. S.; BERNARDES, R. C.; ARAÚJO, R. D. S. Heat stress-mediated effects on the morphophysiological, biochemical, and ultrastructural parameters of germinating *Melanoxylon brauna* Schott. seeds. **Plant Cell Reports**, [s. l.], v. 40, n. 9, p. 1773–1787, 2021.

REIS, L. P.; BORGES, E. E. L. E.; BERNARDES, R. C.; SOUZA, G. A.; ARAÚJO, R. D. S. Heat stress negatively affects physiology and morphology during germination of *Ormosia coarctata* (Fabaceae, Papilionoideae). **Protoplasma**, [s. l.], v. 259, n. 6, p. 1427–1439, 2022.

RIBEIRO, L. C.; BORGHETTI, F. Comparative effects of desiccation, heat shock and high temperatures on seed germination of savanna and forest tree species: Germination of Forest and Savanna Seeds. **Austral Ecology**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 267–278, 2014. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aec.12076. Acesso em: 22 mar. 2025.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (ed.). **Referencial dos Conceitos e Ações de Restauração Florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ, 2009. Disponível em: http://media.wix.com/ugd/5da841_f47ee6a4872540ee8c532166fbb7e7b0.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.

RUELLAND, E.; ZACHOWSKI, A. How plants sense temperature. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v. 69, n. 3, p. 225-232, dez. 2010. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.011. Acesso em: 12 mar. 2025.

SCARPINELLA, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12042010-112054/. Acesso em: 06 mar. 2025.

SANTELICES-MOYA, R. E.; ORTEGA, M. G.; TAPIA, M. A.; RODRÍGUEZ, E. C.; CABRERA-ARIZA, A. M. Effect of Temperature on the Germination of Five Coastal Provenances of Nothofagus glauca (Phil.) Krasser, the Most Representative Species of the Mediterranean Forests of South America. **Plants**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 297, 24 jan. 2022. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/plants11030297. Acesso em: 14 set 2025.

SHAFQAT, W.; JASKANI, M. J.; MAQBOOL, R.; CHATTHA, W. S.; ALI, Z.; NAQVI, S. A.; HAIDER, M. S.; A KHAN, I.; VINCENT, C. I. Heat shock protein and aquaporin expression enhance water conserving behavior of citrus under water deficits and high temperature conditions. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v. 181, p. 104270, jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104270. Acesso em: 14 set. 2025.

SILVEIRA, N. M.; RIBEIRO, R. V.; PRATAVIERA, P. J. C.; PISSOLATO, M. D.; PIERETTI, J. C.; SEABRA, A. B.; MACHADO, E. C. Germination and initial growth of

common bean plants under water deficit as affected by seed treatment with S-nitrosoglutathione and calcium chloride. **Theoretical And Experimental Plant Physiology**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 49-62, 3 fev. 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s40626-020-00166-x. Acesso em: 12 mar. 2025.

SOUZA, P. B. D.; SOUZA, A. L. D.; COSTA, W. D. S.; PELOSO, R. V. D.; LANA, J. M. D. Florística e diversidade das espécies arbustivo-arbóreas regeneradas no sub-bosque de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. **Cerne**, v. 18, p. 413-421, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000300008. Acesso em: 23 mar. 2025.

SOUZA, P. H. D.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A.; PAULA, R. R.; MOMOLI, D. R.; MOREAU, J. S.; GOMES, G. S. L.; GOMES, R.; SANQUETTA C. R. Comparing spacings of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg stand: response in biomass and carbon stock above and below ground. **Revista Ambiente & Água**, v. 18, p. e2919, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2919. Acesso em: 25 mar. 2025.

SUN, J.; QI, L.; LI, Y.; CHU, J.; LI, C. PIF4–Mediated Activation of YUCCA8 Expression Integrates Temperature into the Auxin Pathway in Regulating Arabidopsis Hypocotyl Growth. **Plos Genetics**, [S.L.], v. 8, n. 3, 29 mar. 2012. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pgen.1002594. Acesso em: 14 set. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ArtMed, 2021. E-book. p.376. ISBN 9786581335113. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786581335113/. Acesso em: 07 mar. 2025.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; NETO, S. N. D. O.; SOUZA, A. L. D.; CAMPOS, R. A.; SCHETTINI, B. L. S. Análise fitossociológica e valor de importância em carbono para uma Floresta Estacional Semidecidual. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00099714, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2179-8087.099714. Acesso em: 25 mar. 2025.

VALENTE, F. D. D. A.; CASTRO, M. F. D.; FILHO, J. F. L.; LOPES, A. T.; BORGES, S. R.; GOMES, L. C.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R. D.; OLIVEIRA, T. S. D. Litterfall production, decomposition and litter nutrient contents in a mined area revegetated with different forest species. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, p. e0220122, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220122. Acesso em: 25 mar. 2025.

YAMASHITA, V. P.; NASCIMENTO, M. D. M.; PERONI, G.; CÉSAR, R. G.; LOBO, T. F.; BRITO, G. R. D.; SIQUEIRA, M. V. B. M. O Uso do Lodo de Esgoto Compostado como Adubo no Desenvolvimento Inicial de *Anadenanthera peregrina* em Plantios de Restauração Florestal. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 13, n. 1, p. 187-199, 2024.

YAMAUCHI, Y.; FURUTERA, A.; SEKI, K.; TOYODA, Y.; TANAKA, K.; SUGIMOTO, Y. Malondialdehyde generated from peroxidized linolenic acid causes protein modification in heat-stressed plants. **Plant Physiology And Biochemistry**, [S.L.], v.

46, n. 8-9, p. 786-793, ago. 2008. Elsevier BV. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.04.018. Acesso em: 12 mar. 2025.

ZABED HOSSAIN, M.; MD ANAWAR, H.; CHAUDHARY, D. R. **Climate Change and Legumes: Stress Mitigation for Sustainability and Food Security**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2023. Disponível em: https://www.taylorfrancis.com/books/9781003214885. Acesso em: 14 set. 2025.

ZANDALINAS, S. I.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Modulation of Antioxidant Defense System Is Associated with Combined Drought and Heat Stress Tolerance in Citrus. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 953, 2017.