UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO

TEMPERATURA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *Physalis pubescens* L.

DARLENE PEREIRA DA SILVA

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
Março, 2026

TEMPERATURA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *Physalis pubescens* L.

DARLENE PEREIRA DA SILVA
Bacharel em Engenharia Florestal
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientadora: Prof.ª Drª. Manuela Oliveira de Souza
Coorientadora: Prof.ª Drª. Andrea Vita Reis Mendonça

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

S586t

Silva, Darlene Pereira da.
Temperatura e restrição hídrica na germinação e desenvolvimento pós-seminal de *Physalis pubescens* L. (Solanaceae) / Darlene Pereira da Silva._ Cruz das Almas, BA, 2026.
57f.; il.

Orientadora: Prof.ª Drª. Manuela Oliveira de Souza.
Coorientadora: Prof.ª Drª. Andrea Vita Reis Mendonça.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.

1.Plantas endêmicas – Solanaceae. 2.Condições hídricas – Sementes – Germinação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 573.4

Ficha elaborada pela Biblioteca Central da UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO

TEMPERATURA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *Physalis pubescens* L.

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Darlene Pereira da Silva

Aprovada em 27 de março de 2026:

gov.br Documento assinado digitalmente
MANUELA OLIVEIRA DE SOUZA
Data: 17/08/2026 10:42:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª Manuela Oliveira de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, BA
(Orientadora)

gov.br Documento assinado digitalmente
GRENIVEL MOTA DA COSTA
Data: 17/08/2026 12:41:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Grênivel Mota da Costa
(Examinador Externo)

gov.br Documento assinado digitalmente
ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Data: 17/08/2026 10:36:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir concluir mais essa etapa da minha vida.

A meus pais, Cesar e Marlene (*in memoriam*), por toda ajuda, dedicação e esforço que fez para que eu chegasse até aqui, por serem o meu maior exemplo de vida, sempre me apoiando e incentivando meus sonhos. Obrigada por serem os melhores pais do mundo!

A meu filho Luiz por ser o meu combustível para vencer todas as dificuldades e o meu conforto sendo responsável por meus risos e alegrias, tão importante nesse processo.

A minha orientadora Manuela e coorientadora Andrea, por todo o apoio e dedicação nesse trabalho, só tenho a agradecer por tudo que me ensinaram e por toda paciência durante todo esse período.

Obrigada a minha irmã Daiane, especialmente por ter me aturado quando chegava em casa cansada e estressada do laboratório.

Ao meu namorado Vinicius por estar ao meu lado mesmo quando eu estava insuportavelmente chata sempre me dando dar força para que conseguisse finalizar esse trabalho.

Aos professores por toda a ajuda e ensinamentos e aos meus colegas por todas as diversões, conversas e ajudas.

As estagiarias Micaela e Samily por todo o auxílio na execução desse projeto.

A todos os funcionários do prédio de Engenharia Florestal, especialmente Sandra, Gabriela e Vitoria.

A CAPES pela bolsa de mestrado e a FAPESB pelo financiamento do projeto.

TEMPERATURA E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *Physalis pubescens*

RESUMO GERAL: *Physalis pubescens* L. (Solanaceae) é uma espécie de elevado valor nutricional e potencial econômico, cujo cultivo ainda carece de informações sobre fatores ambientais que influenciam a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar as respostas fisiológicas de sementes da espécie sob condições térmicas e hídricas, visando subsidiar estratégias de produção de mudas e manejo agrícola. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, avaliando-se parâmetros germinativos, vigor e formação de plântulas sob gradientes de temperatura e potenciais osmóticos simulados com polietilenoglicol. A germinação ocorreu entre 10 e 35 °C, com inibição total a 5 °C, 40 °C e 45 °C. Nesse intervalo térmico, a taxa média de germinação manteve-se elevada (94%), embora a qualidade morfológica das plântulas tenha variado conforme a temperatura. A maior proporção de plântulas normais (61%) foi observada a 27 °C, enquanto a menor incidência de plântulas anormais (26,3%) ocorreu a 25 °C . Como essas variáveis são complementares, sua análise conjunta indica que o desempenho fisiológico se mantém semelhante em uma faixa mais ampla, e não em um ponto específico. Assim, considerando pequenas variações aceitáveis (5–10%) na proporção de anormalidades e as oscilações naturais de temperatura em condições experimentais, a faixa ótima pode ser ampliada para aproximadamente 23 °C a 28 °C. Acima desse intervalo, há aumento de plântulas anormais e redução da uniformidade, indicando prejuízo à qualidade fisiológica. Na comparação entre os lotes, as sementes do segundo lote apresentaram deslocamento do ponto ótimo para temperaturas ligeiramente inferiores (23–25 °C), indicando capacidade adaptativa e plasticidade fisiológica frente à variação térmica, características relevantes para processos de domesticação e expansão agrícola em cenários de mudanças climáticas. A restrição hídrica também afetou negativamente a germinação e o vigor das sementes, alterando o tempo médio de germinação e a qualidade das plântulas de *P. pubescens*. O potencial osmótico de −1,0 MPa, embora tenha aumentado o tempo de germinação, favoreceu a formação de plântulas normais. Enquanto o potencial de −0,6 MPa reduziu o tempo de germinação, mas resultou em maior ocorrência de plântulas anormais, evidenciando que a maior velocidade germinativa, isoladamente, não representa melhor desempenho fisiológico.

Palavras-chave: temperatura cardeal; estresse osmótico; vigor de plântulas; plasticidade fisiológica.

TEMPERATURE AND WATER STRESS ON THE GERMINATION AND POST-SEMINAL DEVELOPMENT OF *Physalis pubescens* L.

GENERAL ABSTRACT: *Physalis pubescens* is a species of high nutritional value and economic potential whose cultivation still lacks information regarding environmental factors influencing germination and the initial establishment of seedlings. In this context, this study aimed to evaluate the physiological responses of the species' seeds under thermal and water stress conditions, seeking to support seedling production strategies and agricultural management practices. The experiments were conducted in a completely randomized design, evaluating germination parameters, vigor, and seedling formation under temperature gradients and osmotic potentials simulated with polyethylene glycol. Germination occurred between 10 and 35 °C, with complete inhibition at 5 °C, 40 °C, and 45 °C. Within this thermal range, the average germination rate remained high (94%), although the morphological quality of the seedlings varied according to temperature. The highest proportion of normal seedlings (61%) was observed at 27 °C, while the lowest incidence of abnormal seedlings (26.3%) occurred at 25 °C. Since these variables are complementary, their joint analysis indicates that physiological performance remains similar over a broader range rather than at a single specific point. Thus, considering small acceptable variations (5–10%) in the proportion of abnormalities and the natural temperature fluctuations under experimental conditions, the optimal range may be extended to approximately 23 °C to 28 °C. Above this range, there was an increase in abnormal seedlings and a reduction in uniformity, indicating impairment of physiological quality. When comparing seed lots, the seeds from the second lot showed a shift in the optimum point toward slightly lower temperatures (23–25 °C), indicating adaptive capacity and physiological plasticity in response to thermal variation, characteristics that are relevant for domestication processes and agricultural expansion under climate change scenarios. Water restriction also negatively affected seed germination and vigor, altering the mean germination time and seedling quality of *Physalis pubescens*. The osmotic potential of −1.0 MPa, despite increasing germination time, favored the formation of normal seedlings. In contrast, the osmotic potential of −0.6 MPa reduced germination time but resulted in a higher occurrence of abnormal seedlings, demonstrating that higher germination speed alone does not necessarily represent better physiological performance.

Keywords: Seed germination; cardinal temperature; osmotic stress; seedling vigor; physiological plasticity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11
2.1 Caracterização da espécie *Physalis pubescens* L. 11
2.1.1 Plasticidade fisiológica, ecofisiologia e potencial para melhoramento em *Physalis* (Solanaceae) 12
2.2 Fatores ambientais e fisiológicos que regulam a germinação em Solanaceae 14
2.2.1 Fatores bióticos. 15
2.2.2 Fatores abióticos. 16
3 REFERÊNCIAS..... 18
CAPÍTULO I.....22
RESUMO..... 23
ABSTRACT 24
1 INTRODUÇÃO 25
2 MATERIAL E MÉTODOS..... 27
3 RESULTADO **29**
4 DISCUSSÃO **32**
5 CONCLUSÕES.....**36**
6 REFERÊNCIA **37**
CAPÍTULO II.....41
RESUMO..... 42
ABSTRACT 43
1 INTRODUÇÃO 44
2 MATERIAL E MÉTODOS..... 45
3 RESULTADO **48**
4 DISCUSSÃO **52**
5 CONCLUSÃO **53**
6 REFERÊNCIA **53**

1. INTRODUÇÃO GERAL

Physalis pubescens L. é uma espécie de crescente interesse econômico, pertencente à família Solanaceae, conhecida por seus frutos nutritivos e aromáticos, de alto valor agregado e potencial para diversificação de culturas hortícolas (ZIMMER et al., 2020; JIANG et al., 2024). Seus frutos podem ser consumidos in natura ou processados na forma de geleias, licores e doces, além de utilizados na decoração de bolos e saladas (ZIMMER et al., 2019; LIANG et al., 2024). As raízes, folhas e caules também apresentam compostos bioativos com propriedades anti-inflamatórias, diuréticas, analgésicas e antitumorais, o que amplia seu potencial para uso farmacêutico e funcional (YUAN-CE et al., 2023).

Apesar dessa relevância, *P. pubescens* permanece pouco estudada, principalmente no que se refere à resposta fisiológica de sementes a condições ambientais, havendo carência de informações sobre sua germinação sob restrição hídrica e conhecimento sobre as temperaturas cardeais. Embora existam estudos com outras espécies do gênero *Physalis*, ainda não está claro como *P. pubescens* responde a esses fatores, especialmente considerando sua ampla ocorrência em áreas antrópicas e ambientes frequentemente sujeitos a condições de estresse, o que sugere elevada plasticidade fisiológica e bom desempenho adaptativo.

Sabe-se que, para uma semente germinar, é necessário que está esteja em condições favoráveis, com adequada disponibilidade de água, oxigênio e temperatura. Contudo, em condições naturais, as sementes raramente encontram ambientes ideais, sendo frequentemente expostas a estresses abióticos. Espécies amplamente distribuídas em áreas antrópicas, como *Physalis pubescens*, são frequentemente encontradas em ambientes sujeitos a limitações hídricas e variações térmicas, o que evidencia sua elevada ocupação ecológica e capacidade adaptativa. Entre estas limitações destacam-se a restrição hídrica e o estresse térmico, por serem os mais recorrentes nos ambientes de cultivo e por exercerem forte influência sobre os processos metabólicos iniciais da germinação, interferindo diretamente na embebição, na

ativação enzimática e na emissão da radícula (KHAEIM et al., 2022; GUO et al., 2024).

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo, dependente da interação entre fatores internos e condições ambientais, como disponibilidade hídrica, oxigênio e temperatura (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). A taxa de absorção de água durante a germinação é influenciada por diversos fatores, incluindo a espécie, a área de contato com o substrato, a idade da semente, o teor de umidade e a temperatura (KHAEIM et al., 2022; UPRETEE et al., 2024). Em condições de restrição hídrica, o potencial osmótico reduzido pode limitar ou retardar a germinação, afetando o estabelecimento inicial das plântulas.

A temperatura, por sua vez, regula a velocidade das reações bioquímicas e fisiológicas envolvidas na germinação. Todas as sementes apresentam uma faixa de temperatura cardinal (mínima, ótima e máxima). A temperatura ótima é aquela em que ocorre a maior porcentagem e velocidade de germinação (CORREA et al., 2021; FREITAS et al., 2024; GUO et al., 2024). Desvios em relação a essa faixa podem comprometer a germinação, reduzindo sua uniformidade e, em condições extremas, causando danos às estruturas embrionárias (GIOLO et al., 2019; HSU et al., 2024).

Considerando a lacuna de conhecimento sobre a ecofisiologia germinativa de *P. pubescens* e sua ocorrência em ambientes sujeitos a estresses ambientais, levanta-se a hipótese de que suas sementes apresentem tolerância moderada à restrição hídrica e ampla faixa de temperatura para germinação, como estratégia adaptativa para colonização de ambientes perturbados. Nesse contexto, este estudo se diferencia ao integrar a avaliação dos efeitos combinados da temperatura e da restrição hídrica sobre a germinação, contribuindo para o entendimento dos limites fisiológicos da espécie.

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento germinativo de *P. pubescens* sob diferentes níveis de restrição hídrica e variações de temperatura, visando não apenas compreender sua resposta fisiológica, mas também gerar informações que subsidiem estratégias de manejo, produção de mudas e potencial domesticação da espécie.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterização da espécie *Physalis pubescens* L.

Physalis pubescens L. (Solanaceae) é uma espécie herbácea a subarbustiva, anual, que pode atingir cerca de 1,0 m de altura, amplamente distribuída nas Américas e cultivada ou encontrada como planta espontânea (ZIMMER et al., 2019). No Brasil, recebe diversos nomes populares, como fisális, camapú, joá-de-capote, saco-de-bode, mata-fome e bucho-de-rã, enquanto em países andinos ocorre o nome *uchuva*, e em outros contextos é também referida como *ground* cherry e *tomatillo*, refletindo seu amplo uso e reconhecimento etnobotânico (FREITAS et al., 2006). Essa espécie é nativa, porém, não endêmica, com ocorrência nas regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil (Flora e Funga do Brasil, 2023).

P. pubescens apresenta caule subanguloso a anguloso, com abundância de tricomas, inclusive com função adaptativa (SILVA et al., 2015). As folhas são pubescentes ao longo das nervuras, com bordas recortadas e recobertas por tricomas simples e glandulares. As flores, de pequeno porte, são axilares e hermafroditas, com pétalas variando do amarelo ao palha, geralmente apresentando manchas castanhas na base (MARTÍNEZ et al., 2023). Os frutos de *P. pubescens* são bagas globosas, de coloração amarelo-alaranjada, com polpa suculenta e sabor doce-ácido, medindo cerca de 1,5–2,0 cm de diâmetro e contendo numerosas sementes (150–200). O fruto permanece totalmente envolto por um cálice acrescente, que do verde passa ao amarelado e, na maturidade, torna-se palha e de textura papirácea, característica marcante do gênero (ZIMMER et al., 2019; SANTOS et al., 2023). Essa combinação de polpa atrativa e estrutura protetora favorece a dispersão zoocórica, principalmente por aves e pequenos mamíferos, que atuam como dispersores naturais das sementes.

Essa espécie pode ser propagada tanto por sementes quanto por estacas herbáceas, contudo, em condições controladas, a estaquia apresenta melhor desempenho de desenvolvimento de mudas. Ainda assim, para fins de melhoramento genético e produção de mudas em escala, torna-se indispensável o domínio dos fatores ambientais que regulam a germinação das sementes,

como temperatura, luz, substrato e disponibilidade hídrica (ALAMINO; OLIVEIRA, 2012; SOUZA et al., 2016; FREITAS et al., 2024).

P. pubescens L. apresenta elevado potencial alimentício, medicinal e econômico, sendo uma espécie de crescente interesse no mercado de frutas exóticas e funcionais (ZIMMER et al., 2020). Essa versatilidade funcional e o potencial farmacológico tornam a espécie promissora para exploração agroindustrial e biotecnológica, especialmente em sistemas de produção diversificados e sustentáveis. Apesar do crescente interesse econômico e nutricional da *P. pubescens*, há escassez de informações sobre suas exigências térmicas e fisiológicas durante a germinação.

Estudos detalhados sobre temperaturas cardeais (mínima, ótima e máxima) ainda são limitados, sendo a maioria dos parâmetros extrapolada de espécies próximas, como *P. peruviana* e *P. angulata*. Embora essa abordagem seja comum, ela apresenta limitações, uma vez que as temperaturas cardeais podem variar entre espécies em função de diferenças fisiológicas, ecológicas e das condições ambientais de origem das sementes. Dessa forma, a determinação desses parâmetros diretamente para *P. pubescens* torna-se necessária para uma compreensão mais precisa de sua germinação e para evitar generalizações que podem não refletir seu real comportamento fisiológico.

Atualmente, o manejo da espécie é baseado em práticas empíricas, sem padronização das condições ideais de semeadura, o que resulta em baixa uniformidade de emergência e diferenças marcantes na qualidade das mudas e dos frutos. A ausência de modelos térmicos e de recomendações específicas dificulta a expansão do cultivo em sistemas comerciais (DINIZ et al., 2020).

2.1.1 Plasticidade fisiológica, ecofisiologia e potencial para melhoramento em *Physalis* (Solanaceae)

A plasticidade fisiológica (ou fenotípica) refere-se à capacidade de um mesmo genótipo expressar diferentes fenótipos em resposta às variações ambientais, envolvendo ajustes metabólicos, morfológicos e de desenvolvimento, sendo considerada um importante mecanismo adaptativo em ambientes heterogêneos (SULTAN, 2000; NICOTRA et al., 2010; BECKLIN et

al., 2016). Em sementes, essa plasticidade manifesta-se principalmente durante a germinação e o estabelecimento inicial, fases altamente sensíveis a fatores ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica, que regulam a embebição, a ativação metabólica, a mobilização de reservas e o crescimento embrionário (CARRERA-CASTAÑO et al., 2020; SGHAIER et al., 2022; ZHAO et al., 2024).

O gênero *Physalis*, pertencente à família Solanaceae, apresenta espécies com elevada capacidade adaptativa, frequentemente associada à tolerância a variações térmicas e hídricas durante a germinação (DINIZ et al., 2020; FREITAS et al., 2024). Sementes desse gênero são classificadas como ortodoxas, apresentando tolerância à dessecação e capacidade de manter a viabilidade por longos períodos sob diferentes condições de armazenamento, além de suportarem variações ambientais sem perda relevante da capacidade germinativa (MATILLA, 2022; SMOLIKOVA et al., 2021; KALEMBA et al., 2023). Essas características contribuem para o sucesso ecológico do grupo, permitindo sua ocorrência em ambientes naturais e antrópicos.

Do ponto de vista da biologia e fisiologia das sementes, a germinação é regulada por uma complexa rede de processos bioquímicos e hormonais, envolvendo principalmente a interação antagonista entre ácido abscísico (ABA) e giberelinas (GA), além da modulação por fatores ambientais, como temperatura, luz e disponibilidade hídrica, que controlam a ativação metabólica e o crescimento embrionário (ZHAO et al., 2024; CHANG et al., 2024). Alterações nessas condições podem afetar diretamente a mobilização de reservas, a integridade celular e a formação de plântulas normais, impactando o sucesso do estabelecimento inicial.

A compreensão desses aspectos fisiológicos e ecológicos é essencial para programas de melhoramento genético, uma vez que a variabilidade observada no comportamento germinativo pode ser explorada na seleção de genótipos mais adaptados a diferentes condições ambientais. A identificação de características associadas à plasticidade fisiológica, como tolerância a estresses térmicos e hídricos, é estratégica para o desenvolvimento de cultivares mais resilientes, especialmente em cenários de mudanças climáticas.

Dessa forma, a integração entre estudos de fisiologia de sementes, ecofisiologia e variabilidade genética no gênero *Physalis* contribui para o avanço

do conhecimento científico e para a aplicação prática no manejo, conservação e domesticação dessas espécies, ampliando seu potencial de uso agrícola e econômico.

2.2. Fatores ambientais e fisiológicos que regulam a germinação em Solanaceae

A germinação é o processo de retomada do metabolismo celular, iniciado pela absorção de água (embebição) e culminando com o crescimento do eixo embrionário até a emergência da radícula (DINIZ et al., 2020). Para a tecnologia de sementes, esse processo é definido como a formação de uma plântula normal, caracterizada pela presença de estruturas essenciais bem desenvolvidas e funcionais, como raiz primária, hipocótilo, cotilédones e plúmula, capazes de originar uma planta viável (NAUTIYAL et al., 2023).

Em espécies da família Solanaceae, a germinação apresenta elevada sensibilidade às condições ambientais, sendo fortemente modulada por fatores bióticos e abióticos que atuam de forma integrada sobre os mecanismos fisiológicos das sementes. Entre esses fatores, destacam-se a temperatura, a disponibilidade hídrica, o oxigênio, a luz, os hormônios vegetais e as condições sanitárias (SILVA et al., 2020). A temperatura regula a velocidade das reações metabólicas, influenciando diretamente a atividade enzimática e a mobilização de reservas, sendo determinante para a definição das temperaturas cardeais da germinação. A disponibilidade hídrica é essencial para a embebição, permitindo a reativação do metabolismo e a expansão celular. O oxigênio, por sua vez, é indispensável para a respiração celular e produção de energia, enquanto a luz pode atuar como sinal ambiental regulador em sementes fotoblásticas, por meio de fotorreceptores como o fitocromo. Os hormônios vegetais, especialmente o ácido abscísico e as giberelinas, desempenham papel central na regulação entre dormência e germinação, controlando a expressão gênica associada ao crescimento embrionário. Além disso, fatores sanitários, como a presença de patógenos, podem comprometer a viabilidade e o vigor das sementes, afetando o estabelecimento inicial das plântulas.

No gênero *Physalis*, pertencente à família Solanaceae, a presença de dormência ainda não está completamente estabelecida, podendo variar entre

espécies e condições de produção das sementes (SILVA, 2020). De modo geral, evidências indicam que sementes de *Physalis*, como *Physalis peruviana*, apresentam germinação elevada e relativamente rápida sob condições adequadas de temperatura e luz, sem necessidade de tratamentos específicos para superação de dormência, sugerindo comportamento não dormente ou com dormência fisiológica leve (FREITAS et al., 2024). Esse padrão é semelhante ao observado em outras solanáceas de interesse agronômico, nas quais a germinação é predominantemente regulada por fatores ambientais e pelo estado fisiológico das sementes.

Entretanto, o desempenho germinativo pode ser significativamente influenciado por fatores como o grau de maturidade dos frutos e as condições de armazenamento, sendo comum a redução do potencial germinativo em sementes provenientes de frutos imaturos ou submetidas a períodos prolongados de armazenamento. Além disso, variáveis ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica, exercem influência direta sobre a germinação e o vigor, refletindo a regulação fisiológica do processo (FREITAS et al., 2024). Quanto à longevidade, embora existam poucas informações específicas para o gênero, há evidências de que sementes de *Physalis* apresentam comportamento típico de sementes ortodoxas, tolerando a dessecação e mantendo a viabilidade por períodos variáveis quando armazenadas sob condições adequadas (SOLBERG et al., 2020). Ainda assim, a viabilidade e o vigor tendem a decrescer ao longo do tempo, destacando a importância das condições de armazenamento e da qualidade inicial das sementes.

2.2.1. Fatores bióticos

Entre os fatores internos, destacam-se a longevidade, viabilidade, vigor e balanço hormonal das sementes. A longevidade representa o período em que a semente se mantém viva, e a viabilidade é o tempo em que permanece capaz de germinar, dependendo de fatores como condições ambientais durante a maturação, armazenamento e teor de água (SILVA et al., 2014).

O equilíbrio entre hormônios também influencia a germinação, o ácido abscísico (ABA) atua como inibidor, mantendo a dormência, enquanto

giberelinas (GA) e citocininas estimulam a retomada do crescimento (FERREIRA et al., 2020; MAZZONI-PUTMAN et al., 2021).

2.2.2. Fatores abióticos

Os fatores ambientais com maior influência sobre a germinação são água, oxigênio e temperatura. A água é essencial para o início do processo, promovendo a embebição, reativação enzimática e mobilização das reservas. Esse processo ocorre em três fases, uma fase inicial rápida de absorção, seguida de uma fase estacionária de reorganização celular, e uma fase final associada à protrusão da radícula (WOLNY et al., 2018).

O oxigênio também é imprescindível, pois sustenta a respiração celular e a oxidação de reservas energéticas necessárias ao crescimento embrionário. A difusão de oxigênio pode ser limitada por fatores como excesso de umidade, baixa porosidade do substrato, tegumento espesso ou temperaturas elevadas (CORBINEAU, 2022). Situações de hipóxia durante a embebição reduzem a taxa de germinação, como relatado em sementes de *Solanum melongena* e outras solanáceas submetidas a estresses durante a absorção de água (HANNACHI; VAN LABEKE, 2018).

A temperatura, por sua vez, afeta diretamente a velocidade e a porcentagem de germinação, pois regula tanto a absorção de água quanto a atividade das enzimas envolvidas na mobilização de reservas (SILVA et al., 2014). Estudos recentes com espécies do gênero *Physalis* indicam que a faixa ótima de germinação varia entre 25°C e 30°C, com reduções significativas em temperaturas extremas. Em *P. peruviana*, por exemplo, temperaturas inferiores a 15°C retardam a germinação, enquanto acima de 35°C reduzem a viabilidade e causam injúrias celulares e desnaturação enzimática (PELLIZZARO et al., 2019; DINIZ et al., 2020; FREITAS et al., 2024). Freitas et al. (2024) relataram que a combinação de altas temperaturas e potenciais osmóticos mais negativos reduz a germinação de *P. peruviana*, afetando o vigor das plântulas.

Santiago et al. (2023) observaram que, para *P. angulata*, a variação de temperatura e substrato interfere diretamente na porcentagem e na velocidade de germinação, evidenciando a sensibilidade das sementes a fatores ambientais. Esses resultados demonstram que os estresses térmico e hídrico podem

comprometer o desempenho fisiológico das sementes, limitando a emergência e o estabelecimento inicial das plantas. Contudo, essa abordagem foi restrita à avaliação isolada da temperatura, sem considerar a influência simultânea da disponibilidade hídrica, o que limita a aplicação dos resultados em condições ambientais reais. Assim, estudos que integrem esses fatores tornam-se essenciais para avançar na compreensão dos limites fisiológicos da germinação na espécie.

Apesar dos avanços no entendimento da germinação em espécies da família Solanaceae, ainda persistem importantes lacunas, especialmente no gênero *Physalis*. Muitos estudos concentram-se em espécies de maior interesse econômico, como tomate e pimentão, enquanto espécies não convencionais permanecem pouco exploradas quanto aos seus limites fisiológicos e mecanismos adaptativos durante a germinação. No caso de *Physalis*, ainda há escassez de informações sobre a interação entre fatores abióticos, como temperatura e disponibilidade hídrica, bem como sobre os mecanismos bioquímicos envolvidos na tolerância ao estresse, incluindo o papel de solutos compatíveis, proteínas de proteção e ajustes osmóticos. Além disso, são limitados os estudos que avaliam a variabilidade intraespecífica e a influência da origem das sementes sobre o desempenho germinativo, o que dificulta a extrapolação dos resultados para diferentes condições ambientais. Dessa forma, ampliar o conhecimento sobre a ecofisiologia da germinação em *Physalis* é essencial para subsidiar estratégias de manejo, domesticação e uso sustentável dessas espécies em sistemas produtivos.

3. REFERÊNCIAS

ALAMINO, D.; OLIVEIRA, M. C. Mudas de *Physalis pubescens* L. Propagadas por diferentes métodos e substrates. **Scientia agrarian,** v. 13, n. 1, p. 9-15, 2012.

BECKLIN, K. M.; ANDERSON, J.; GERHART, L.; WADGYMAR, S. M.; WESSINGER, C.; WARD, J. Examining Plant Physiological Responses to Climate Change through an Evolutionary Lens. **Plant Physiology,** v. 172, n. 2, p. 635-649, 2016.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

CARRERA-CASTAÑO, H.; CALLEJA-CABREA, J.; PERNAS, M.; GÓMEZ, L.; OÑATE-SÁNCHEZ, L. An Updated Overview on the Regulation of Seed Germination. **Plants,** v. 9, n. 6, p. 703, 2020.

CORBINEAU, F. Oxygen, a key signalling factor in the control of seed germination and dormancy. **Seed Science Research,** v. 32, n. 3, 2022.

CORREA, A. R.; SILVA, A. M. P.; ARANTES, C. R. A.; GUIMARÃES, S. C.; CAMILI, E. C.; COELHO, M. F. B. Quantifying seed germination based on thermal models to predict global climate change impacts on Cerrado species. **Seed Science Research,** v. 31, n. 2, p. 126-135, 2021.

CHANG, J.; LI, J.; LI, J.; CHEN, X.; JIAO, J.; LI, J.; SONG, Z.; ZHANG, B. The GA and ABA signaling is required for hydrogen-mediated seed germination in wax gourd. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 542, 2024.

DINIZ, F, O.; CHAMMA, L.; NOVEMBRE, A. D. L. C. Germination of *Physalis peruviana* L. seeds under varying conditions of temperature, light, and substrate. **Revista Ciência Agronômica,** v. 51, n. 1, p. e20166493, 2020.

FERREIRA, G.; DE-LA-CRUZ-CHACÓN, I.; GONZÀLEZ-ESQUINCA, A. R. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 6, p. e-664, 2020.

FLORA DO BRASIL. *Physalis* in **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botanico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB14700. Acesso em: 07 Nov. 2023.

FREITAS, T. A.; RODRIGUES, A. C. C.; OSUNA, J. T. A. Cultivation of *Physalis angulata* L. and *Anadenanthera colubrina* [(Vell.) Brenan] species of the Brazilian semi-arid.. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. esp., p. 201-204, 2006.

FREITA, E. M.; GOMES, C. N.; SILVA, L. J.; CUNHA, F. F. Germination Performance of *Physalis peruviana* L. Seeds under Thermal and Water Stress Conditions. **Agronomy,** v. 14, n. 6, p. 1213, 2024.

GIOLO, M.; BENINCASA, P.; ANASTASI, G.; MACOLINO, S.; ONOFRI, A. Effects of Sub-Optimal Temperatures on Seed Germination of Three Warm-

Season Turfgrasses with Perspectives of Cultivation in Transition Zone. **Agronomy**, v. 9, n. 8, p. 421, 2019.

GUO, M.; ZONG, J.; ZHANG, J.; WEI, L.; WEI, W.; FAN, R.; ZHANG, T.; WEI, L.; WEI, W.; FAN, R.; ZHANG, T.; TANG, Z.; ZHANG, G. Effects of temperature and drought stress on the seed germination of a peatland lily (*Lilium concolor* var. *megalanthum*). **Frontiers in Plant Science,** v. 15, p. 1-11, 2024.

HANNACHI, S.; VAN LABEKE, M. C. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 56–65, 2018.

HSU, H.; STUKE, M.; BAKKER, J. D.; KIM, S. A time-to-event analysis for temperature dependence of seed germination in four conifers: Ecological niche and environmental gradientes. **Forest Ecology and Management,** v. 562, p. 121972, 2024.

JIANG, Y.; JIN, Y.; SHAN, Y.; ZHONG, Q.; WANG, H.; SHEN, C.; FENG, S. Advances in Physalis molecular research: applications in authentication, genetic diversity, phylogenetics, functional genes, and omics. **Frontiers in Plant Science,** v. 15, p. 1407625, 2024.

KALEMBA, E. M.; CORBINEAU, F.; KUMAR, S. P. J. Editorial: Molecular basis of seed longevity. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1138139, 2023.

KHAEIM, H.; KENDE, Z.; BALLA, I.; GYURICZA, C.; ESER, A.; TARNAWA, A. The Effect of Temperature and Water Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 3887, 2022.

LIANG, Y.; LIANG, L.; SHI, R.; LUO, R.; YUE, Y.; YU, J.; WANG, X.; LIN, J.; ZHOU, T.; YANG, M.; ZHONG, L.; WANG, Y.; SHU, Z. Genus *Physalis* L.: A review of resources and cultivation, chemical composition, pharmacological effects and applications. **Journal of Ethnopharmacology,** v. 324, p. 117736, 2024.

MARTÍNEZ, M.; VARGAS-PONCE, O.; ZAMORA-TAVARES, P. Taxonomic revision of *Physalis* in Mexico. **Frontiers in Genetics,** v. 14, p. 1080176, 2023.

MATILLA, A. J. The Orthodox Dry Seeds Are Alive: A Clear Example of Desiccation Tolerance. **Plants,** v. 11, n. 1, p. 20, 2022.

MAZZONI-PUTMAN, S. M.; BRUMOS, J.; ZHAO, C.; ALONSO, J. M.; STEPANOVA, A. N. Auxin Interactions with Other Hormones in Plant Development. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 13, n. 10, p. a039990, 2021.

NAUTIYAL, P. C.; SIVASUBRAMANIAM, K.; DADLANI, M. Seed Dormancy and Regulation of Germination. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) Seed Science and Technology. **Springer,** Singapore, 2023.

NICOTRA, A. B.; ATKIN, O. K.; BONSER, S. P.; DAVIDSON, A. M.; FINNEGAN, E. J.; MATHESIUS, U.; POOT, P.; PURUGGANAN, M. D.; RICHARDS, C. L.;

VALLADARES, F.; KLEUNEN, M. V. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends Plant Science**, v. 15, n. 12, p. 684-92, 2010.

PELLIZARO, V.; OMURA, M. S.; FURLAN, F. F.; COSTA, D. S.; PONCE, R. M.; FREIRIA, G. H.; IBANHES NETO, H. F.; TAKAHASHI, L. S. A. Physiological potential of *Physalis peruviana* L. seeds under different temperatures and light wavelengths. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 1737–1746, 2019.

SANTOS, M.; TREVISANI, N.; CERUTTI, P. H.; PIERRE, p. M. O.; GUIDOLIN, A. F. Origin, evolution and strategies for the genetic improvement of physalis. **Ciências Rural**, v. 53, n. 7, 2023.

SANTIAGO, W. R.; GAMA, J. S. N.; BENEDITO, C. P.; SOUSA, E. M.; TORRES, S. B. Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de *Physalis angulata* L. Revista Caatinga, v. 36, n. 4, p. 980 – 987, 2023.

SILVA, L. M. M. ; ALMEIDA, F. A. C.; BARROS NETO, J. J. S. **GERMINAÇÃO DE SEMENTES**. In: BARROS NETO, J. J. S.; ALMEIDA, F. A. C.; QUEIROGA, V. P.; GONÇALVES, C. C. Sementes: Estudos Tecnológicos. Aracaju: [s. n.], 2014. cap. 4, p. 83-95. ISBN 978-85-68801-58-1.

SILVA, D. F.; STRASSBURG, R. C.; VILLA, F. Stem morphoanatomy of species of the genus *Physalis*. **Revista de Ciências Agroveterinárias,** v. 14, n. 1, p. 38-45, 2015.

SILVA, G. A.; PACHECO, M. V.; LUZ, M. N.; NONATO, E. R. I.; DELFINO, R. C. H.; PEREIRA, C. T. Fatores ambientais na germinação de sementes e mecanismos de defesa para garantir sua perpetuação. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e93491110524, 2020.

SILVA, A. G. Germination of *Physalis peruviana* L. seeds under varying conditions of temperature, light, and substrate. **Revista Ciências Agronômica**, v. 51, n. 1, 2020.

SOUZA, C. M.; SOUZA, M. O.; OLIVEIRA, R. S.; PELACANI, C. R. *Physalis peruviana* seed storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, 2016.

SOLBERG, S, O.; YNDGAARD, F.; ANDREASEN, C.; BOTHMER, R. V.; LOSKUTOV, I. G.; ASDAL, Ã. Long-Term Storage and Longevity of Orthodox Seeds: A Systematic Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11. P. 1007, 2020.

SULTAN, S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function a. life history. **Trends Plant Science,** v. 5, n. 12, p. 537-42, 2000.

SGHAIER, A. H.; TARNAWA, Á.; KHAEIM, H.; KOVÁCS, G. P.; KENDE, Z. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). **Plants,** v. 11, n. 21, p. 2819, 2022.

SMOLIKOVA, G.; LEONOVA, T.; VASHURINA, N.; FROLOV, A.; MEDVEDEV, S. Desiccation Tolerance as the Basis of Long-Term Seed Viability. **International Journal of Molecular Sciences,** v. 22, n. 1, p. 101, 2021.

UPRETEE, P.; BANDARA, M. S.; TANINO, K. K. The Role of Seed Characteristics on Water Uptake Preceding Germination. **Seeds**, v. 3, n. 4, p. 559-574, 2024.

WOLNY, E.; BETEKHTIN, A.; ROJEK, M.; BRASZEWSKA-ZALEWSKA, A.; LUNINSKA, J.; HASTEROK, R. Germination and the Early Stages of Seedling Development in *Brachypodium distachyon*. **International Journal of Molecular Sciences,** v. 19, n. 10, p. 2016, 2018.

YUAN-CE, L.; YU-YAN, P.; QI, Z.; HONG-YANG, Z.; YAN-WEN, W.; YU-MEI, S.; GUANG-ZHI, Z.; JUN-LIN, Y. *Physalis pubescens* L. branch and leaf extracts inhibit lymphoma proliferation by inducing apoptosis and cell cycle arrest. **Frontiers in Pharmacology,** v. 14, p. 1192225, 2023.

ZHAO, J.; HE, Y.; ZHANG, H.; WANG, Z. Advances in the molecular regulation of seed germination in plants. **Seed Biology**, v. 3, n. e006, 2024.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical and bioactive compounds evaluation of *Physalis pubescens* Linnaeus. **Revista Ceres**, v. 67, n. 6, p. 432-438, 2020.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Functional Properties of *Physalis Pubescens* Linnaeus: A Literature Review. **Journal of Biotechnology Research,** v. 5, n. 12, p. 128-139, 2019.

CAPÍTULO 1

Temperaturas cardeais em sementes de *Physalis pubescens* L.

TEMPERATURAS CARDEAIS EM SEMENTES DE *Physalis pubescens* L.

RESUMO: *Physalis pubescens* L. (Solanaceae) é uma espécie de elevado valor nutricional e potencial econômico em sistemas tropicais e subtropicais, cujo cultivo ainda carece de informações sobre parâmetros agrometeorológicos que subsidiem a produção de mudas. A temperatura é um fator determinante na germinação de sementes, definindo as chamadas temperaturas cardeais, mínima (Tb), ótima (To) e máxima (Tc), que delimitam a faixa térmica de viabilidade germinativa. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo estimar as temperaturas cardeais para a germinação de *P. pubescens*, avaliando a sensibilidade fisiológica das sementes sob condições térmicas e a influência geracional sobre o comportamento germinativo. No Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, foram realizados dois experimentos, cada um em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram submetidas a temperaturas de 5°C a 45 °C, em germinadores com fotoperíodo de 12 h de luz. Foram avaliadas a porcentagem e velocidade de germinação, bem como a formação de plântulas normais e anormais. A germinação ocorreu entre 10°C e 35 °C, com inibição a 5°C, 40 °C e 45 °C. Entre 10 e 35 °C, a taxa média de germinação manteve-se elevada (94%), porém a qualidade morfológica das plântulas variou com a temperatura. A maior proporção de plântulas normais (67,5%) foi observada a 28 °C, enquanto a menor incidência de plântulas anormais (28,9%) ocorreu a 25 °C, indicando uma faixa térmica ótima entre 25 e 28 °C. No entanto, considerando a variabilidade biológica e as oscilações inerentes às condições experimentais, os resultados também permitem propor uma faixa mais ampla de bom desempenho germinativo e formação de plântulas normais, situada aproximadamente entre 23 e 30 °C, na qual a germinação se mantém elevada e a proporção de anormalidades permanece em níveis aceitáveis. Em temperaturas superiores ao ótimo, observou-se aumento de anormalidades e redução da uniformidade germinativa, possivelmente associadas a distúrbios metabólicos e estruturais induzidos pelo calor. As sementes do segundo lote apresentaram deslocamento do ponto ótimo para temperaturas ligeiramente inferiores (23–25 °C). Essa diferença intergeracional indica capacidade adaptativa da espécie e plasticidade fisiológica frente à variação térmica, características desejáveis para domesticação e expansão agrícola em cenários de mudanças climáticas. A germinação e o desenvolvimento inicial de *Physalis pubescens* foram fortemente influenciados pela temperatura, com desempenho ótimo entre 23 °C e 28 °C, faixa em que se observaram maior formação de plântulas normais e menor incidência de anormalidades.

Palavras-chave: Germinação; efeitos maternos; temperatura ótima; plasticidade térmica; plântulas normais.

CARDINAL TEMPERATURES ON SEEDS OF *Physalis pubescens* l.

ABSTRACT: *Physalis pubescens* L. (Solanaceae) is a species of high nutritional value and economic potential in tropical and subtropical systems; however, its cultivation still lacks information on agrometeorological parameters to support seedling production. Temperature is a key factor in seed germination, defining the so-called cardinal temperatures: minimum (Tb), optimum (To), and maximum (Tc), which delimit the thermal range of germination viability. In this context, the present study aimed to estimate the cardinal temperatures for the germination of *P. pubescens*, evaluating the physiological sensitivity of seeds under thermal conditions and the generational influence on germination behavior. The experiments were conducted at the Forest Ecology and Restoration Laboratory of the Federal University of Recôncavo da Bahia, using a completely randomized design, with four replicates of 25 seeds each. Seeds were subjected to temperatures ranging from 5 °C to 45 °C in germinators with a 12 h photoperiod. Germination percentage and speed, as well as the formation of normal and abnormal seedlings, were evaluated. Germination occurred between 10 °C and 35 °C, with inhibition at 5 °C, 40 °C, and 45 °C. Within this range, the mean germination rate remained high (94%), although seedling morphological quality varied with temperature. The highest proportion of normal seedlings (67.5%) was observed at 28 °C, while the lowest incidence of abnormal seedlings (28.9%) occurred at 25 °C, indicating an optimal thermal range between 25 and 28 °C. However, considering biological variability and inherent fluctuations in experimental conditions, the results also support a broader range of good germination performance and normal seedling formation, approximately between 23 and 30 °C, where germination remains high and the proportion of abnormalities is within acceptable levels. At temperatures above the optimum, an increase in abnormalities and a reduction in germination uniformity were observed, possibly associated with metabolic and structural disturbances induced by heat stress. The seeds from the second lot showed a shift in the optimum point toward slightly lower temperatures (23–25 °C). This intergenerational difference indicates adaptive capacity and physiological plasticity in response to thermal variation, traits that are desirable for domestication and agricultural expansion under climate change scenarios. Germination and early development of *Physalis pubescens* were strongly influenced by temperature, with optimal performance between 23 °C and 28 °C, a range in which higher formation of normal seedlings and lower incidence of abnormalities were observed.

Keywords: Normal seedlings; maternal effects; optimum temperature; seed germination; thermal plasticity.

1. INTRODUÇÃO

Physalis pubescens L. (Solanaceae) destaca-se como uma espécie de elevado valor nutricional, funcional e potencial econômico crescente, especialmente em sistemas tropicais e subtropicais (KHARCHOUFI et al., 2018; ZIMMER et al., 2020; JIANG et al., 2024). Seus frutos apresentam ampla versatilidade de uso, podendo ser consumidos in natura ou processados, além de conterem compostos bioativos com propriedades farmacológicas relevantes (ZIMMER et al., 2019; YUAN-CE et al., 2023; LIANG et al., 2024). Apesar desse potencial, o cultivo da espécie ainda carece de informações técnico-científicas, sobretudo no que se refere aos fatores ambientais que regulam a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas.

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo, dependente da interação entre fatores internos e condições ambientais, como disponibilidade hídrica, oxigênio e temperatura (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; SILVA et al., 2020). Em ambientes naturais, essas condições raramente são ideais, sendo comum a exposição das sementes a estresses abióticos, especialmente variações térmicas e limitações hídricas, que afetam diretamente a embebição, a ativação enzimática e o crescimento do embrião (KHAEIM et al., 2022; GUO et al., 2024). Nesse contexto, espécies amplamente distribuídas em ambientes antrópicos, como *P. pubescens*, tendem a apresentar elevada plasticidade fisiológica, permitindo sua adaptação a condições adversas.

Dentre os fatores ambientais, a temperatura exerce papel central na germinação, regulando a velocidade das reações bioquímicas e influenciando tanto a porcentagem quanto a uniformidade germinativa (JAVID et al., 2024). O efeito da temperatura sobre a germinação é descrito por meio das chamadas temperaturas cardeais, mínima (Tb), ótima (To) e máxima (Tc) que delimitam a faixa térmica na qual o processo ocorre (BEWLEY et al., 2013; OSTADIAN et al., 2018). A temperatura ótima corresponde à condição em que há máxima germinação associada a maior vigor e rapidez, enquanto temperaturas abaixo ou acima desse intervalo podem retardar ou inibir o processo germinativo (ALZHANG et al., 2020; JAVID et al., 2024).

Desvios em relação à faixa ótima comprometem o desempenho das sementes, podendo reduzir a velocidade e a uniformidade da germinação, além

de induzir anormalidades nas plântulas em função de alterações metabólicas e estruturais (HSU et al., 2024; JAVID et al., 2024). Em temperaturas supraótimas, pode ocorrer inibição térmica, caracterizada pela interrupção da germinação devido a distúrbios fisiológicos (BRADFORD; SOMASCO, 1994). Por outro lado, temperaturas subótimas reduzem a atividade metabólica e prolongam o tempo de germinação (HILLS; VAN STADEN, 2003; ARGYRIS et al., 2008). Dessa forma, as temperaturas cardeais refletem a adaptação ecológica das espécies e são fundamentais para sincronizar a germinação com condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento das plântulas (ALVARADO; BRADFORD, 2002; JAVID et al., 2024).

Além da temperatura, a disponibilidade hídrica é determinante para o início do processo germinativo, pois regula a embebição e a reativação metabólica das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Em condições de restrição hídrica, a redução do potencial osmótico pode limitar ou retardar a germinação, afetando negativamente o vigor e o estabelecimento das plântulas (KHAEIM et al., 2022; UPRETEE et al., 2024). A interação entre temperatura e disponibilidade de água torna-se, portanto, um fator crítico para o sucesso da germinação, especialmente em ambientes sujeitos a estresses simultâneos.

Embora existam estudos com outras espécies do gênero *Physalis*, como *P. peruviana* e *P. angulata*, ainda são escassas as informações específicas sobre as exigências térmicas e hídricas de *P. pubescens*, sendo comum a extrapolação de dados entre espécies, o que pode levar a interpretações imprecisas devido às diferenças fisiológicas e ecológicas (DINIZ et al., 2020; FREITAS et al., 2024). Além disso, fatores como a origem das sementes e as condições ambientais durante sua produção podem influenciar o comportamento germinativo, refletindo efeitos maternos e ajustes adaptativos que impactam diretamente as temperaturas cardeais e o desempenho fisiológico.

Em um cenário de mudanças climáticas, caracterizado por maior variabilidade térmica e eventos de estresse hídrico, compreender os limites fisiológicos da germinação torna-se essencial para reduzir riscos produtivos, otimizar o manejo e viabilizar a expansão do cultivo da espécie. Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que sementes de *P. pubescens*, especialmente de diferentes lotes, apresentam variações nas temperaturas cardeais e no desempenho germinativo em resposta às condições ambientais de origem,

evidenciando plasticidade fisiológica. Assim, o presente estudo teve como objetivo estimar as temperaturas cardeais de germinação de sementes de *P. pubescens*, avaliando sua sensibilidade a diferentes condições térmicas, bem como investigar possíveis efeitos entre os lotes sobre o comportamento germinativo. Espera-se, com isso, contribuir para o avanço do conhecimento ecofisiológico da espécie e fornecer subsídios para a produção de mudas, manejo agronômico e modelagem fenológica em condições ambientais variáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no câmpus de Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

2.1 Material vegetal

As sementes de *Physalis pubescens* (primeiro lote) utilizadas neste estudo foram provenientes do banco de sementes do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, previamente identificadas por especialista da família Solanaceae e depositadas no Herbário da mesma instituição (HURB 33431).

Devido à quantidade insuficiente de sementes para a condução dos ensaios, foi realizado um plantio na comunidade Sítio Laranjeiras, município de Muritiba, BA, com a finalidade de obtenção de novo lote de sementes.

Os frutos maduros foram coletados e beneficiados manualmente no laboratório. As sementes foram extraídas sob água corrente até completa remoção da polpa, posteriormente dispostas sobre papel filtro para secagem à temperatura ambiente. Após a secagem, foram acondicionadas em recipientes de vidro herméticos e armazenadas sob refrigeração.

O teor de umidade das sementes foi determinado a partir de quatro amostras de 1 g, utilizando-se o método da estufa a 105 °C por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

2.2 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental consistiu em caixas do tipo gerbox (11 × 11 × 3,5 cm), contendo 25 sementes cada.

Foram avaliadas temperaturas constantes de 5, 10, 15, 20, 25, 27, 30, 35, 40 e 45 °C, selecionadas com o objetivo de abranger desde condições limitantes à germinação até valores acima da faixa potencialmente ótima para espécies tropicais. As temperaturas mais baixas (5, 10 e 15 °C) representaram limites inferiores de germinação; as intermediárias (20, 25, 27 e 30 °C) permitiram maior refinamento na identificação da faixa ótima; enquanto as mais elevadas (35, 40 e 45 °C) possibilitaram avaliar o limite térmico superior da espécie.

As caixas foram mantidas em germinadores regulados conforme cada tratamento térmico, sob fotoperíodo de 12 horas de luz, condição adotada para padronização do teste de germinação (Souza et al., 2009). A presença de luz foi considerada relevante por potencialmente favorecer a germinação em espécies com sensibilidade fotoblástica, além de simular condições naturais de exposição das sementes.

2.3 Avaliações

Foram realizadas avaliações diárias, a partir de 24 horas após a instalação do experimento, contabilizando-se: porcentagem de germinação, plântulas normais, plântulas anormais e tempo de germinação. As avaliações foram encerradas quando não houve novos eventos germinativos por sete dias consecutivos.

A germinação foi considerada pela protrusão visível da radícula com comprimento mínimo de aproximadamente 2 mm, conforme estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

As plântulas foram classificadas de acordo com critérios da tecnologia de sementes. Foram consideradas normais aquelas que apresentaram estruturas essenciais bem desenvolvidas, como sistema radicular funcional, hipocótilo íntegro, cotilédones sem danos e eixo aéreo em desenvolvimento. Plântulas com

ausência ou comprometimento severo dessas estruturas foram classificadas como anormais, por apresentarem baixo potencial de estabelecimento em campo.

Ao final do teste, as sementes não germinadas foram classificadas em duras e mortas. Consideraram-se sementes duras aquelas que permaneceram intactas, sem sinais de embebição ou protrusão radicular, e sementes mortas aquelas que apresentaram escurecimento ou tecidos necrosados, sem viabilidade aparente.

A temperatura ótima de germinação foi definida como aquela que proporcionou simultaneamente maior porcentagem de germinação, menor tempo para emergência da radícula e maior formação de plântulas normais, indicando o máximo desempenho fisiológico das sementes.

2.4 Análise dos dados

Empregou-se regressão por ajuste de modelos lineares generalizados para distribuição binomial. As inferências da análise da *deviance* (ANODEV) foram baseadas na estatística Chi-Square. Em casos de sub ou superdispersão, foi adotado o ajuste pela família quasibinomial, conforme Diniz e Thiele (2021), a fim de corrigir a variância dos dados e obter estimativas mais robustas e confiáveis para os testes de significância. As análises foram realizadas no programa R, versão 4.2.0 (R development core team, 2022).

3. RESULTADOS

De acordo com a análise de Modelos Lineares Generalizados (ANODEV), observou-se que, no intervalo térmico avaliado (10–45 °C), a percentagem de sementes germinadas de *Physalis pubescens* não variou com a temperatura (Deviance = 0,093; p = 0,76) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise e desvio para germinação de sementes de *Physalis pubescens*, em resposta a temperaturas por Modelos Lineares Generalizados (ANODEV)

Variáveis	FV	GL	GL.D	Deviance	Residual deviance	p-valor

Germinação	Nulo		17		18,843	
	Temperatura (X)	1	16	0,093	18,749	0,76
	Parâmetro dispersão	1				
	Razão*	18,75/16=1,17				
Normais	Nulo		17		53,147	
	Temperatura (X)	1	16	9,7509	43,396	0,001792 **
	X^2	1	15	7,2245	36,171	0.007192 **
	Parâmetro dispersão	1				
	Razão*	36,17/15=2,4				
Anormais	Nulo		17		70,099	
	Temperatura (X)	1	16	9,7972	60,302	0,044408 *
	X^2	1	15	18,4863	41,816	0,005757 **
	Parâmetro dispersão	2,42				
	Razão*	41,82/15=2,79				
Mortas	Nulo		17		18,843	
	Temperatura (X)	1	16	0,093	18,749	0,76
	Parâmetro dispersão	1				
	Razão*	18,75/16=1,17				

*Razão entre residual deviance e os graus de liberdade do desvio.

Para a formação de plântulas normais, tanto o termo linear (X) quanto o quadrático (X^2) da equação foram significativos (Deviances = 9,7509 e 7,2245; p = 0,001792 e p = 0,007192, respectivamente) (Tabela 1), evidenciando efeito curvilíneo e a existência de valor máximo dentro do intervalo estudado. De modo complementar, a percentagem de plântulas anormais também foi significativamente afetada pela temperatura (Deviances = 9,7972 e 18,4863 para X e X^2; p = 0,044408 e p = 0,005757), apresentando parâmetro de dispersão superior a 1 (2,42).

No intervalo de 10–35 °C, em decorrência da não variação na percentagem de sementes germinadas, a percentagem de sementes não germinadas não apresentou efeito da temperatura (p = 0,76), pois é complementar à proporção germinada (Tabela 1).

Não houve germinação nas temperaturas de 40 °C e 45 °C, bem como a 5 °C.

A germinação aumentou gradualmente com a elevação da temperatura, partindo de 82,3% a 15 °C e atingindo valor máximo de 95,8% a

aproximadamente 26 °C, reduzindo posteriormente até 90,4% a 35 °C (Figura 1).

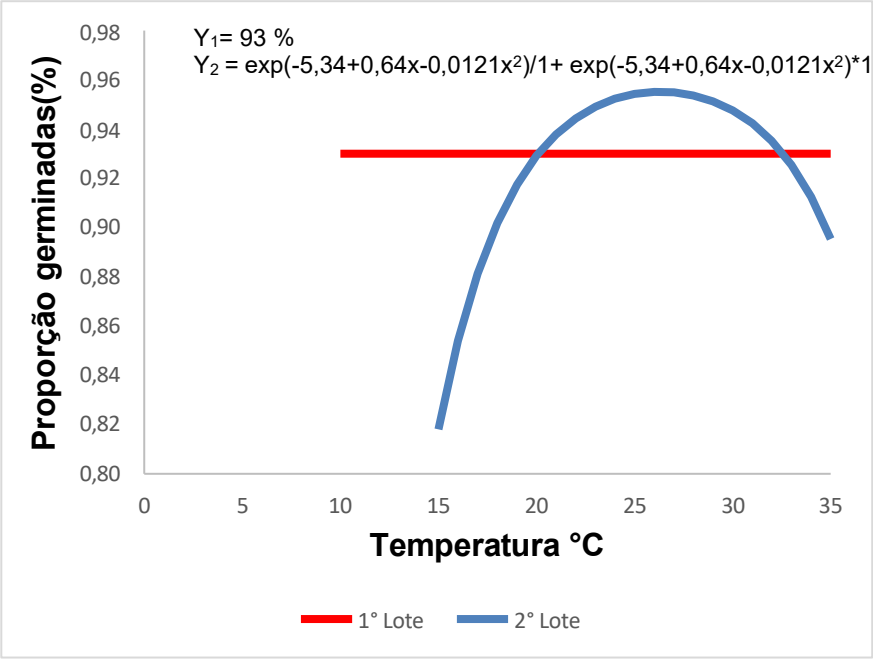


Figura 1. Percentagem de sementes germinadas dos lotes 1 (Y_1) e 2 (Y_2) de *Physalis pubescens* em função da temperatura.

A maior percentagem de plântulas normais (67,5%) foi estimada em 28 °C, enquanto a menor proporção de plântulas anormais (28,9%) ocorreu a 25 °C (Figura 2). Temperaturas superiores a 28 °C até 35 °C causaram pequena redução no número de plântulas normais (cerca de 4 pontos percentuais), mas aumento de aproximadamente 14 pontos percentuais em plântulas anormais. A variação de ±5 °C e ±10 °C em relação a 25 °C resultou em aumentos de 3,4 e 14,6 pontos percentuais de plântulas anormais, respectivamente.

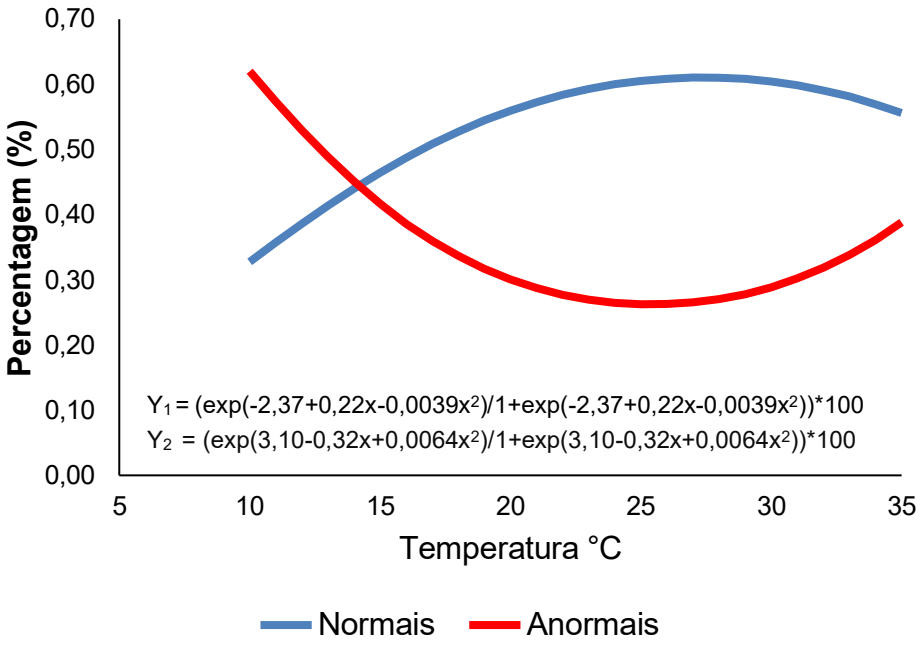


Figura 2. Percentagem de plântulas normais (Y_1) e anormais (Y_2) de *Physalis pubescens* em função da temperatura da câmara de germinação.

A análise conjunta das gerações indicou que a temperatura ótima para formação de plântulas normais variou entre aproximadamente 23 °C e 27 °C (Figura 3). Para a segunda lote, o valor máximo de plântulas normais foi de 93,7% a 23 °C, enquanto para a primeira lote foi de 66,5% a 27 °C (Figura 3).

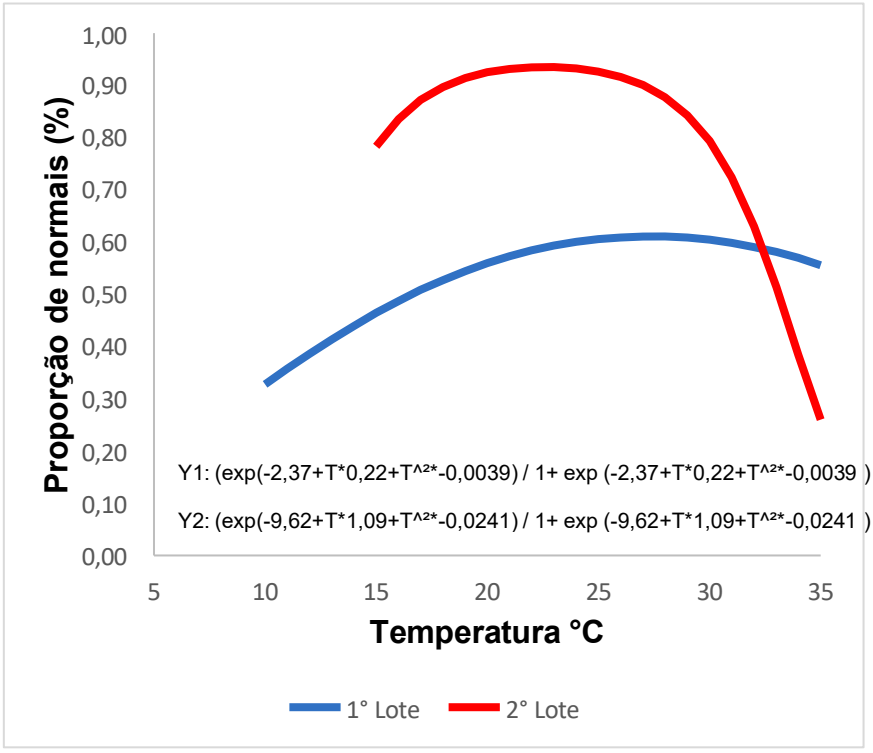


Figura 3. Plântulas normais em função da temperatura e lotes de sementes de *Physalis pubescens*; Y_1:%Normais (1° lote) e Y_2: %Normais (2° lote).

A proporção de plântulas anormais foi influenciada pela temperatura em ambos os lotes (Figura 4). Nas sementes do primeiro lote, a menor ocorrência foi registrada a 25 °C, enquanto no segundo lote ocorreu entre 18 °C e 21 °C, com cerca de 2%. No segundo lote, entre 15 °C e 25 °C, a proporção de plântulas anormais manteve-se baixa (2–4%), aumentando de forma expressiva a partir de 25 °C. A percentagem de plântulas anormais foi de 16,5% a 40 °C e de 4,5% a 35 °C.

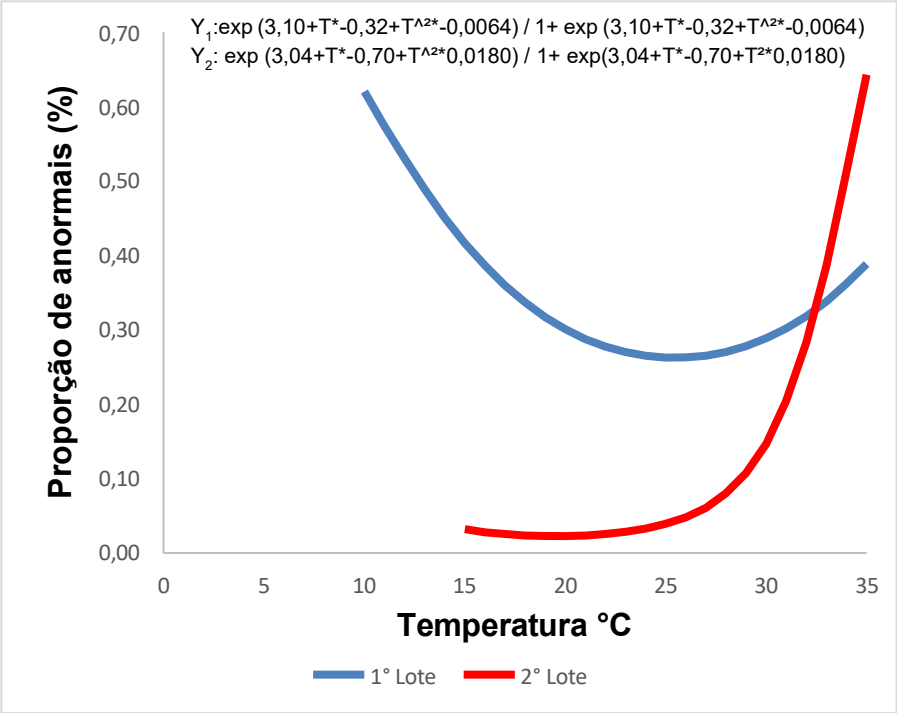


Figura 4. Percentagem de plântulas anormais em função da temperatura para sementes de *Physalis pubescens*; Y_1: %Anormais (1° lote)= e Y_2: %Anormais (2° lote).

A temperatura influenciou o tempo médio de germinação (Figura 5). Observou-se que, no primeiro lote, o menor tempo ocorreu a 27,6 °C, enquanto no segundo lote o ponto mínimo foi de 25,7 °C (Figura 5).

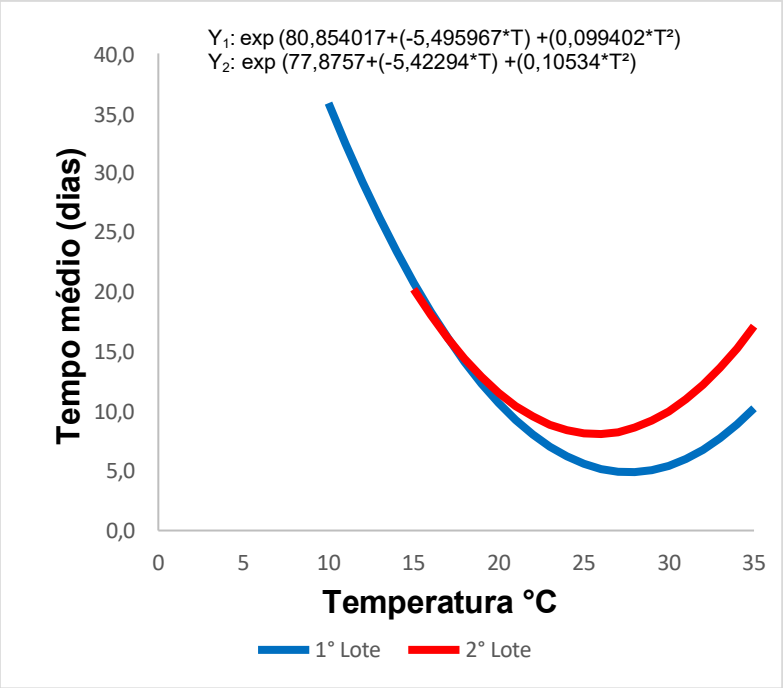


Figura 5. Velocidade para germinação de *Physalis pubescens* em função da temperatura. Y_1: TM (1° lote) e Y_2: TM (2° lote).

4. DISCUSSÃO

A ausência de efeito significativo da temperatura sobre a germinação no intervalo de 10 a 35 °C indica elevada plasticidade fisiológica de *Physalis pubescens,* permitindo a germinação em ampla faixa térmica. No entanto, a ausência de germinação em temperaturas extremas (≤ 5 °C e ≥ 40 °C) demonstra a existência de limites fisiológicos para o processo germinativo, explicado pela redução da atividade metabólica em baixas temperaturas e por danos térmicos em temperaturas elevadas (BASKIN; BASKIN, 2014; FREITAS et al., 2024).

Os dados climáticos de Muritiba-BA (INMET, 2025) indicam temperaturas médias próximas à faixa ótima observada (25–30 °C), sugerindo que o comportamento germinativo está parcialmente ajustado às condições ambientais da região, embora também reflita limitações fisiológicas intrínsecas.

O padrão curvilíneo da germinação em função da temperatura caracteriza comportamento típico de sementes ortodoxas, uma vez que estas apresentam tolerância à dessecação e ampla capacidade de germinar após o armazenamento, mantendo respostas previsíveis à variação térmica. Nesse

contexto, os resultados obtidos permitem classificar *P. pubescens* como espécie com sementes ortodoxas, reforçando o padrão amplamente descrito para espécies da família Solanaceae (BEWLEY et al., 2013; MARCOS FILHO, 2015). A faixa de 20–30 °C representa o equilíbrio entre atividade enzimática e integridade celular, favorecendo a mobilização de reservas e o crescimento embrionário (DINIZ et al., 2020). Além disso, observa-se desempenho superior das sementes na amplitude térmica de 10 à 27 °C, especialmente no que se refere à capacidade de germinação, ainda que a qualidade das plântulas seja otimizada em intervalos mais restritos.

Embora a germinação tenha sido pouco sensível à temperatura dentro de determinada faixa, a formação de plântulas normais mostrou-se altamente dependente desse fator. A faixa entre 25 °C e 28 °C proporcionou melhor desempenho fisiológico, enquanto temperaturas fora desse intervalo aumentaram significativamente a ocorrência de anormalidades. Esse comportamento está associado à desorganização dos processos de divisão e diferenciação celular em condições térmicas inadequadas (SHARMA et al., 2022; ARAUJO et al., 2024).

Temperaturas mais baixas retardam o metabolismo e aumentam a variabilidade no tempo de germinação (BASKIN; BASKIN, 2014), enquanto temperaturas elevadas aceleram excessivamente os processos metabólicos, comprometendo a qualidade das plântulas. Esse padrão também foi observado em outras espécies do gênero *Physalis*, como *P. peruviana* e *P. angulata* (BICCA et al., 2020; DINIZ et al., 2020), embora diferenças interespecíficas existam, como demonstrado por Souza (2009).

A presença de superdispersão nas plântulas anormais indica maior variabilidade do que a prevista pelo modelo binomial, sugerindo influência de fatores não controlados. Assim, o uso de modelos com correção de dispersão é recomendado para estudos futuros (SER, 2022; SER e BATI, 2023).

As diferenças observadas entre os lotes de sementes, incluindo variações no limiar térmico inferior (To), indicam possível influência de efeitos maternos, epigenéticos e também do histórico fisiológico dos lotes. Nesse sentido, o primeiro e o segundo lote podem apresentar respostas distintas devido às condições ambientais contrastantes durante a formação das sementes, que afetam processos como acúmulo de reservas, grau de maturidade fisiológica e

regulação gênica. Enquanto o primeiro lote reflete diretamente o ambiente original de coleta, o segundo lote tende a expressar maior adaptação às condições de cultivo controlado, o que pode explicar as diferenças observadas no desempenho germinativo e nos parâmetros térmicos. Esses efeitos são amplamente descritos na literatura como determinantes do comportamento germinativo (DEWAN et al., 2018; SINGH et al., 2019; NGUYEN et al., 2021; BRUNEL-MUGUET et al., 2025; FARNOCCHIA et al., 2025).

A relação inversa entre plântulas normais e anormais reforça que a faixa entre 20 °C e 25 °C representa condição térmica ideal para o desenvolvimento equilibrado das plântulas (OLIVEIRA; BARBOSA, 2014). O tempo médio de germinação apresentou comportamento coerente com a literatura, sendo menor próximo à faixa ótima, o que indica maior eficiência metabólica (RAJJOU et al., 2012; BEWLEY et al., 2013; EHRHARDT-BROCARDO e COELO, 2022; BASU e GROOT, 2023). Temperaturas fora desse intervalo aumentam o tempo de germinação e reduzem a uniformidade (DINIZ et al., 2020; FREITAS et al., 2024).

De forma geral, os resultados demonstram que, embora *Physalis pubescens* apresente ampla capacidade germinativa, a temperatura exerce forte influência na qualidade das plântulas e na velocidade do processo germinativo. A faixa entre 23 °C e 28 °C é a mais adequada para maximizar o desempenho fisiológico, sendo recomendada para testes de germinação e produção de mudas em condições controladas.

5. CONCLUSÕES

A germinação e o desenvolvimento inicial de *Physalis pubescens* foram influenciados pela temperatura, com melhor desempenho entre 23 °C e 28 °C, caracterizada por maior formação de plântulas normais e menor incidência de anormalidades.

Diferenças entre lotes indicaram deslocamento da faixa ótima no segundo lote, sugerindo efeitos maternos e plasticidade fisiológica, o que reforça a importância das condições de produção das sementes.

6. REFERÊNCIAS

ALVARADO, V.; BRADFORD, K. J. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 8 p.1061-1069, 2002.

ARAUJO, C. P.; SIMÕES, I. M.; FAGUNDES, D. P.; COSTA, J. S.; CADE, E. S.; MORAES, E. B.; ALMEIDA, M. R.; ASSIS, J. P. V. F.; SHIMIDT, E. R.; PEREIRA, W. V. S.; OLIVEIRA, J. B. R.; SANTOS, H. O.; FERREIRA, M. F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S. Thermal shock at a high temperature for a short period increases the germination success of the chestnut tree *Lecythis pisonis* Cambess. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113465, 2024.

ARGYRIS, J.; DAHAL, P.; HAYASHI, E.; STILL, D. W.; BRADFORD, K. J. Genetic variation for lettuce seed thermoinhibition is associated with temperature-sensitive expression of abscisic acid, gibberellin, and ethylene biosynthesis, metabolism, and response genes. **Plant Physiol**, v. 148, p. 926–947, 2008.

BASKIN, C.; BASKIN, J. M. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. **Academic Press**, p.150-162, 2014.

BASU, S., GROOT, S. P. C. Seed Vigour and Invigoration. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) Seed Science and Technology. **Springer, Singapore**, p. 67-89, 2023.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. 3. ed. **New York: Springer**, p. 289, 2013.

BICCA, M. L.; SILVA, J. P.; DIAS, C. S.; SCHIAVON, A. V.; SILVA, L. S. Substratos e temperaturas no desenvolvimento inicial de physalis. **Research, Society and Development,** v. 9, n. 12, p. e15991210769, 2020.

BRADFORD, K. J.; SOMASCO, O. A. Water relations of lettuce seed thermoinhibition. I. Priming and endosperm effects on base water potential. **Seed Science Research,** v. 4, p. 1–10, 1994.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA/ACS),** 2009. 395 p.

BRUNEL-MUGUET, S.; BARÁNEK, M.; FRAGKOSTEFANAKIS, S.; SAUVAGE, C.; LIEBERMAN-LAZAROVICH, M.; MAURY, S.; KAISERLI, E.; SEGAL, N.; TESTILLANO, P. S.; VERDIER, J. Maternal environmental effects and climate-smart seeds: unlocking epigenetic inheritance for crop innovation in the seed industry. **Journal Plant,** v. 123, n. 3, p. e70407, 2025.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

DEWAN, S.; MIJNSBRUGGE, K. V.; FRENNE, P.; STEENACKERS, M.; MICHIELS, B.; VERHEYEN, K. Maternal temperature during seed maturation affects seed germination and timing of bud set in seedlings of European black poplar. **Forest Ecology and Management,** v. 410, p. 126-135, 2018.

DINIZ, E. S.; THIELE, J. A. N. Modelos de regressão em R. 2.ed., Viçosa, 2021.

DINIZ, F. O.; CHAMMA, L.; NOVEMBRE, A. D. L. C. Germination of *Physalis peruviana* L. seeds under varying conditions of temperature, light, and substrate **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, p. e20166493, 2020.

EHRHARDT-BROCARDO, N. C. M.; COELHO, C. M. M. Mobilization of seed storage proteins is crucial to high vigor in common bean seeds. **Ciência Rural**, v. 52, n. 2, p. e20200894, 2022.

FARNOCCHIA, R. B. F.; BENECH-ARNOLD, R. L.; BATLLA, D. Maternal temperature effects on seed dormancy mitigate the negative impact of global warming on germination and population fitness. **Journal of Experimental Botany**, p. eraf243, 2025.

FREITAS, E. M.; GOMES, C. N.; SILVA, L. J.; CUNHA, F. F. Germination Performance of *Physalis peruviana* L. Seeds under Thermal and Water Stress Conditions. **Agronomy**, v. 14, n. 6, p. 1213, 2024.

GUO, M.; ZONG, J.; ZHANG, J.; WEI, L.; WEI, W.; FAN, R.; ZHANG, T.; WEI, L.; WEI, W.; FAN, R.; ZHANG, T.; TANG, Z.; ZHANG, G. Effects of temperature and drought stress on the seed germination of a peatland lily (*Lilium concolor* var. *megalanthum*). **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1-11, 2024.

HILLS, P.; VAN STADEN, J. Thermoinhibition of seed germination. **South African Journal of Botany**, v. 69, p. 455-461, 2003.

HSU, H.; STUKE, M.; BAKKER, J. D.; KIM, S. A time-to-event analysis for temperature dependence of seed germination in four conifers: Ecological niche and environmental gradientes. **Forest Ecology and Management,** v. 562, 15, p. 121972, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados meteorológicos.** Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 12 dez. 2025.

JAVID, M., ULLAH, S., AMIN, F.; SHAS, W.; MALIK, T.; ALWAHIB, M. S.; WAHEED, A.; ERCISLI, S; ALI, B. Computing the effects of temperature and osmotic stress on the seed germination of *Helianthus annuus* L. by using a mathematical model. **Scientific Reports** , v.14, p. 9978, 2024.

JIANG, Y.; JIN, Y.; SHAN, Y.; ZHONG, Q.; WANG, H.; SHEN, C.; FENG, S. Advances in Physalis molecular research: applications in authentication, genetic diversity, phylogenetics, functional genes, and omics. **Frontiers in Plant Science,** v. 15, p. 1407625, 2024.

KHARCHOUFI, S.; GOMEZ, J.; LASANTA, C.; CASTRO, R.; SAINZ, F.; HAMDI M. Benchmarking laboratory-scale pomegranate vinegar against commercial wine vinegars: antioxidant activity and chemical composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 98, p. 4749-4758, 2018.

KHAEIM, H.; KENDE, Z.; BALLA, I.; GYURICZA, C.; ESER, A.; TARNAWA, A. The Effect of Temperature and Water Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 3887, 2022.

LIANG, Y.; LIANG, L.; SHI, R.; LUO, R.; YUE, Y.; YU, J.; WANG, X.; LIN, J.; ZHOU, T.; YANG, M.; ZHONG, L.; WANG, Y.; SHU, Z. Genus *Physalis* L.: A review of resources and cultivation, chemical composition, pharmacological effects and applications. **Journal of Ethnopharmacology,** v. 324, p. 117736, 2024.

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES. **Embrapa Soja.** 2015. 659 p.

NGUYEN, C. D.; CHEN, J.; CLARK, D.; PEREZ, H.; HUO, H. A. Effects of Maternal Environment on Seed Germination and Seedling Vigor of *Petunia* x hybrida under Different Abiotic Stresses. **Plants,** v. 10, n. 3, p. 581, 2021.

OLIVEIRA, A. K. M.; BARBOSA, L. A. Efeitos da temperatura na germinação de sementes e na formação de plântulas de Cedrela fissilis. **Floresta,** v. 44, n. 3, p. 441–450, 2014.

OSTADIAN, B. R.; BALOUCHI, H.; SOLTANI, E.; MORADI, A. Effect of temperature and water potential on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. **Industrial Crops and Products**, v. 113, p. 121–127, 2018.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/, 2022.

RAJJOU, L.; DUVAL, M.; GALLARDO, K.; CATUSSE, J. Seed Germination and Vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 507-33, 2012.

SER, G. Extreme variability modelling of overdispersed germination count experiments. **Chilean journal of agricultural research**, v. 82, n. 4, p. 619-627, 2022.

SER, G.; BATI, C. T. Modelling overdispersed seed germination data: xgboost's performance. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 33, n. 4, 2023.

SILVA, G. A.; PACHECO, M. V.; LUZ, M. N.; NONATO, E. R. I.; DELFINO, R. C. H.; PEREIRA, C. T. Fatores ambientais na germinação de sementes e mecanismos de defesa para garantir sua perpetuação. **Research, Society and Development,** v. 9, n. 11, e93491110524, 2020.

SHARMA, S.; SINGH, V.; TANWAR, H.; MOR, V. S.; KUMAR, M.; PUNIA, R. C.; DALAL, M. S.; KHAN, M.; SANGWAN, S.; BHUKER, A.; SHEEKHAR, C.; YASHVEER. S; SINGH, J. Impact of High Temperature on Germination, Seedling Growth and Enzymatic Activity of Wheat. **Agriculture,** v. 12, n. 9. p. 1500, 2022.

SINGH, B.; SINGH, S. K.; MATCHA, S. K.; KAKANI, V. G.; WIJEWARDANA, C.; CHASTAIN, D.; GAO, W.; REDDY, K. R. Parental Environmental Effects on Seed Quality and Germination Response to Temperature of *Andropogon gerardii*. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 304, 2019.

SOUZA, C. L. M. **Germinabilidade de sementes de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) sob condições de estresses abióticos**. 2009. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) - Discente, [*S. l.*], Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 2009.

UPRETEE, P.; BANDARA, M. S.; TANINO, K. K. The Role of Seed Characteristics on Water Uptake Preceding Germination. **Seeds**, v. 3, n. 4, p. 559-574, 2024.

YUAN-CE, L.; YU-YAN, P.; QI, Z.; HONG-YANG, Z.; YAN-WEN, W.; YU-MEI, S.; GUANG-ZHI, Z.; JUN-LIN, Y. *Physalis pubescens* L. branch and leaf extracts inhibit lymphoma proliferation by inducing apoptosis and cell cycle arrest. **Frontiers in Pharmacology,** v. 14, p. 1192225, 2023.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Functional Properties of *Physalis Pubescens* Linnaeus: A Literature Review. **Journal of Biotechnology Research,** v. 5, n. 12, p. 128-139, 2019.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical and bioactive compounds evaluation of *Physalis pubescens* Linnaeus. **Revista Ceres,** v. 67, n. 6, 2020.

CAPÍTULO 2

Restrição hídrica na germinação de *Physalis pubescens* L.

RESTRIÇÃO HÍDRICA NA GERMINAÇÃO DE *Physalis pubescens* L.

RESUMO: *Physalis pubescens* L. é uma espécie da família Solanaceae com elevado potencial alimentício e funcional, porém ainda pouco investigada quanto às respostas fisiológicas ao estresse hídrico durante a germinação. A disponibilidade de água é determinante para a embebição, ativação metabólica e estabelecimento inicial das plântulas. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento germinativo e o vigor de sementes de *P. pubescens* submetidas a intensidade de restrição hídrica. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes, sob potenciais osmóticos de 0,0; −0,2; −0,4; −0,6; −0,8 e −1,0 MPa, simulados com soluções de polietilenoglicol (PEG 6000). Foram avaliados o percentual de germinação, velocidade de germinação, a formação de plântulas normais, plântulas inviáveis e sementes duras. Sementes que não germinaram nos potenciais mais negativos foram posteriormente reidratadas para avaliação da capacidade de recuperação fisiológica. A restrição hídrica na semente influenciou negativamente a germinação e o vigor de sementes de *P. pubescens*, afetando o tempo médio de germinação e a qualidade das plântulas. O potencial −1,0 MPa, apesar de aumentar o tempo de germinação, favoreceu a formação de plântulas normais. Já o potencial de −0,6 MPa reduziu o tempo de germinação, mas resultou em maior ocorrência de plântulas anormais, evidenciando que a velocidade de germinação, isoladamente, não representa maior desempenho fisiológico.

Palavras-chave: restrição hídrica; sementes; potencial osmótico; polietilenoglicol; vigor fisiológico; plântulas.

WATER RESTRICTION ON THE GERMINATION OF *Physalis pubescens* L.

ABSTRACT: *Physalis pubescens L.* is a species of the family Solanaceae with high food and functional potential; however, it has been little investigated regarding its physiological responses to water stress during germination. Water availability is a determining factor for seed imbibition, metabolic activation, and the initial establishment of seedlings. Therefore, the present study aimed to analyze the germination behavior and vigor of *P. pubescens* seeds subjected to different levels of water restriction. The experiment was conducted in a completely randomized design, with four replicates of 25 seeds, under osmotic potentials of 0.0, −0.2, −0.4, −0.6, −0.8, and −1.0 MPa, simulated using polyethylene glycol (PEG 6000) solutions. Germination percentage, mean germination time, formation of normal seedlings, nonviable seedlings, and hard seeds were evaluated. Seeds that did not germinate under the most negative potentials were subsequently rehydrated to assess their physiological recovery capacity. Water restriction negatively influenced the germination and vigor of *P. pubescens* seeds, affecting the mean germination time and seedling quality. The −1.0 MPa potential, despite increasing germination time, favored the formation of normal seedlings. In contrast, the −0.6 MPa potential reduced germination time but resulted in a higher occurrence of abnormal seedlings, indicating that germination speed alone does not necessarily reflect greater physiological performance.

Keywords: water restriction; seeds; osmotic potential; polyethylene glycol; physiological vigor; seedlings.

1. INTRODUÇÃO

Physalis pubescens L. é uma espécie herbácea pertencente à família Solanaceae, nativa da América do Norte e amplamente distribuída em regiões subtropicais, sendo popularmente conhecida como cereja-do-chão-peluda (EL SHEIKHA et al., 2010). A espécie apresenta elevado potencial alimentício e econômico, em função de sua composição nutricional rica em vitaminas, minerais e compostos bioativos, como carotenoides e fenólicos, o que sustenta seu uso nas indústrias alimentícia e farmacêutica (KHARCHOUFI et al., 2018; FERNANDES et al., 2019; ZIMMER et al., 2020). Seus frutos podem ser consumidos in natura ou processados em diferentes produtos derivados, ampliando seu valor agregado (ALMEIDA et al., 2013). Apesar dessa relevância, *P. pubescens* ainda é pouco explorada do ponto de vista ecofisiológico, especialmente quanto às respostas de suas sementes a estresses ambientais.

A germinação de sementes é um processo complexo que depende da interação entre fatores ambientais e o estado fisiológico da semente, sendo fundamental a disponibilidade adequada de água, oxigênio e temperatura para a ativação metabólica e a emissão da radícula (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2015; CORBINEAU, 2022). Entretanto, em condições naturais, esses fatores raramente se encontram em níveis ideais, expondo as sementes a diferentes tipos de estresse ambiental. Dentre esses, destacam-se o estresse hídrico e o estresse térmico, por sua elevada frequência e impacto sobre o metabolismo germinativo (BRAFORD, 2002; KHAEIM et al., 2022; HSU et al., 2024). O oxigênio também exerce papel essencial nesse processo, pois viabiliza a respiração celular e a produção de ATP, indispensáveis para a retomada do metabolismo durante a embebição (CORBINEAU, 2022).

A disponibilidade de água é um dos principais fatores reguladores da germinação, pois controla a embebição e desencadeia processos metabólicos fundamentais, como respiração, síntese de proteínas e RNA, além da biossíntese e regulação de fitohormônios (BRADFORD et al., 1995; BRADFORD et al., 2008; HOLDSWORTH et al., 2008; NONOGAKI, 2019). A absorção de água pelas sementes é influenciada por diversos fatores, incluindo características intrínsecas da semente e condições externas, como temperatura

e disponibilidade hídrica (DADACH et al., 2015; BLUNK et al., 2021). Em condições de déficit hídrico, observa-se redução da atividade enzimática, comprometimento do metabolismo de carboidratos, alterações no balanço iônico e hormonal, além da diminuição do potencial hídrico celular, o que pode limitar ou até inibir a germinação (GUAN et al., 2009; ADEROUNMU et al., 2020).

Diante disso, compreender a fisiologia da germinação sob estresse hídrico é fundamental para a definição dos limites hidro-térmicos da espécie e para a identificação de mecanismos de tolerância. Essas informações são essenciais para subsidiar estratégias de manejo, otimizar a produção de mudas e orientar programas de melhoramento genético voltados à adaptação a condições adversas, especialmente em cenários de mudanças climáticas caracterizados por maior irregularidade hídrica.

Apesar da importância do tema, ainda são escassos os estudos que avaliam o comportamento germinativo de *P. pubescens* sob condições de restrição hídrica, o que limita o avanço de seu cultivo e domesticação. Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que sementes de *P. pubescens* apresentam tolerância moderada ao estresse hídrico, sendo capazes de manter a germinação em potenciais osmóticos reduzidos, ainda que com alterações na velocidade germinativa e na qualidade das plântulas.

Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento germinativo de sementes de *Physalis pubescens* L. sob diferentes condições de restrição hídrica, visando compreender suas respostas fisiológicas e gerar subsídios para o manejo da cultura em ambientes sujeitos a estresse hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no campus de Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

2.1 Coleta de frutos e beneficiamento das sementes

Os frutos maduros de *P. pubescens* foram coletados de matrizes localizadas na comunidade Sitio Laranjeiras, em Muritiba, Bahia, Brasil nas

coordenadas geográficas 12°38'13"S e 39°05'45"W (−12.6369; −39.0959), localizado no Recôncavo Baiano, Nordeste do Brasil, em abril de 2025. A região possui clima classificado como tropical, com duas estações bem definidas (seca e chuvosa), e temperatura média anual de aproximadamente 24,0 °C, com máximas médias em torno de 29,2 °C e mínimas próximas de 20,2 °C (KÖPPEN, 1948).

As sementes foram extraídas dos frutos de forma manual, lavadas em água corrente até a retirada total da polpa e secas sobre papel filtro em temperatura ambiente (condições de laboratório). Em seguida, foram armazenadas em potes de vidro e colocadas na geladeira até a realização dos experimentos. O teor de água das sementes foi determinado utilizando 4 repetições com 1g cada, pelo método estufa a 105ºC (± 2ºC) por 24 horas (BRASIL, 2009).

2.1.1 Instalação e condução do experimento

Para avaliar o efeito da restrição hídrica, as sementes armazenadas foram submetidas aos testes de germinação nos potenciais osmóticos (*screening* osmótico) de 0,0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa. O potencial de 0,0 MPa foi simulado com água destilada (controle) e os demais potenciais com soluções de polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) preparadas de acordo com Villela et al. (1991).

O experimento foi realizado em delineamento estatístico inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes por tratamento.

As sementes foram dispostas em caixas gerbox (11x11x3,5cm), contendo duas folhas de papel germitest umedecidas com 6 ml da solução teste. Foram realizadas trocas a cada dois dias para manutenção do potencial da solução e a prevenção do aparecimento de patógenos. Estas permaneceram em germinador ajustado à temperatura de 25ºC e fotoperíodo de 12 horas de luz (OLIVEIRA et al., 2019).

2.2 Avaliações

Foram realizadas contagens diárias até a estabilização da germinação aos 44 dias (7 dias sem ocorrência do evento).

As sementes dos tratamentos em que não houve germinação foram lavadas e transferidas para novas caixas gerbox umedecido com água destilada e mantidas no regime de temperatura e fotoperíodo descrito anteriormente. As avaliações foram realizadas diariamente até a estabilização da germinação e da formação de plântulas normais (7 dias sem ocorrência do evento).

Para avaliar o efeito da restrição hídrica sobre germinação de sementes de *P. pubescens*, foram analisados o percentual de germinação (% G), o tempo médio de germinação (TM), percentual de plântulas normais (% PN), o percentual de sementes duras (% Duras) (BRASIL, 2009). Para avaliar o efeito do condicionamento, após a reidratação, foram determinados além do %G, TM, o percentual de plântulas normais (% PN), o percentual de sementes duras (% Duras) (BRASIL, 2009) e o percentual de inviáveis (% Inviáveis) (sementes mortas + plântulas anormais).

2.4 Análise dos dados

Para restrição hídrica empregou-se regressão por ajuste de modelos lineares generalizados para distribuição binomial, as inferências da análise da deviance (ANODEV), foram baseadas na estatística Chi-Square. No caso de verificação de sub ou superdispersão, empregou-se o ajuste pela família quasibinomial, conforme Diniz e Thiele (2021). Como modelos lineares generalizados não possuem coeficiente de determinação foi calculado o Pseudo R2 pela razão entre o desvio residual (residual deviance) pelo desvio nulo (Null deviance) (DINIZ e THIELE, 2021). Para o tempo médio de germinação aplicou-se análise de variância e regressão.

Para a avaliação da reidratação, empregou-se modelos lineares generalizados e testes de comparações múltiplas de médias com ajuste de Tukey, com correção de intervalo de confiança pelo método Šidák, por meio dos pacotes emmeans (LENTH et al, 2024) e multcompView (GRAVES, et al., 2024). Para o tempo médio de germinação análise de variância e teste de Student-Newman-Keuls, utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2025).

As análises foram realizadas no R version 4.5.2 (R development core team, 2025).

3. RESULTADOS

A germinação de sementes de *P. pubescens* ocorreu até o potencial osmótico de −0,2 MPa. A partir de −0,8 MPa, não foram observadas sementes germinadas, indicando limitação do processo germinativo sob maior restrição hídrica (Figura 1). O maior percentual de germinação foi registrado no potencial osmótico de −0,2 MPa. A redução progressiva da germinação com o decréscimo do potencial osmótico evidencia sensibilidade da espécie ao déficit hídrico, com ausência de germinação a partir de −0,8 Mpa.

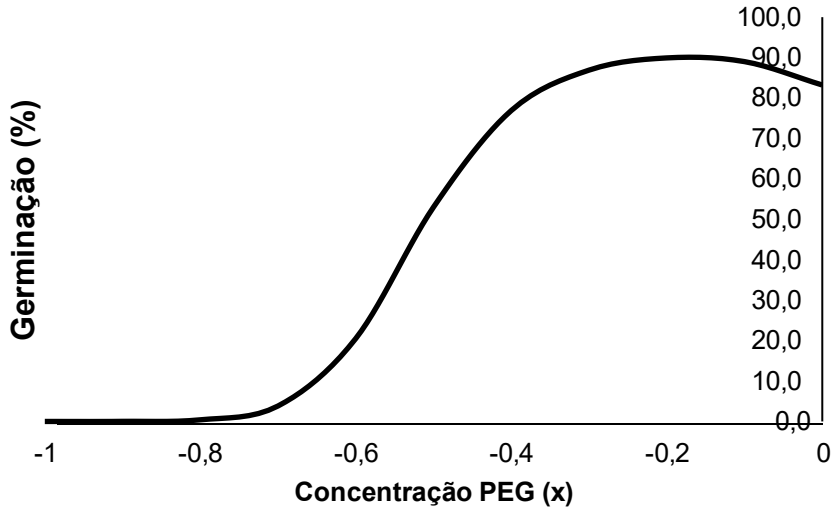


Figura 1. Percentual de germinação (%G) de sementes de *P. pubescens* em função do potencial osmótico induzido por polietilenoglicol (PEG 6000). Os dados foram ajustados por modelo logístico: $\%G = \exp(1{,}60 - 6{,}87x - 19{,}65x^2) / [1 + \exp(1{,}60 - 6{,}87x - 19{,}65x^2)] \times 100$, com Pseudo $R^2 = 0{,}92$.

O potencial osmótico influenciou significativamente a formação de plântulas normais, inviáveis e sementes duras (Figura 2). Observou-se aumento progressivo no percentual de plântulas normais com a elevação do potencial osmótico, enquanto plântulas inviáveis apresentaram comportamento inverso. As sementes duras foram mais frequentes em potenciais mais negativos, reduzindo-se à medida que o potencial se aproximou de zero. Os dados foram ajustados por modelos logísticos, com Pseudo $R^2 = 0{,}88$ (plântulas normais), 0,98 (plântulas inviáveis) e 0,99 (sementes duras) (Figura 2).

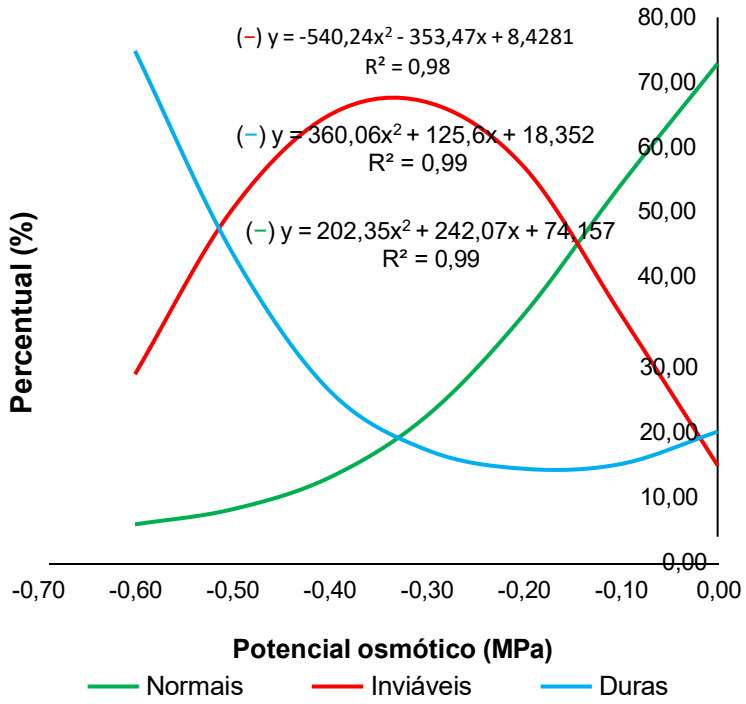


Figura 2. Percentual osmótico de formação de plântulas normais, inviáveis (plântulas anormais + sementes mortas) e sementes duras de *P. pubescens* em função do potencial osmótico (MPa) induzido por polietilenoglicol (PEG 6000).

A formação de plântulas normais foi observada apenas no controle e em −0,2 MPa, com diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,0001$) (Figura 3).

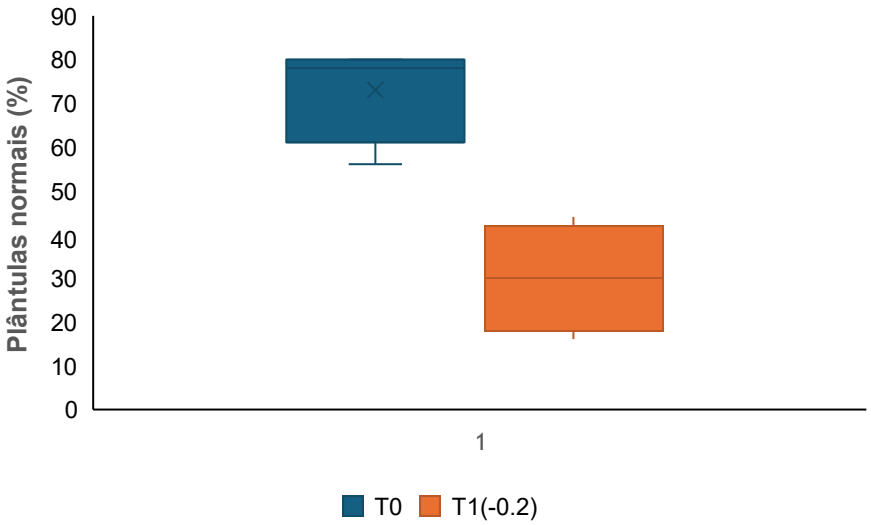


Figura 3. Percentual de formação de plântulas normais da espécie *P. pubescens* em resposta a potenciais osmóticos (MPa) induzidos por polietilenoglicol (PEG). T0: controle; T1: -0,2 MPa PEG.

Embora a germinação tenha ocorrido até −0,6 MPa (Figura 1), a formação de plântulas normais foi restrita a −0,2 MPa, com aproximadamente 30%, inferior ao controle (73%).

O tempo médio de germinação aumentou com o incremento da concentração de PEG (Figura 4), sendo menor no tratamento controle e maior nos tratamentos com maior restrição hídrica.

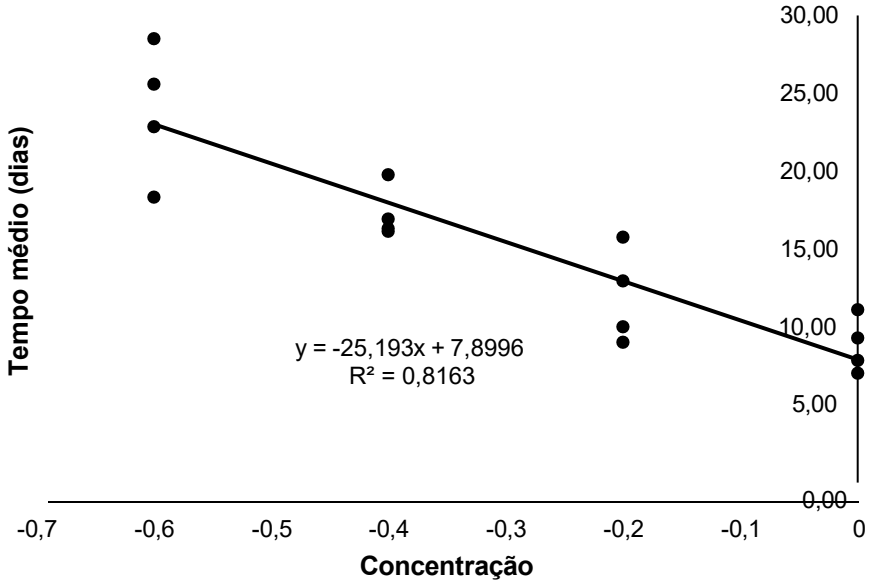


Figura 4. Velocidade média de germinação (dias) de sementes de *P. pubescens* induzido por polietilenoglicol (PEG 6000). A linha representa o ajuste por regressão linear (y = −25,193x + 7,8996; R² = 0,8163).

Na reidratação, os potenciais osmóticos de −1,0 e −0,8 MPa proporcionaram maior formação de plântulas normais, enquanto −0,6 MPa apresentou maior percentual de plântulas anormais (Figura 5). Não houve diferença significativa no percentual total de germinação entre os tratamentos.

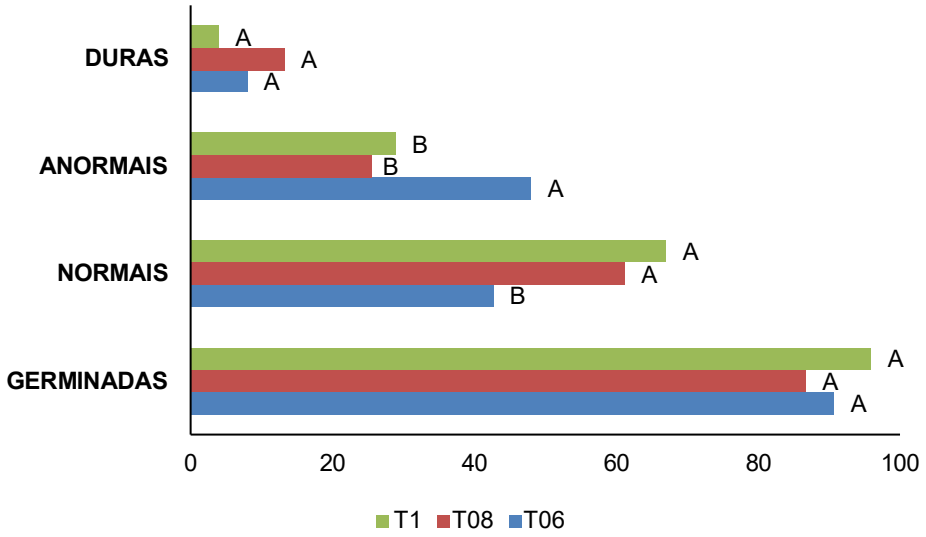


Figura 5. Percentual de sementes germinadas, plântulas normais, plântulas anormais e sementes duras de *P. pubescens* após reidratação, submetidas previamente a potenciais osmóticos (−1,0; −0,8 e −0,6 MPa). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$). T1: -1,0; T08: -0,8; T06: -0,6 MPa.

O tempo médio de germinação diferiu entre os tratamentos, sendo maior em −1,0 MPa e menor em −0,6 MPa (Figura 6), com valores intermediários em −0,8 MPa.

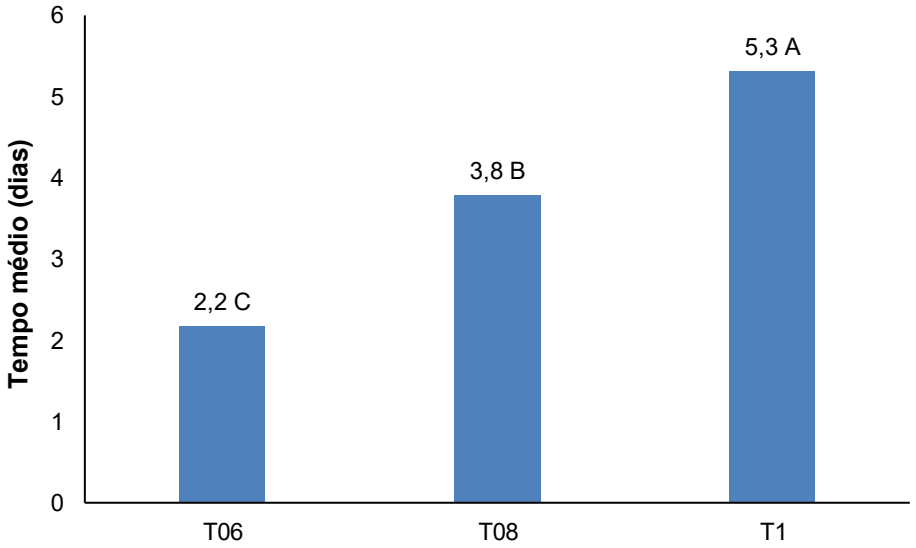


Figura 6. Tempo médio de germinação (dias) de sementes de *P. pubescens* submetidas a potenciais osmóticos (T1: −1,0 MPa; T08: −0,8 MPa e T06 −0,6 MPa). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p > 0,05$).

4. DISCUSSÃO

A redução da germinação com o decréscimo do potencial osmótico confirma que a disponibilidade hídrica é determinante para o processo germinativo, uma vez que a diminuição do gradiente hídrico limita a embebição e a ativação metabólica (FAROOQ et al., 2007; KHAEIM et al., 2022; TAVARES et al., 2021). Resultados semelhantes foram observados em *Physalis peruviana*, onde potenciais osmóticos mais negativos reduziram significativamente a germinação e o vigor (FREITAS et al., 2024).

O maior percentual de germinação em −0,2 MPa sugere que níveis leves de restrição hídrica podem não comprometer o processo germinativo e até favorecer a uniformidade, possivelmente por promover uma embebição mais controlada. Esse comportamento também foi observado em espécies do gênero *Physalis*, nas quais o osmocondicionamento melhora a germinação e o crescimento inicial (SOUZA et al., 2016).

O aumento de plântulas normais com a elevação do potencial osmótico indica que a redução do estresse hídrico favorece a ativação dos processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento inicial (ARSHAD et al., 2022). Em contraste, a maior ocorrência de plântulas inviáveis e sementes duras em condições mais restritivas está associada à limitação da embebição e à impermeabilidade do tegumento (KINTL et al., 2021; WEN et al., 2024).

A limitação da formação de plântulas normais a −0,2 MPa, apesar da germinação ocorrer em potenciais mais negativos, demonstra que a protrusão da radícula não garante o desenvolvimento adequado das plântulas. Esse padrão também foi relatado em tomate, no qual potenciais abaixo de −0,2 MPa prejudicam o crescimento inicial (CARVALHO et al., 2021).

O aumento do tempo médio de germinação sob restrição hídrica reflete redução do vigor das sementes, uma vez que a limitação na absorção de água retarda a ativação metabólica (PELEGRINI et al., 2013; DUCATTI et al., 2022). Esse comportamento é consistente com estudos em milho e sorgo, que mostram aumento do tempo de germinação e redução do vigor sob estresse hídrico (QUEIROZ et al., 2019; YADAV et al., 2024).

Na reidratação, a maior formação de plântulas normais em −1,0 e −0,8 MPa sugere efeito de osmocondicionamento, no qual a exposição prévia ao estresse

induz mecanismos de ajuste fisiológico, como reorganização de membranas e acúmulo de solutos compatíveis (ZHANG et al., 2015; MA et al., 2024). Por outro lado, o desempenho inferior em −0,6 MPa indica que níveis intermediários de estresse podem não ser suficientes para induzir tais mecanismos adaptativos.

Embora o menor tempo médio de germinação seja frequentemente associado a maior vigor, os resultados demonstram que esse parâmetro deve ser interpretado em conjunto com outros indicadores fisiológicos. O tratamento −0,6 MPa apresentou germinação mais rápida, porém com maior ocorrência de plântulas anormais, enquanto −1,0 MPa resultou em maior tempo, mas melhor qualidade de plântulas. Esse padrão reforça que o desempenho fisiológico deve ser avaliado de forma integrada (JATANA et al., 2024; ANGHLA et al., 2025; Cañizares et al., 2025).

De modo geral, os resultados evidenciam que *P. pubescens* é sensível à restrição hídrica, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento, e que a disponibilidade de água é fundamental para garantir não apenas a germinação, mas também a formação de plântulas normais e vigorosas.

5. CONCLUSÃO

A restrição hídrica na semente influenciou negativamente a germinação e o vigor de sementes de *P. pubescens*, afetando o tempo médio de germinação e a qualidade das plântulas. O potencial −1,0 MPa, apesar de aumentar o tempo de germinação, favoreceu a formação de plântulas normais. Enquanto que, o potencial de −0,6 MPa reduziu o tempo de germinação, mas resultou em maior ocorrência de plântulas anormais, evidenciando que a velocidade de germinação, isoladamente, não representa maior desempenho fisiológico.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. E. M.; ROSA, F. R.; FUSTINONI, A. M.; SANT'ANA, L. P.; ARRUDA, S. F. Brazilian savanna fruits contain higher bioactive compounds content and higher antioxidant activity relative to the conventional red delicious apple. **PloS One**, v. 8, p. e72826, 2013.

ADEROUNMU, A. F.; NKEMNKENG, F. J.; ANJAH, G. M. Effects of seed provenance and growth media on the growth performance of Vitellaria paradoxa

c.f. gaertn. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 14, p. 2659–2669, 2020.

ANGHLA, L. C.; REHAN, S. D.; SHARMA, A.; THAKUR, S.; RANA, N.; SHARMA, S. Assessment of seed priming for mitigating abiotic stress and improving growth of horticultural crops: a review. **Discover Applied Sciences,** v. 7, p. 1423, 2025.

ARSHAD, K.; ULLAH, A.; ULLAH, S.; BOGARI, H. A.; ASHOUR, M. L.; NOOR, J.; AMIN, F.; SHAH, S. Quantifying Osmotic Stress and Temperature Effects on Germination and Seedlings Growth of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) via Hydrothermal Time Model. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12049, 2022.

BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R. A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. **Seed Science Research,** v. 25, n. 02, p. 1-12, 2015.

BLUNK, S.; BUSELL, J.; SPARKES, D.; HEER, M. I.; MOONEY, S. J.; STURROCK, C. J. The effects of tillage on seed-soil contact and seedling establishment. **Soil and Tillage Research,** v. 206, p. 104757, 2021.

BRADFORD, K. J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. **Weed Science,** v. 50, n. 2, p. 248-260, 2002.

BRADFORD, K. J. KIGEL, J.; GALILI, G (Eds). Seed development and germination. New York, **Marcel Dekker**, p. 351-356, 1995.

BRADFORD, K. J.; BENECH-ARNOLD, R.; CÔME, D.; CORBINEAU, F. Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid and gibberellin using a population-based threshold model. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, p. 335–347, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília: MAPA/ACS, 2009.

CAÑIZARES, E.; GIOVANNINI, L.; GUMUS, B.O.; FOTOPOULOS, V.; BALESTRINI, R.; GONZÁLEZ-GUZMÁN, M.; ARBONA, V. Seeds of Change: exploring the transformative effects of seed priming in sustainable agriculture. **Physiologia Plantarum**, v. 177, n. 3, p. e70226, 2025

CARVALHO, J. S. B.; BATISTA, R. C. M.; CIRILO, M. A. S.; SILVA, J. P. R.; MOSER, L. M. Respostas do estresse hídrico simulado com polietilenoglicol 6.000 em sementes de tomate. **Ciências Agrárias: O Avanço da Ciência no Brasil**, v. 1, cap. 29, p. 451-461, 2021.

CORBINEAU, F. Oxygen, a key signalling factor in the control of seed germination and dormancy. **Seed Science Research,** v. 32, n. 1, p. 126-136, 2022.

DADACH, M.; MEHDADI, Z.; LATRECHE, A. Effect of water stress on seed germination of *Thymus serpyllum* L. from tessala mount.. **Journal of Plant Science**, , v. 10 , p. 151-158, 2015.

DINIZ, E. S.; THIELE, J. A. N. **Modelos de regressão em R. 2.ed**., Viçosa, 2021.

DUCATTI, K. R.; BATISTA, T. B.; HIRAI, W. Y.; LUCCAS, D. A.; MORENO, L. A. A.; GUIMARÃES, C. C.; BASSEL, G. W.; SILVA, E. A. A. Transcripts Expressed during Germination Sensu Stricto Are Associated with Vigor in Soybean Seeds. **Plants,** v. 11, n. 10, p. 1310, 2022.

EL SHEIKHA, E.; PIOMBO, G.; GOLI, T.; MONTET, D. Main composition of Physalis (*Physalis pubescens* L.) fruit juice from Egypt. **Fruits,** v. 65, n. 4, p. 255-265, 2010.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; BARSA, H.; SALEEM, B. A. Seed priming enhances the performance of late-sown wheat by improving chilling tolerance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, p. 289–297, 2007.

FERNANDES, A. C.; SOUZA, A. C.; RAMOS, C. L.; PEREIRA, A. A.; SCHWAN R. F.; DIAS, D. R. Sensorial, antioxidant and antimicrobial evaluation of vinegars from surpluses of Physalis (*Physalis pubescens* L) and red pitahaya (*Hylocereus monacanthus*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 2267-2274, 2019.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **Package 'ExpDes.pt'.** 2025. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/index.html. Acesso em: 13/06/2025.

FREITAS, E. M.; GOMES, C. N.; SILVA, L. J.; CUNHA, F. F. Germination Performance of *Physalis peruviana* L. Seeds under Thermal and Water Stress Conditions. **Agronomy,** v. 14, n. 6, p. 1213, 2024.

GUAN, B.; ZHOU, D.; ZHANG, H.; TIAN, Y.; JAPHET, W.; WANG, P. Germination responses of medicago ruthenica seeds to salinity, alkalinity, and temperature. **Journal of Arid Environments,** v. 73, p. 135–138, 2009.

GRAVES, S.; PIEPHO, H.; SELZER, L. **Reference manual: Package 'multcompView'.** Version: 0.1-10, 2024. Doi: 10.32614/CRAN.package.multcompView

HOLDSWORTH, M. J.; BENTSINK, L.; SOPPE, W. J. Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination. **New Phytologist, v.** 179, p. 33–54, 2008.

HSU, H.; STUKE, M.; BAKKER, J. D.; KIM, S. A time-to-event analysis for temperature dependence of seed germination in four conifers: Ecological niche and environmental gradientes. **Forest Ecology and Management,** v. 562, 15, p. 121972, 2024.

JATANA, B. S.; GROVER, S.; RAM, S.; RAM, H.; BAATH, G. S. Seed Priming: Molecular and Physiological Mechanisms Underlying Biotic and Abiotic Stress Tolerance. **Agronomy**, v. 14, n.12, p. 2901, 2024.

KINTL, A.; HUNADY, I.; VYMYSLICKY, T.; ONDRISKOVÁ, V.; HAMMERSCHMIEDT, T.; BRTNICKY, M.; ELBL, J. Effect of Seed Coating and PEG-Induced Drought on the Germination Capacity of Five Clover Crops. **Plants (Basel),** v.10, n. 4, p. 724, 2021.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

KHAEIM, H.; KENDE, Z.; BALLA, I.; GYURICZA, C.; ESER, A.; TARNAWA, A.; The Effect of Temperature and Water Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Sustainability,** v. 14, n. 7, p. 3887, 2022.

KHARCHOUFI, S.; GOMEZ, J.; LASANTA, C.; CASTRO, R.; SAINZ, F.; HAMDI M. Benchmarking laboratory-scale pomegranate vinegar against commercial wine vinegars: antioxidant activity and chemical composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 98, p. 4749-4758, 2018.

LENTH, R.; PIASKOWSKI, J.; BANFAI, B.; BOLKER, B.; BUERKNER, P.; GINÉ-VÁZQUEZ, I.; HERVÉ, M.; JUNG, M.; LOVE, J.; MIGUEZ, F.; RIEBL, H.; SINGMANN, H. Reference manual: Package 'emmeans'. Version: 2.0.1, 2024. Doi: 10.32614/CRAN.package.emmeans

MA, L.; WEI, J.; HAN, G.; SUN, X.; YANG, X. Seed osmopriming with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. **PLoS one,** v. 19, n. 5, p. e0303145, 2024.

NONOGAKI, H. The long-standing paradox of seed dormancy unfolded. **Trends in Plant Science**, v. 24, p. 989–998, 2019.

OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Teste de germinação de sementes florestais em diferentes temperaturas e fotoperíodos. **Ciência Florestal,** v. 29, n. 2, p. 742–752, 2019.

PELEGRINI, L. L.; BORCIONI, E.; NOGUEIRA, A. C.; KOEHLER, H. S.; QUOIRIN, M. G. G. Efeito do estresse hídrico simulado com nacl, manitol e peg (6000) na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. **Ciência Florestal,** v. 23, n. 2, p. 513-521, 2013.

QUEIROZ, M. S.; OLIVEIRA, C. E. S.; STEINER, f.; ZUFFO, A. M.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E. P.; SILVA, M. V.; MELLO, B. F. f. R.; CABRAL, R. C.; MENIS, F. T. Drought Stresses on Seed Germination and Early Growth of Maize and Sorghum. **Journal of Agricultural Science,** v. 11, n. 2, p. 310-318, 2019.

R Core Team (2025). _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. **R Foundation for Statistical Computing,** Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

SOUZA, M. O.; PELACANI, C. R.; WILLEMS, L. A. J.; CASTRO, R. Effect of osmopriming on germination and initial growth of *Physalis angulata* L. under salt stress and on expression of associated genes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v. 88, n. 1, 2016.

TAVARES, D. S.; FERNANDES, T. E. K.; RITA, Y. L.; ROCHA, D. C.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; GOMES, M. P. Germinative metabolism and seedling growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) under salt and osmotic stress. **South African Journal of Botany,** v.139, p. 399-408, 2021.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, 1991.

YADAV, P. K.; KARKI, S.; SHARMA, A. Effect of Polyethylene Glycol (PEG)-induced drought stress on germination and seedling development of capsicum varieties. **Research Square,** v. 1, p. 1-48, 2024.

WEN, Z.; LU, X.; WEN, J.; WANG, Z.; CHAI, M. Physical Seed Dormancy in Legumes: Molecular Advances and Perspectives. **Plants,** v. 13, n. 11, p. 1473, 2024.

ZHANG, F.; YU, J.; JOHNSTON, C. R.; WANG, Y.; ZHU, K.; LU, F.; ZHANG, Z.; ZOU, J. Seed Priming with Polyethylene Glycol Induces Physiological Changes in Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Seedlings under Suboptimal Soil Moisture Environments. **PLoS One,** v. 10, n. 10, p. e0140620, 2015.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical and bioactive compounds evaluation of *Physalis pubescens* Linnaeus. **Revista Ceres,** v. 67, n. 6, 2020.