



Efeito da temperatura, luz e do tamanho da semente na germinação de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz

Effect of temperature, light and size on germination of *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz seeds

D. C. Gama^{1*}; E. D. Chambó¹; T. A. S. de Freitas²; R. B. M. Vidal²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 44380-000, Cruz das Almas-Bahia, Brasil

²Centro de Ciências Agrária, Ambiental e Biológica, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 44380-000, Cruz das Almas-Bahia, Brasil

*drauziogama@hotmail.com

(Recebido em 25 de maio de 2025; aceito em 29 de abril de 2026)

Conhecer a sensibilidade de sementes silvestres à luz e à temperatura durante a germinação é fundamental para definir condições adequadas de uso silvicultural. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do tamanho das sementes e de fatores ecofisiológicos (luz e temperatura) na germinação de *Copaifera arenicola*. O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. Foram testadas temperaturas constantes e alternadas, além de diferentes qualidades de luz. Após a definição das condições ideais de temperatura e luz, avaliou-se o efeito do tamanho das sementes. As sementes, previamente escarificadas, foram semeadas em vermiculita e mantidas em câmara de germinação com fotoperíodo de 12 horas. Considerou-se germinada a semente com protrusão radicular $\geq 2,0$ mm. Avaliaram-se percentagem de germinação, tempo médio de germinação, índice de velocidade de germinação e plântulas normais, sendo os dados submetidos à análise de variância e teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A temperatura influenciou significativamente os resultados, com maior germinação (97%) sob regime alternado de 20–30 °C, considerado ideal. Temperaturas extremas reduziram o desempenho germinativo. A qualidade da luz apresentou menor influência, caracterizando fotoblastismo neutro. O tamanho das sementes afetou apenas o tempo médio de germinação, com sementes menores germinando mais rapidamente. Conclui-se que a espécie apresenta elevada tolerância ao estresse térmico e plasticidade germinativa frente à variação luminosa, favorecendo seu estabelecimento em condições ambientais variáveis.

Palavras-chave: germinação de sementes, tolerância ao estresse térmico, fotoblastismo neutro.

Understanding the sensitivity of wild seeds to light and temperature during germination is essential for defining appropriate conditions for silvicultural use. This study aimed to evaluate the effect of seed size and ecophysiological factors (light and temperature) on the germination of *Copaifera arenicola*. The experiment was conducted at the Seed Analysis Laboratory of the Federal University of Recôncavo da Bahia, in a completely randomized design, with four replicates of 25 seeds per treatment. Constant temperatures and alternating temperatures were tested, as well as different light qualities. After defining the ideal temperature and light conditions, the effect of seed size was evaluated. Seeds were previously scarified, sown in vermiculite, and maintained in a germination chamber under a 12-hour photoperiod. Seeds with radicle protrusion ≥ 2.0 mm were considered germinated. Germination percentage, mean germination time, germination speed index, and normal seedlings were evaluated, and data were subjected to analysis of variance and Tukey's test ($p \leq 0.05$). Temperature significantly influenced germination, with the highest percentage (97%) observed under the alternating regime of 20–30 °C, considered optimal. Extreme temperatures reduced germination performance. Light quality had a minor effect, characterizing neutral photoblastism. Seed size affected only mean germination time, with smaller seeds germinating faster. The species shows high tolerance to thermal stress and germination plasticity under varying light conditions, favoring establishment in variable environments.

Keywords: seed germination, thermal stress tolerance, neutral photoblastic response.

1. INTRODUÇÃO

A *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz, pertencente à família Fabaceae, é uma espécie arbórea nativa e endêmica da Caatinga com ocorrência natural na Região Nordeste do Brasil [1]. Seu habitat constitui regiões formadas por solos arenosos distróficos profundos de origem sedimentar sob clima semiárido de baixas precipitações e de altas temperaturas médias anuais. Na Bahia, sua presença tem sido registrada na Mesorregião Nordeste [2, 3], sendo aí reconhecida por miroró, pau-preto ou jacuretá (esse último não muito comum), conforme Gama e do Nascimento Júnior (2019) [3]. Com alto poder calorífico superior de $4.427 \text{ kcal.kg}^{-1}$, a sua madeira tem sido bastante utilizada como combustível na forma de lenha [4], razão pela qual a sua extração, somada à supressão da vegetação nativa para uso alternativo do solo, acarretaram a diminuição das populações dessa espécie, atualmente distribuídas em poucos fragmentos de Caatinga nessa Região da Bahia [5, 6].

Nesse contexto, conservar as populações remanescentes dessa espécie com plantios de enriquecimento à variabilidade genética em populações perturbadas, por exemplo, sobretudo por se tratar de um táxon endêmico, compreende uma estratégia necessariamente eficaz [7, 8]. Assim, a semeadura realizada no momento certo, aumenta significativamente a velocidade da germinação, permitindo o estabelecimento da planta, tornando a propagação seminal mais eficiente [9]. Entretanto, esses resultados são possíveis desde que subsidiados por conhecimentos próprios da espécie, especialmente relacionados à sua capacidade germinativa em respostas a fatores ambientais que podem afetar esse processo na semente [10-12]. Com isso, testes ecofisiológicos permitem identificar os níveis de fatores ambientais que as sementes conseguem tolerar e exprimir seu máximo potencial germinativo, possibilitando o pleno desenvolvimento da planta [11, 12].

A germinação, como uma sequência específica de eventos, começa quando uma semente seca e madura absorve água adequadamente e termina quando a radícula se projeta através do tegumento da semente [13]. Além de quantidade de água adequada, as sementes de algumas espécies podem demandar também luz e temperatura compreendidas em um intervalo ideal de mínimo e de máxima quantidade e qualidade necessária [10, 14-16].

Entre as espécies arbóreas silvestres tropicais, algumas exigem mais incidência luminosa que outras para germinar [17], respondendo a dias curtos (menor tempo do dia com luz) ou reagindo mais a dias longos (maior tempo do dia com luz). Algumas espécies podem reagir à luz contínua, embora que esta, também, pode inibir a germinação, segundo Mousavi et al. (2011) [18].

A germinação de sementes induzida por luz (fotoblásticas positivas), de acordo com Schmidt et al. (2007) [19], é determinada pela quantidade de fitocromo ativo em relação à quantidade total. Os fitocromos são pigmentos fotorreceptores reversíveis que, na forma ativa, quando a absorção de luz no comprimento de onda do vermelho é maior que no vermelho-distante (660/730 nm), estimula a germinação. Já na forma inativa (maior relação 730/660 nm), estes fitocromos inibem a germinação [20, 21].

Em termos de temperatura, existe uma ampla faixa em que determinadas sementes germinam rapidamente, tanto na luz quanto no escuro, assim que o seu tegumento é rompido [22], compreendida entre um limite de mínima e de máxima temperatura, abaixo e acima da qual a germinação não ocorre [23]. Esta é uma das variáveis mais influentes na germinação, afetando tanto a velocidade quanto a percentagem final [9].

Contudo, existe uma temperatura ótima específica para cada planta, no qual a taxa de germinação de semente é maior [18, 23, 24]. Segundo Oliveira e Pina (2019) [15], a preferência da espécie por uma ótima temperatura que expresse o seu máximo de germinação, depende da região de origem das sementes, podendo ser constante ou alternada.

Além dos fatores ambientais, Matilla et al. (2007) [25], Matthews et al. (2012) [26] e Lamichhane et al. (2018) [9], chamam a atenção ao fato de que o potencial de germinação de sementes pode ter relação com características como espessura do tegumento, dormência, localização da reserva e do tamanho da semente, por exemplo. Neste contexto, diferentes tamanhos também contribuem com taxas específicas de germinação [27].

Conforme Jiménez-Alfaro et al. (2016) [28], a germinação e a adaptação pós-seminal são fortemente dependentes de limitações ambientais. Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que a

germinação de sementes de *C. arenicola* é influenciada por fatores ecofisiológicos, sendo maximizada sob temperatura ótima e condições luminosas favoráveis à ativação do fitocromo, além de variar conforme o tamanho das sementes. Assim sendo, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do tamanho das sementes e de fatores ecofisiológicos (luz e temperatura) na germinação de *Copaifera arenicola*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do ensaio

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, *campus* de Cruz das Almas-BA. Uma amostra de sementes viáveis foi selecionada ao acaso para os ensaios, provenientes de um lote formado por sementes coletadas de matrizes ($n = 116$) distribuídas em cinco populações naturais de *C. arenicola* em remanescentes da Caatinga na Região Nordeste da Bahia no intervalo de coordenadas ($10^{\circ}39'24,39''$ - $10^{\circ}51'43,14''$ S; $38^{\circ}41'37,89''$ - $38^{\circ}33'28,36''$ W), entre agosto a outubro de 2023, as quais permaneceram armazenadas sob refrigeração ($5 \pm 0,5$ °C; $54 \pm 5\%$ UR) por seis meses (de agosto 2023 até a montagem do experimento).

Antes da montagem dos tratamentos, as sementes foram submetidas a escarificação mecânica, friccionando a base da semente (posição oposta do hilo) sobre lixa de madeira de granulação nº 100, interrompendo, imediatamente, assim que se mostrava o cotilédono, como estratégia de superação da dormência física. Em seguida, as sementes foram sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 3% (v.v⁻¹), imersas por cinco minutos e lavadas em seguida com água corrente por um minuto, com base na Regra de Análise de Sementes-RAS [29].

As sementes utilizadas nos ensaios de temperatura e qualidade da luz não foram previamente classificadas por tamanho, sendo essa variável avaliada posteriormente como fator experimental independente.

2.2 Efeito da temperatura

Para o ensaio da germinação em função da temperatura, empregaram-se oito tratamentos referentes aos diferentes tipos de regime de temperatura, sendo seis temperaturas contínuas (15; 20; 25; 30; 35 e 40 °C) e duas temperaturas alternadas: 20-30 e 25-35 °C.

2.3 Efeito da qualidade da luz

Após estabelecida a temperatura ótima, fez-se o ensaio fotoblástico sobre a qualidade da luz no efeito da germinação das sementes. Foram empregados quatro tratamentos para avaliação da qualidade da luz na germinação, simulando diferentes condições de luminosas com uso de papel celofane, adaptado de Galindo et al. (2012) [30]: luz branca (B), em caixas acrílicas Gerbox transparentes sem revestimento; luz vermelha (V), com duas folhas de celofane vermelho; vermelho-distante (VD), com sobreposição de celofane vermelho e azul; e escuro (E), com caixas revestidas com plástico preto fosco duplo.

A iluminação da BOD foi fornecida por quatro lâmpadas tipo LED (*Light Emitting Diode*) com eficácia luminosa de 100 lm.W⁻¹, proporcionando densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) de aproximadamente 41,4 μmol de fótons m⁻².s⁻¹ na faixa da radiação fotossinteticamente ativa (400 - 700 nm), sendo estes valores aproximados e dependentes da distribuição espectral da fonte luminosa.

Não foi realizada a caracterização espectral das fontes luminosas sobre as sementes, de forma que a distinção entre os tratamentos se baseou no uso dos materiais filtrantes e na padronização das condições experimentais, permitindo análises comparativas das respostas germinativas.

2.4 Efeito do tamanho da semente

Após estabelecida a temperatura ótima e o nível ideal de luz na promoção da germinação, montou-se o ensaio para germinação das sementes em função do tamanho com base na medida ortogonal do comprimento linear, empregando três diferentes tratamentos: Sementes Pequenas (SP), ($\leq 11,8$ mm); Sementes Médias (SM) ($11,8 \leq 14,6$ mm) e Sementes Grandes (SG) ($\geq 14,6$ mm).

2.5 Delineamento experimental e condições de germinação

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições por tratamento. Cada tratamento (temperatura, qualidade da luz e tamanho das sementes) foi composto por 100 sementes distribuídas em quatro repetições com 25 sementes cada, acondicionadas em caixas de acrílico tipo Gerbox (11 cm x 11 cm x 3 cm). O substrato utilizado foi vermiculita de granulometria média, previamente esterilizada e umedecida com água destilada na proporção de 1,5 vezes o seu peso seco, sendo reumedecida sempre que necessário, conforme Martins et al. (2012) [31].

As unidades experimentações foram matidas em câmaras de germinação do tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) sob regime de temperatura alternada $20-30 \pm 2$ °C e fotoperíodo regulado de 12 horas, com iluminação por luz branca fria direta, conforme recomendações da RAS [29].

2.6 Características observadas

Para todos os tratamentos, considerou-se germinadas as sementes que apresentavam emissão da radícula $\geq 2,0$ mm. Foram analisados a Percentagem de Germinação (PG%) (Equação 1), o Tempo Médio de Germinação (TMG dias⁻¹) (Equação 2), o Índice de Velocidade Média de Germinação (IVG sementes.dia⁻¹) (Equação 3) e a Percentagem de Plântulas Normais (%) (Equação 4), com base em de Santana e Ranal (2004) [32]:

$$PG (\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{N} \right) \times 100; \quad (1)$$

$$TMG (dias) = \frac{\sum_{i=1}^k n_i D_i}{\sum_{i=1}^k n_i}; \quad (2)$$

$$IVG \text{ dias}^{-1} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i}{D_i} \right) + \left(\frac{n_2}{D_2} \right) + \dots + \left(\frac{n_k}{D_k} \right); \quad (3)$$

$$PN (\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^k pn_i}{N} \right) \times 100; \quad (4)$$

em que: PG = percentagem de germinação (%); n = número de sementes germinadas da amostra; N = número total de sementes; k = último dia de observação; TMG = tempo médio de germinação; n_i = número de sementes germinadas do i -ésimo dia; D = número de dias contatos da instalação do experimento até o dia da leitura; IVG = índice de velocidade média de germinação; PN = plântulas normais (%); pn = número de plântulas normais formadas da amostra.

Foram consideradas plântulas normais aquelas com estruturas essenciais bem desenvolvidas, como sistema radicular e parte aérea, folhas primárias em expansão, gema apical e coleóptilo com parte aérea verde visível. A percentagem de plântulas normais foi calculada em relação ao total de sementes testadas conforme a RAS [29].

2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk e da homogeneidade das variâncias pelo teste Hartley. Os dados foram transformados quando necessário utilizando a transformação raiz quadrada e arco seno da raiz quadrada.

Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para cada fator isoladamente, seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) quando aplicável para as características analisadas. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] [33].

3. RESULTADOS

Conforme a análise de variância (ANOVA), o efeito dos tratamentos, analisados separadamente para temperatura, luz e tamanho das sementes, apresentou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os níveis para a maioria das características germinativas (PG, TMG, IVG e PN), avaliadas em *Copaifera arenicola* (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para as características germinativas de sementes de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz, em função dos fatores temperatura (seis níveis constantes e dois alternados), qualidade da luz (branca, vermelha, vermelho-distante e escuro) e tamanho das sementes (pequenas, médias e grandes), com seus respectivos graus de liberdade (GL).

FV	F (GL)	p-valor ($p < 0,05$)	Média Geral (ep)	CV (%)
Temperatura (°C)				
PG	15,014 (7;24)	$p = 0,0000^s (*)$	82,56 ($\pm 0,04$) %	9,03
TMG	143,802 (7;24)	$p = 0,0000^s$	9,65 ($\pm 0,37$) dias ⁻¹	7,64
IVG	30,212 (7;24)	$p = 0,0000^s (*)$	2,09 ($\pm 0,08$) sementes.dia ⁻¹	10,89
PN	229,957 (7;24)	$p = 0,0000^s (*)$	66,8 ($\pm 0,03$) %	16,58
Luz (PPFD)				
PG	5,323 (3;12)	$p = 0,0390^s (*)$	92,3 ($\pm 0,03$) %	5,90
TMG	12,112 (3;12)	$p = 0,0004^s$	7,8 ($\pm 0,11$) dias ⁻¹	2,81
IVG	13,402 (3;12)	$p = 0,0003^s$	2,79 ($\pm 0,11$) sementes.dia ⁻¹	8,16
PN	1,805 (3;12)	$p = 0,0030^s (*)$	82,0 ($\pm 0,04$) %	11,31
Tamanho (mm)				
PG	0,952 (2;9)	$p = 0,4216^{ns (*)}$	91,2 ($\pm 0,03$) %	5,50
TMG	24,898 (2;9)	$p = 0,0002^s$	7,94 ($\pm 0,11$) dias ⁻¹	2,81
IVG	0,139 (2;9)	$p = 0,8904^{ns}$	2,66 ($\pm 0,16$) sementes.dia ⁻¹	11,69
PN	3,000 (2;9)	$p = 0,0551^{ns (*)}$	90,3 ($\pm 0,05$) %	17,29

Em que: FV = Fontes de variação; F (GL) = Valores de F seguidos pelos graus de liberdade do fator e do erro entre parênteses; CV = coeficiente de variação; ns = não-significativo ($p > 0,05$); s = significativo ($p \leq 0,05$); ep = erro padrão; PG = percentagem total de germinação; TMG = tempo médio de germinação; IVG = índice de velocidade média de germinação; PN = percentagem de plântulas normais; (*) = dados transformados para atender aos pressupostos da ANOVA.

Com a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), observou-se que a temperatura exerceu influência significativa sobre a germinação das sementes (Figura 1). As temperaturas alternadas proporcionaram as maiores médias de PG, destacando-se 20 - 30 °C, com 97%, seguida de 23 - 35 °C, com 93%. Entre as temperaturas constantes, 25 e 30 °C, estatisticamente semelhantes entre si, apresentaram os melhores resultados de PG, com médias de 87% e 89%, respectivamente, seguidas das temperaturas de 20 °C e 35 °C, ambas com 83% de germinação, enquanto 15 °C apresentou média inferior (79%). Por outro lado, a temperatura constante de 40 °C resultou na menor média de germinação (25,7%), como pode ser visto na Figura 1a.

Para o TMG, observado na Figura 1b, as temperaturas alternadas (20 - 30 e 25 - 35 °C), juntamente com as temperaturas constantes de 35 e 40 °C, não diferiram estatisticamente entre si,

apresentando valores entre 5,48 e 7,62 dias. De modo geral, diferiram dos demais níveis térmicos avaliados.

Em relação ao IVG (Figura 1c), os melhores desempenhos foram observados nas temperaturas alternadas e na temperatura constante de 35 °C, que não diferiram estatisticamente entre si, com médias variando de 3,15 a 3,39 sementes.dia⁻¹. A temperatura de 40 °C apresentou o menor valor (0,29 sementes.dia⁻¹).

Quanto à percentagem de PN (Figura 1d), apenas as temperaturas alternadas promoveram maiores valores, com 95% (20 - 30 °C) e 92% (25 - 35 °C). Em seguida, destacaram-se as temperaturas constantes de 25 °C (87%) e 35 °C (86%), que não diferiram estatisticamente entre si. A temperatura de 15 °C resultou no menor valor de PN (36%), enquanto a temperatura de 40 °C não promoveu a formação de plântulas normais, sendo atribuída média de 0% para essa condição.

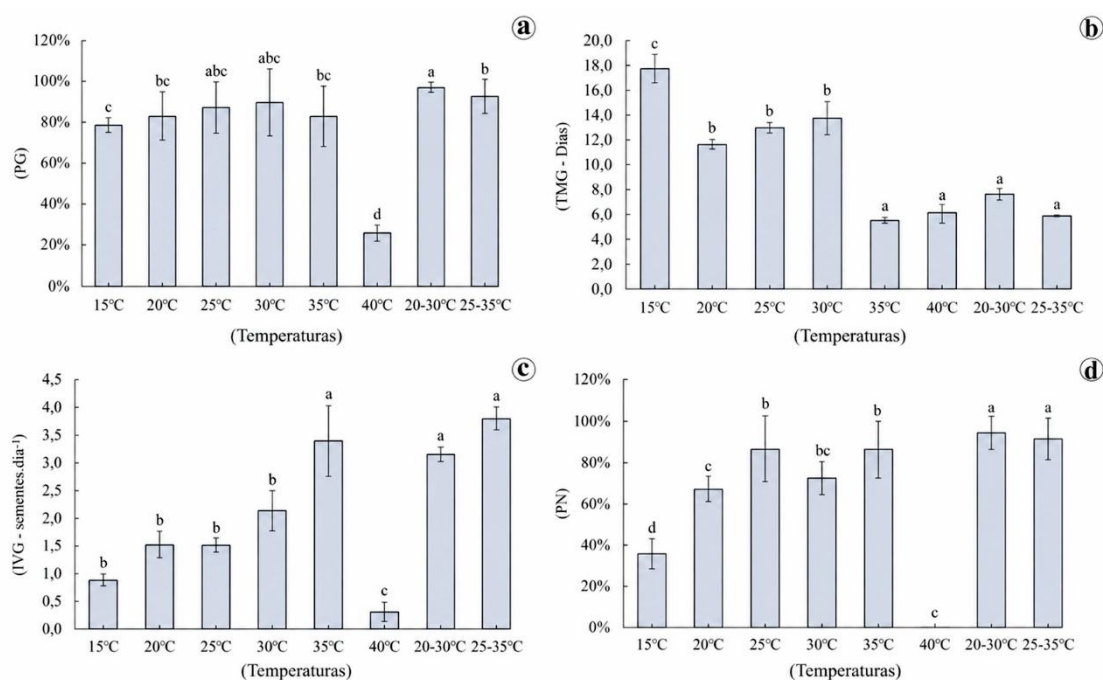


Figura 1: Percentagem de Germinação-PG (a), Tempo Médio de Germinação-TMG (b), Índice de Velocidade de Germinação-IVG (c) e Plântulas Normais-PN (d) de sementes de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz (Fabaceae) submetidas a diferentes temperaturas constantes (15; 20; 25; 30; 35; 40°C) e alternadas (20-30; 25-35 °C). As barras representam a média $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os valores apresentados correspondem aos dados originais (não transformados).

Conforme a análise dos resultados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), apresentados na Figura 2, a qualidade da luz influenciou significativamente a germinação das sementes de *C. arenicola*. O tratamento com luz V apresentou a maior média de PG, com 97%, sendo superior aos demais tratamentos. A luz B, com 94%, e VD, com 93%, não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores próximos ao observado em V. A ausência de luz (E) resultou na menor média de germinação (85%), evidenciando efeito negativo em comparação aos demais tratamentos (Figura 2a).

Quanto ao TMG, mostrado na Figura 2b, os tratamentos B, V e VD apresentaram os melhores resultados, sem diferença estatística entre si, com valores variando de 7,51 a 7,69 dias. De forma semelhante, o IVG também foi favorecido pelos tratamentos B, V e VD, os quais não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores entre 2,87 e 3,17 sementes.dia⁻¹, conforme se observa na Figura 2c.

Para a percentagem de PN, observou-se padrão semelhante ao TMG e IVG, com maior desempenho nos tratamentos B, V e VD, que não diferiram entre si com valores variando de 93% a 95% (Figura 2d).

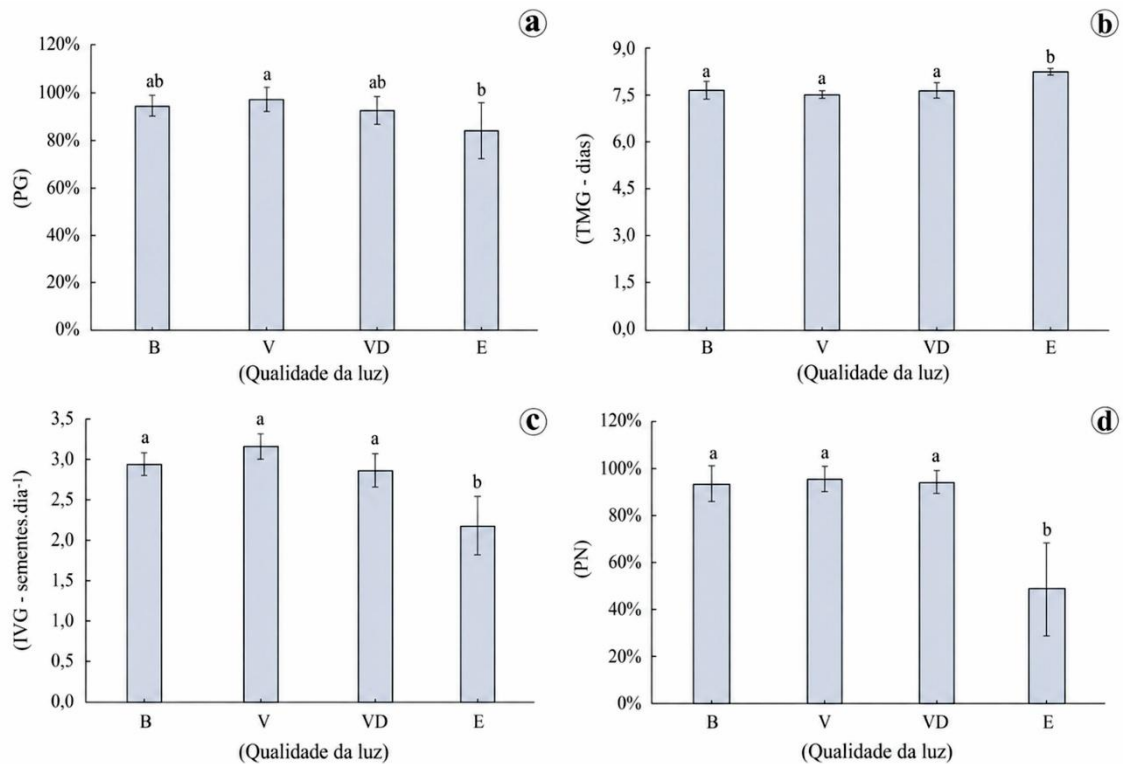


Figura 2: Percentagem de Germinação-PG (a), Tempo Médio de Germinação-TMG (b), Índice de Velocidade de Germinação-IVG (c) e Plântulas Normais-PN (d) de sementes de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz (Fabaceae) submetidas a diferentes qualidades de luz: luz branca (B); luz vermelho (V); luz vermelho-distante (VD) e escuro (E). As barras representam a média $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os valores apresentados correspondem aos dados originais (não transformados).

Em relação ao efeito do tamanho das sementes na germinação, avaliado pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e apresentado na Figura 3, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para a PG (Figura 3a), com média geral de 91,2%. O mesmo padrão foi observado para o IVG (Figura 3c) e para a percentagem de PN (Figura 3d), com médias de 2,66 sementes.dia⁻¹ e 90,3%, respectivamente.

Diferenças estatisticamente significativas foram verificadas apenas para o TMG (Figura 3b), no qual sementes SP e SM, com médias de 7,53 e 7,73 dias, respectivamente, não diferiram entre si e germinaram mais rapidamente que as sementes SG, que apresentaram média de 8,57 dias.

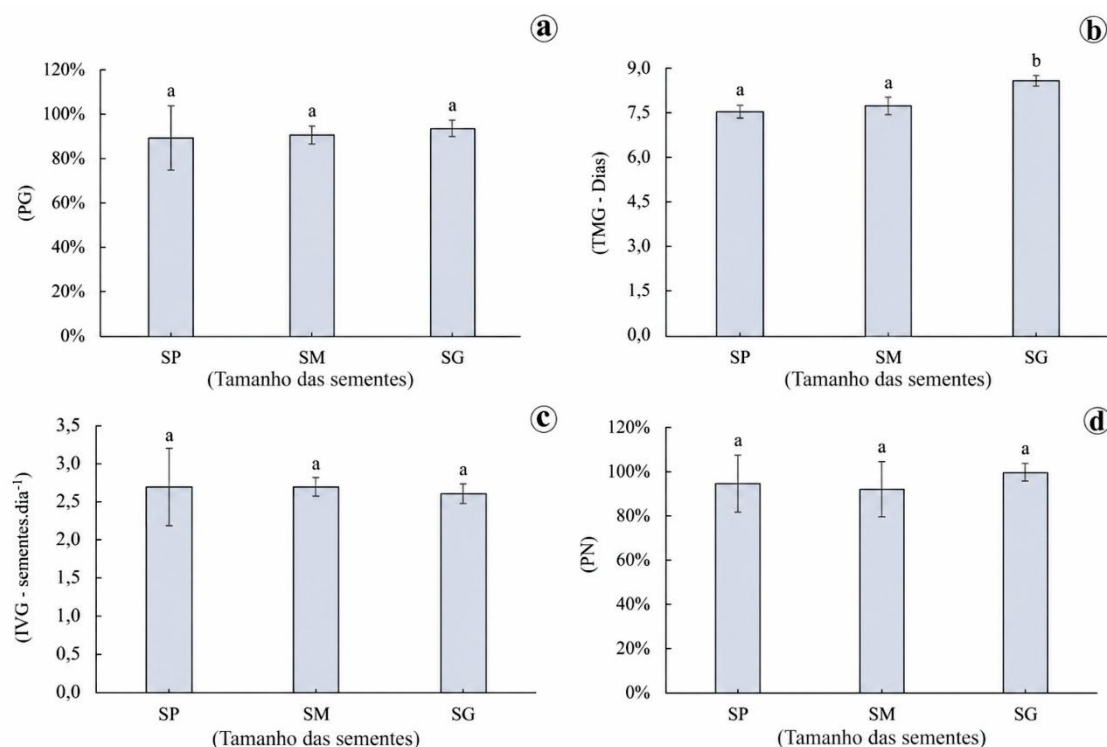


Figura 3: Percentagem de Germinação-PG (a), Tempo Médio de Germinação-TMG (b), Índice de Velocidade de Germinação-IVG (c) e Plântulas Normais-PN (d) de sementes de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz (Fabaceae), submetida a germinação em função do tamanho das sementes: pequenas (SP; comprimento < 11,8 mm); médias (SM; 11,8 mm - 14,6 mm) e grandes (SG; comprimento > 14,6 mm). As barras representam a média $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os valores apresentados correspondem aos dados originais (não transformados).

4. DISCUSSÃO

De maneira geral, os níveis de temperatura exerceram maior influência sobre os resultados germinativos das sementes de *Copaifera arenicola* em comparação à qualidade da luz e ao tamanho das sementes. A temperatura alternada de 20-30 °C destacou-se como a mais favorável, proporcionando elevada percentagem de germinação (97%), menor tempo médio, maior velocidade de germinação e maior formação de plântulas normais, configurando-se como a condição térmica ideal por apresentar o melhor desempenho conjunto das variáveis germinativas avaliadas. O que está de acordo com o entendimento de autores como Bewley et al. (2013) [34] e Lamichhane et al. (2018) [9] de que sementes embebidas submetidas à temperatura ideal, a percentagem e a velocidade de germinação são maiores, ou seja, em menor período de tempo.

O efeito das temperaturas constantes de 20, 25, 30 e 35 °C sobre as sementes de *C. arenicola*, mostrou-se uma germinação pouco variável. Entretanto, embora essa faixa térmica seja amplamente descrita como ideal para a germinação de diversas espécies arbóreas da Caatinga [35], no presente estudo essas temperaturas proporcionaram menor desempenho em comparação às temperaturas alternadas. No que se refere às temperaturas extremas (15 °C e 40 °C), a baixa germinação observada a 40 °C pode estar associada a possíveis alterações metabólicas e injúrias estruturais decorrentes do estresse térmico, como desnaturação de proteínas, perda da integridade das membranas e redução da mobilização de reservas [36]. Além disso, em temperaturas elevadas, a menor solubilidade do oxigênio na solução pode limitar sua disponibilidade para as demandas metabólicas das sementes [37]. Adicionalmente, alterações hormonais, como aumento do ácido abscísico (ABA) e redução da giberelina (GA), podem reduzir a atividade enzimática e o uso de reservas, restringindo o processo germinativo [38]. Por outro lado, do ponto de vista ecológico,

Yan e Chain (2020) [38] ressaltam que essa termoinibição pode servir como uma ação protetiva para a nova geração, de maneira a adiar o processo germinativo para o momento apropriado.

Quanto à temperatura de 15 °C, apesar da elevada percentagem de germinação (~80%), observou-se maior tempo médio (18 dias) e alta formação de plântulas anormais (~60%), indicando que, embora a germinação seja iniciada, o desenvolvimento das plântulas é comprometido. Esse padrão sugere redução do vigor sob baixas temperaturas, possivelmente associada à limitação das atividades metabólicas e à menor eficiência na mobilização de reservas, resultando em plântulas malformadas ou com baixa capacidade de crescimento. Assim, evidencia-se que a germinação isoladamente não garante o sucesso de estabelecimento.

Esse comportamento pode estar relacionado, segundo Popinigis (2023) [37], ao acúmulo de dias de resfriamento que pode causar redução da velocidade de crescimento, de peso de matéria seca, de altura da plântula; redução do tamanho das folhas e do comprimento do hipocótilo.

Para Matthews et al. (2012) [26], o resfriamento aditivo nas sementes pode provocar germinações tardias em razão de haver reparo metabólico incompleto durante a embebição, causando inclusive, má formação de plântulas em desenvolvimento. Portanto, as taxas metabólicas podem ser reduzidas no estado de baixas temperaturas, segundo Farooq et al. (2022) [36], estendendo o tempo de germinação até as vias essenciais desse processo deixarem de funcionar. Como foi evidenciado no maior tempo de germinação e baixa percentagem de plântulas normais no presente estudo.

A ausência de diferenças significativas na germinação de sementes de *C. arenicola* em resposta à qualidade da luz, para a maioria das variáveis avaliadas, indica baixa sensibilidade da espécie às variações na radiação incidente. Embora a luz vermelha tenha apresentado a maior média de germinação, esse resultado não diferiu estatisticamente dos obtidos sob luz branca e vermelho-distante. Esse comportamento sugere que, apesar de a luz vermelha poder ativar o fitocromo (pigmento fotorreceptor que regula processos metabólicos associados à germinação), conforme Yang et al. (2020) [39], a espécie não depende de um espectro específico de luz para germinar.

Por outro lado, diferentemente do relatado por Baskin et al. (2014) [40], em que a luz vermelho-distante pode inibir a germinação em algumas espécies, as sementes de *C. arenicola* apresentaram elevadas percentagens de germinação tanto sob luz vermelho-distante (93%) quanto na ausência de luz (85%). No entanto, na condição de escuro, observou-se maior tempo médio de germinação, menor vigor e redução na formação de plântulas normais (47%). Esses resultados indicam que, embora a qualidade da luz não tenha limitado a germinação, a ausência de luz pode comprometer o desempenho fisiológico das plântulas. Assim, de forma geral, a germinação da espécie mostra-se pouco sensível à qualidade da luz, sendo predominantemente influenciada pela presença ou ausência de luz. Esse comportamento também foi observado em sementes da espécie congênere *Copaifera langsdorfii* Desf. (Fabaceae) obtidas da Caatinga, em que Guerra et al. (2006) [41] observaram germinação acima de 90% para qualquer condição de luz e de escuro.

Em vista disto, as sementes de *C. arenicola* podem ser consideradas fotoblásticas neutras, visto que são capazes de germinarem tanto em luz branca (fotoblastismo positivo) quanto em ausência de luz (fotoblastismo negativo), com base em Takaki (2001) [42]. Nota-se que a germinação de sementes fotoblásticas neutras e em temperatura alternada de 20-30 °C, é uma característica comum encontrada em sementes de outras espécies da Caatinga, como em *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Fabaceae) apresentando germinação em 95% das sementes [43], *Chorisia speciosa* St. Hil (Malvaceae) com 81% [44], *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae) germinando 93% [45], *Libidibia ferrea* var. *ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae) em 94% [46] e *Mimosa bimucronata* (DC) O. Kuntze (Fabaceae) com 81% das sementes germinadas [47], por exemplo.

Importante mencionar que, de acordo com Lamichhane et al. (2018) [9], grande parte das sementes silvestres estão expostas as flutuações térmicas do ar que ocorrem normalmente na natureza. Uma maior germinação em temperatura alternada de 20-30 °C está conexas a essas flutuações da temperatura, conforme Popinigis (2023) [37] e Lamichhane et al. (2018) [9], o que propicia vantagens no processo germinativo como em diferentes profundidades de enterramento para algumas espécies de sementes, segundo Fenner e Thompson (2009) [21] e como estratégia

de superação da dormência, tanto física quanto fisiológicas, de acordo com Brancalion et al. (2010) [48].

Observa-se que quando abrigadas abaixo das camadas superficiais de serapilheira ou somente abaixo do dossel, as sementes recebem luz tanto reduzida em quantidade, quanto alterada na qualidade, conforme Fenner e Thompson (2009) [21]. Para autores como Bradford e Nonogaki (2007) [20] e Bewley et al. (2013) [34], a resposta de germinação das sementes sob o dossel variará entre espécies de acordo com a densidade da cobertura foliar, pois a luz solar que atravessa folhas verdes tem uma relação V/VD muito baixa; chegando no piso florestal apenas luz VD que pode, inclusive, induzir a dormência secundária de algumas sementes se forem expostas a essa luz por muitas horas ao longo de vários dias. Assim sendo, sementes de espécies fotoblásticas neutras e sensíveis a temperaturas alternadas possibilitam, nessas circunstâncias, uma vantagem competitiva, do ponto de vista ecológico, segundo Lamichhane et al. (2018) [9], como visto nas sementes de *C. arenicola*.

Em outra abordagem, Baskin et al. (2014) [40] explicam que algumas espécies de sementes, inclusive pequenas, são mais responsivas à luz, exigindo, portanto, maior razão V/VD do que espécies com sementes grandes. A germinação destas tendem a ser adaptadas no escuro e, ao contrário disto, a germinação das sementes de *C. arenicola* ocorreu para todos os tamanhos, independentemente da qualidade da luz.

Já em relação ao tamanho em si, a germinação de sementes pequenas e médias (7,5 e 7,7 dias⁻¹, respectivamente), ocorreu mais rapidamente do que as sementes grandes (8,6 dias⁻¹). Os resultados obtidos para essa característica nas sementes de *C. arenicola* corroboram com Finch-Savage e Bassel (2016) [49], para os quais o tamanho da semente não parece ter ligação consistente com as características de germinação, com sementes pequenas podendo completar a germinação mais rapidamente do que sementes maiores. Isto pode estar relacionado a uma hidratação e oxigenação, mais rápida nessas sementes do que nas maiores [49, 50]. De acordo com Lamichhane et al. (2018) [9], as reservas das sementes nem sempre são mobilizadas por completo, o que pode ser uma medida sensível do potencial germinativo para diferentes tamanhos de sementes. Para as sementes de *C. arenicola*, a quantidade de reserva nutritiva disponível possa não exercer forte influência no processo germinativo.

De maneira geral, as sementes de *C. arenicola* conferem um aspecto bastante relevante por suportar alterações térmicas e luminosas, sem perder sua capacidade germinativa nos diferentes tamanhos de sementes. Do ponto de vista silvicultural, o potencial ecofisiológico evidenciado pelas características germinativas permite manejo amplo de possibilidades, adequando-se a diferentes qualidades microclimáticas.

5. CONCLUSÃO

A germinação de *Copaifera arenicola* foi mais influenciada pela temperatura, seguida pela luz, enquanto o tamanho das sementes afetou apenas o tempo de germinação.

A temperatura alternada de 20 - 30 °C proporcionou os melhores resultados, com 97% de germinação, tempo médio de aproximadamente 7 dias após a semeadura, índice de velocidade de 3,2 sementes.dia⁻¹, com formação final de 95% de plântulas normais. Em contrapartida, temperaturas extremas (15 °C e 40 °C) reduziram o desempenho e o vigor das sementes. A espécie apresentou baixa sensibilidade à luz, com comportamento fotoblasticamente neutro, e o tamanho das sementes não influenciou a germinação final.

A alta plasticidade ecológica de *C. arenicola*, evidenciada pela germinação em ampla faixa térmica e em diferentes condições de luz (ainda que com prejuízos no vigor no escuro), sugere que a espécie possui potencial para ser utilizada em programas de restauração de áreas degradadas da Caatinga, tolerando diferentes condições microclimáticas.

6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor (Processo n°. 88887.805588/2023-00) e ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo aporte financeiro de apoio ao projeto, conforme a chamada CNPq/MCTI Processo nº. 405385/2023-4.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz in Re flora: Plantas do Brasil resgate histórico e herbário virtual para o conhecimento e conservação da flora brasileira [Internet]. Rio de Janeiro (RJ): Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2020 [citado em 17 nov 2024]. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB116609>.
2. Cardoso DBOS, de Queiroz LP. Diversidade de Leguminosae nas caatingas de Tucano, Bahia: implicações para a fitogeografia do semi-árido do Nordeste do Brasil. *Rodriguésia*. 2007 Apr-Jun;58(2):379-91. doi: 10.1590/2175-7860200758212
3. Gama DC, do Nascimento Júnior JM. *Copaifera arenicola* [(Ducke) J. Costa e LP Queiroz] Fabaceae-Caesalpinioideae em regiões do Nordeste da Bahia. *Agroforestalis News*. 2019 jun;4(1):i-viii.
4. Gama DC, do Nascimento Júnior JM, Takeshita S, Dias Júnior A. Potencial energético da madeira de *Copaifera arenicola* endêmica do Semiárido Nordeste Brasileiro. *Biofix Sci J*. 2020 nov;5(1):135-40. doi: 10.5380/biofix.v5i1.69236
5. Jesus JBD, Gama DC, do Nascimento Júnior JM, Fernandes MRDM, Fernandes MM. Fragmentação florestal em região semiárida no Nordeste do Brasil. *PFB*. 2019 dez;39(1):1-10. doi: 10.4336/2019.pfb.39e201801683
6. Gama DC, de Oliveira FF, de Jesus JB, do Nascimento Júnior JM. Susceptibilidade à desertificação em uma microrregião semiárida do Brasil. *Rev. Geociênc. Nordeste*. 2022 abr;8(1):160-74. doi: 10.21680/2447-3359.2022v8n1ID21732
7. Bischoff A, Steinger T, Müller-Schärer H. The importance of plant provenance and genotypic diversity of seed material used for ecological restoration. *Restor Ecol*. 2010 Apr;18(3):338-48. doi: 10.1111/j.1526-100X.2008.00454.x
8. Souza DCD, Engel VL. Direct seeding reduces costs, but it is not promising for restoring tropical seasonal forests. *Ecol Eng*. 2018 jun;116:35-44. doi: 10.1016/j.ecoleng.2018.02.019
9. Lamichhane JR, Debaeke P, Steinberg C, You MP, Barbetti MJ, Aubertot J-N. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. *Plant Soil*. 2018 Aug;432:1-28. doi: 10.1007/s11104-018-3780-9
10. Peske ST, Lucca Filho OA, Barros ACSA. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas (RS): UFPel; 2012.
11. Corbineau F. Markers of seed quality: from present to future. *Seed Sci Res*. 2012 Feb;22(S1):S61-S68. doi: 10.1017/S0960258511000419
12. Joshi R. Role of enzymes in seed germination. *IJCRT*. 2018 Apr;6(2):1481-5.
13. Dhaliwal LK, Angeles-Shim RB. Cell membrane features as potential breeding targets to improve cold germination ability of seeds. *Plant*. 2022 Dec;11(23):3400. doi: 10.3390/plants11233400
14. Oliveira GM, Barbosa LG, Matias JR, Silva JE, Ribeiro RC, Dantas BF. Germinação de sementes de espécies arbóreas nativas da Caatinga em diferentes temperaturas. *Sci Plena*. 2014 abr;10(4a):040201.
15. Oliveira AKM, Pina JC. Seed germination of *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. subesp. *torta* in different environmental conditions. *Floresta*. 2019 Dec;50(1):923-32. doi: 10.5380/rf.v50i1.59051
16. Abubakar MS, Attanda ML. Factors that cause seed dormancy. In: Jimenez-Lopez CJ. editor. *Seed biology updates*. IntechOpen [Internet]; 2022. p. 1-14. doi: 10.5772/intechopen.107004
17. Vargas-Figueroa JA, Torres-González AM. Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Rev Biol Trop*. 2018 Feb;66(2):918-36. doi: 10.15517/rbt.v66i2.33423
18. Mousavi SR, Rezaei M, Mousavi A. A general overview on seed dormancy and methods of breaking it. *Adv Environ Biol*. 2011 jan;5(10):3333-7.
19. Schmidt LH. *Tropical forest seed*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2007. doi: 10.1007/978-3-540-68864-8
20. Bradford KJ, Nonogaki H. *Seed development, dormancy and germination*. Blackwell: Publishing Ltd; 2007. doi: 10.1002/9780470988848
21. Fenner M, Thompson K. *The ecology of seeds*. Cambridge: University Press; 2009. doi: 10.1017/CBO9780511614101
22. Paulsen TR, Colville L, Kranner I, Daws ML, Högstedt G, Vandvik V, et al. Physical dormancy in seeds: a game of hide and seek? *New Phytol*. 2013 Feb;198(2):496-503. doi: 10.1111/nph.12191

23. Dürr C, Dickie JB, Yang XY, Pritchard HW. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agric For Meorol.* 2015 Jan;200:222-32. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.09.024
24. Hatfield JL, Prueger JH. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes.* 2015 Dec;10:4-10. doi: 10.1016/j.wace.2015.08.001
25. Matilla A, Gallardo M, Puga-Hermida MI. Structural, physiological and molecular aspects of heterogeneity in seeds: a review. *Seed Sci Res.* 2007 Feb;15(2):63-76. doi: 10.1079/SSR2005203
26. Matthews S, Noli E, Demir I, Khajeh-Hosseini M, Wagner M-H. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. *Seed Sci Res.* 2012 Jan;22(S1):S69-S73. doi: 10.1017/S0960258511000365
27. Jasim EA-A, Esho KB. Effect of seed size on seedling vigor and seed yield in vegetable seed production: a review. *EJARE.* 2022 May;3(5):28-35.
28. Jiménez-Alfaro B, Silveira FA, Fidelis A, Poschlod P, Commander LE. Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *J Veg Sci.* 2016 Nov;27(3):637-45. doi: 10.1111/jvs.12375
29. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília (DF): MAPA; 2009 [citado em 16 abr 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfd/a/arquivos-publicacoes-laboratorio/regras-para-analise-de-sementes.pdf>.
30. Galindo EA, Alves EU, Silva KB, Barrozo LM, Moura SDSS. Germinação e vigor de sementes de *Crataeva tapia* L. em diferentes temperaturas e regimes de luz. *Rev Ciênc Agron.* 2012 mar;43(1):138-45. doi: 10.1590/S1806-66902012000100017
31. Martins CC, Machado CG, Santana DGD, Zucareli C. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de ipê-amarelo. *Semina: Ciênc Agrár.* 2012 mai;33(2):533-40. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n2p533
32. de Santana DG, Ranal MA. Análise da germinação: um enfoque estatístico. Brasília (DF): UnB; 2004.
33. Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc Agrotec.* 2011 Dec;35(6):1039-42. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
34. Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. Environmental regulation of dormancy and germination. In: Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. editors. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy.* Springer, New York (NY): Springer; 2013. p. 299-339. doi: 10.1007/978-1-4614-4693-4_7
35. de Oliveira GM, Matias JR, Dantas BF. Temperatura ótima para germinação de sementes nativas da Caatinga. *Informativo Abrates.* 201 jan;24(3):44-46.
36. Farooq MA, Ma W, Shen S, Gu, A. Underlying biochemical and molecular mechanisms for seed germination. *Int J Mol.* 2022 Jul;23(15):8502. doi: 10.3390/ijms23158502
37. Popinigis F. *Seed Physiology.* 3. ed. Brasília (DF): Author; 2023.
38. Yan A, Chen Z. The control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. *Bot Rev.* 2020 May;86:39-75. doi: 10.1007/s12229-020-09220-4
39. Yang L, Liu S, Lin R. The role of light in regulating seed dormancy and germination. *J Integr Plant Biol.* 2020 Jul;62(9):1310-26. doi: 10.1111/jipb.13001
40. Baskin CC, Baskin JM. A Geographical perspective on germination ecology: Temperate and arctic zones. In: Baskin CC, Baskin JM. editors. *Seeds: Ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination.* 2nd ed. Amsterdam: Academic Press; 2014. p. 591-867. doi: 10.1016/C2013-0-00597-X
41. Guerra MEC, Medeiros Filho S, Teófilo EM. Efeito da temperatura e da luz nas sementes de *Copaifera langsdorfii* Desf. *RC.* 2006 jan-mar;19:39-43.
42. Takaki M. New proposal of classification of seeds based on forms of phytochrome instead of photoblastism. *Braz J Plant Physiol.* 2001 Mar;13:104-8. doi: 10.1590/S0103-31312001000100011
43. Nogueira FCB, Bezerra ML, Pinheiro CL, de Brito SF, Medeiros Filho S. *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke seed germination in response to temperature, light and water stress. *Am J Plant Sci.* 2014 Dec;5(26):3796-804. doi: 10.4236/ajps.2014.526397
44. Santos NJ, Carvalho AR, Alves CR, Costa JM, Melo YN, Pereira AB, et al. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Chorisia speciosa* St. Hil. *RCA.* 2018 Dec;3(1):e6631.
45. Nery, FC, Nery MC, Prudente DO, de Alvarenga AA, Paiva R. Morphological and physiological germination aspects of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Not Bot Horti Agrobo.* 2018 Mar;46(2):593-600. doi: 10.15835/nbha46211094
46. Lima MDLDS, Alves EU, Araújo LRD, Freire EDS, Alves MM, Silva BFD. Germinação e vigor de sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. var. *ferrea* submetidas a diferentes regimes de luz e temperaturas. *Ciênc Florest.* 2019 Jul-Sep;29(3):1180-6. doi: 10.5902/1980509812242

47. Ramos MGDC, Berto TS, da Silva LG, Crisóstomo NMS, Melo LDFA, Melo Junior JLA, et al. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Mimosa bimucronata* (DC) O. Kuntze. RCA. 2020 abr;5(1):e9399.
48. Brancalion PHS, Novembre ADDLC, Rodrigues RR. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. Rev Bras Sementes. 2010 ago;32(4):15-21. doi: 10.1590/S0101-31222010000400002
49. Finch-Savage WE, Bassel GW. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. J Exp Bot. 2016 Feb;67(3):567-91. doi: 10.1093/jxb/erv490
50. Marcos Filho J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. Sci Agric. 2015 Jul-Aug;72(4):363-74. doi: 10.1590/0103-9016-2015-0007