

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE BACHARELADO EM AGROECOLOGIA

ALINE DOS SANTOS MALTA

**MAPAS DE CALOR E COMPONENTES PRINCIPAIS NA TERMOBIOLOGIA
DE SEMENTES DO SEMIÁRIDO**

Rio Largo - AL

2025

ALINE DOS SANTOS MALTA

**MAPAS DE CALOR E COMPONENTES PRINCIPAIS NA TERMOBIOLOGIA
DE SEMENTES DO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agroecologia, do
Campus de Engenharias e Ciências
Agrárias, da Universidade Federal de
Alagoas, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. João Luciano de
Andrade Melo Junior.

Rio Largo - AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

M261m Malta, Aline dos Santos.

Mapas de calor e componentes principais na termobiologia de sementes do semiárido. / Aline dos Santos Malta. – 2025.

34 f.: il.

Orientador(a): João Luciano de Andrade Melo Junior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agroecologia) – Graduação em Agroecologia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. PCA. 2. Dendrograma. 3. Sementes florestais. I. Título.

CDU: 631.531: 574

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALINE DOS SANTOS MALTA

MAPAS DE CALOR E COMPONENTES PRINCIPAIS NA TERMOBIOLOGIA DE SEMENTES DO SEMIÁRIDO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Agroecologia do Campus de Engenharias e
Ciências Agrárias – CECA, da Universidade
Federal de Alagoas – UFAL, e aprovado em
6 de maio de 2025



Documento assinado digitalmente

JOAO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

Data: 19/05/2025 09:45:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Luciano de Andrade Melo Junior – UFAL (Orientador)

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

LUAN DANILO FERREIRA DE ANDRADE MELO

Data: 19/05/2025 09:52:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luan Danilo Ferreira de Andrade Melo – UFAL (Examinador interno)



Documento assinado digitalmente

IVOMBERG DOURADO MAGALHAES

Data: 21/05/2025 16:29:17-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivomberg Dourado Magalhães – UFAL (Examinador interno)

Rio Largo - AL

Maio-2025

Dedicatória

A Deus, por ter me concedido pais
incríveis, que sempre me incentivaram e
apoiaram a ir em busca dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, por sempre me guiar, proteger e fortalecer, tornando cada desafio mais leve e colocando em meu caminho pessoas que tornaram esta jornada mais significativa. A Ele, toda honra e toda glória!

Aos meus familiares, especialmente aos meus amados pais, Rute Maria dos Santos e Ronaldo Santos Malta, e à minha querida irmã, Jaqueline dos Santos Malta, pelo suporte incondicional e torcida em todos os momentos da minha vida. Ao meu noivo, Ismael Sousa da Silva, pelo carinho, apoio, cumplicidade e companheirismo ao longo desta caminhada. À minha prima, Lucineide Laurindo de Souza, pelas risadas sinceras, pela companhia nas noites de estudo, pelos gestos de carinho – e, claro, por preparar minha comida favorita! Sua presença tornou este percurso muito mais especial.

Ao meu orientador, João Luciano de Andrade Melo Junior, pela orientação cuidadosa, conselhos valiosos, paciência e por me desafiar a crescer profissionalmente. Ao professor Dr. Luan Danilo Ferreira de Andrade Melo, pela confiança depositada, incentivo e ensinamentos que foram fundamentais para minha formação acadêmica. Sou imensamente grata pela dedicação e apoio de ambos ao longo desta trajetória.

Às minhas queridas companheiras de jornada, Elda Bonifácio, Ludmila Lira e Késsia Mendonça, por tornarem essa caminhada mais leve, divertida e inesquecível. Vocês sempre terão um lugar especial no meu coração!

Ao Laboratório de Fitotecnia, pelo acolhimento e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho, assim como a toda a equipe envolvida. A todos os professores que contribuíram para minha formação, transmitindo conhecimento e sabedoria ao longo dos anos.

Ao Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC/UFAL – modalidade bolsa CNPq) e ao Programa Institucional de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico (PIBIT/UFAL), pelo incentivo à pesquisa e pelo apoio financeiro.

Ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, pelo suporte e pelas oportunidades proporcionadas ao longo da minha formação. Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas contribuições enriquecedoras.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meu sincero e profundo agradecimento. Muito obrigada!

“...Até os jovens se cansam e ficam
exaustos, e os moços certamente
tropeçam, mas aquele que espera no
SENHOR renovam as suas forças...”

(Bíblia, Isaías 40:30).

RESUMO

O desmatamento, a agricultura predatória e o pastoreio excessivo são circunstâncias que acometem as regiões do semiárido. Deste modo, fazem-se necessários estudos que visam à conservação e manejo de espécies arbóreas nativas, auxiliando na elaboração de protocolos que deem assistência para a recuperação e preservação desses ecossistemas. As espécies *Leucaena leucocephala* e *Pterogyne nitens* pertencem à família Fabaceae e são reconhecidas por possuírem funções ecológicas e agropecuárias. Com isso, o trabalho objetivou-se avaliar por meio de mapas de calor e componentes principais, a termobiologia da germinação de sementes de *L. leucocephala* e *P. nitens*, sob temperaturas, e as principais implicações na restauração de ambientes degradados. O experimento foi executado no Laboratório de Fitotecnia no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - UFAL, sendo utilizado lotes de sementes de área de Caatinga, colhidas em diferentes períodos no alto sertão do estado de Alagoas. O potencial fisiológico dos lotes de sementes foi avaliado utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Os tratamentos aplicados foram as temperaturas constantes de incubação isotérmica: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C, testadas para ambas as espécies. Cada tratamento teve quatro repetições de 25 sementes, totalizando 64 parcelas experimentais. As sementes germinadas foram contadas diariamente, a partir do quarto dia para *L. leucocephala* e sétimo dia para *P. nitens* após a instalação do teste de germinação, com duração de dez e quinze dias respectivamente. As variáveis analisadas foram germinabilidade, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, índice de sincronia de germinação, comprimento de plântulas e massa seca de plântulas. Para a análise dos dados, utilizou-se o pacote *Multivariate Analysis* no RStudio (versão 4.4.1). As funções Componentes Principais (PCA) e *HeatPlot* foram aplicadas com o objetivo de compreender a correlação entre as diferentes variáveis e o impacto indireto das temperaturas sobre o potencial fisiológico das sementes. Adicionalmente, buscou-se identificar a similaridade entre os diferentes regimes de temperatura a partir do conjunto de variáveis avaliadas. As sementes de *L. leucocephala* germinaram entre 15 e 35 °C, na análise dos componentes principais (PCA) a temperatura de 35 °C proporcionou maior velocidade de germinação, em outras palavras, essa temperatura favoreceu uma germinação mais rápida e uniforme, já no dendrograma as temperaturas de 20 e 25 °C foram ranqueadas como as mais promissoras quando diz respeito ao maior comprimento e acúmulo de biomassa, sugerindo maior desenvolvimento das plântulas quando posta a essas condições. Enquanto as sementes de *P. nitens* germinaram entre temperaturas de 15 a 40 °C demonstrando plasticidade térmica, sendo que as temperaturas de 30 e 35 °C promoveram maior sincronia de germinação, o dendrograma classificou o intervalo térmico de 20 a 35 °C como o mais favorável para o desenvolvimento da espécie *P. nitens*. As temperaturas de 15 e 40 °C reduzem a germinação de ambas as espécies estudadas, provavelmente devido ao estresse térmico associado a temperaturas subótimas ou supraótimas para a germinação.

Palavras-chave: PCA; Dendrograma; Sementes florestais.

ABSTRACT

Deforestation, predatory agriculture, and excessive grazing are significant issues affecting semi-arid regions. Consequently, studies focusing on the conservation and management of native tree species are crucial. These studies aid in developing protocols that assist in the recovery and preservation of these ecosystems. *Leucaena leucocephala* and *Pterogyne nitens*, both members of the Fabaceae family, are recognized for their ecological and agricultural functions. This study aimed to evaluate the germination thermobiology of *L. leucocephala* and *P. nitens* seeds under varying temperatures using heat maps and principal component analysis (PCA), and to identify their main implications for the restoration of degraded environments. The experiment was conducted at the Phytotechnics Laboratory on the Campus of Engineering and Agricultural Sciences - UFAL. Seed lots from Caatinga areas, collected at different times in the upper hinterlands of Alagoas state, were used. The physiological potential of the seed lots was assessed using a completely randomized design (CRD). Treatments consisted of constant isothermal incubation temperatures: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 °C, tested for both species. Each treatment had four replicates of 25 seeds, totaling 64 experimental units. Germinated seeds were counted daily, starting from the fourth day for *L. leucocephala* and the seventh day for *P. nitens* after the germination test setup, lasting ten and fifteen days, respectively. The variables analyzed were germinability, first germination count, germination speed index, germination synchrony index, seedling length, and seedling dry mass. For data analysis, the 'Multivariate Analysis' package in RStudio (version 4.4.1) was used. The Principal Components (PCA) and HeatPlot functions were applied to understand the correlation among different variables and the indirect impact of temperatures on the physiological potential of the seeds. Additionally, the similarity between different temperature regimes was identified based on the set of evaluated variables. *L. leucocephala* seeds germinated between 15 and 35 °C. PCA revealed that a temperature of 35 °C provided a higher germination speed, meaning this temperature favored faster and more uniform germination. However, the dendrogram ranked 20 and 25 °C as the most promising temperatures for greater seedling length and biomass accumulation, suggesting enhanced seedling development under these conditions. *P. nitens* seeds, on the other hand, germinated between 15 and 40 °C, demonstrating thermal plasticity. Temperatures of 30 and 35 °C promoted greater germination synchrony, and the dendrogram classified the thermal range of 20 to 35 °C as the most favorable for the development of *P. nitens*. Germination of both species was reduced at 15 and 40 °C, likely due to thermal stress associated with suboptimal or supraoptimal temperatures for germination.

Keywords: PCA; Dendrogram; Forest seeds

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Componentes Principais do efeito de diferentes temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Leucaena leucocephala*..... 22
- Figura 2.** Componentes Principais do efeito de diferentes temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Pterogyne nitens*..... 23
- Figura 3.** Dendrograma de similaridade entre temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Leucaena leucocephala*. E a variação da coloração (do vermelho, branco, ao azul) representa, respectivamente, para as variáveis, menores valores (vermelho intenso) a maiores valores (azul intenso)..... 25
- Figura 4.** Dendrograma de similaridade entre temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Pterogyne nitens*. E a variação da coloração (do vermelho, branco, ao azul) representa, respectivamente, para as variáveis, menores valores (vermelho intenso) a maiores valores (azul intenso)..... 26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Informações sobre a espécie <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam). de Wit	14
2.2. Informações sobre a espécie <i>Pterogyne nitens</i> Tul	15
2.3. Efeito da temperatura na germinação	15
2.4. Análise multivariada: Análise de componentes principais e dendrograma.	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Efeito da temperatura na germinação das sementes	19
3.3 Variáveis analisadas.....	19
3.4 Análise estatística	20
4 RESULTADOS.....	21
5 DISCUSSÕES	27
6 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Devido à perda de vegetações naturais por atividades humanas e mudanças climáticas, houve um aumento na procura por recursos que minimizem os efeitos causados por essas ações. Um método relevante é a recuperação dessas áreas afetadas, por meio de reintegração de espécies nativas e/ou espécies que se ajustem as adversidades climáticas, principalmente para as regiões áridas e semiáridas. As espécies florestais *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit e *Pterogyne nitens* Tul, vêm se destacando por possuírem funções ecológicas e potencial econômico (SILVA et al., 2024c).

A *L. leucocephala* pertencente à família Fabaceae e vulgarmente conhecida como leucena, é uma leguminosa de rápido crescimento, com diferentes funções e aplicabilidade, estando atrelada a alimentação animal, adubação verde, recuperação de áreas degradadas, fixação biológica de nitrogênio, desenvolvimento em diferentes tipos de solos e climas (MENEZES et al., 2018). Já a *P. nitens* (família Fabaceae), conhecida como amendoim-bravo, destaca-se por seu valor madeireiro e potencial medicinal, além de ser empregada na recomposição florestal, é comumente encontrada em regiões de climas mais quente (EMBRAPA, 2021). O sucesso no estabelecimento dessas espécies depende de diversos fatores ambientais, como por exemplo, a temperatura, que influencia diretamente a germinação das sementes.

A germinação das sementes, por sua vez, é considerada um processo fundamental para perpetuação das espécies, e uma fase bastante delicada para a retomada do crescimento embrionário, que sofre influência direta do fator temperatura (FELIX et al., 2018). Estudos realizado por Barros; Dantas; Angelotti (2023); Dantas; Angelotti (2022); Matias (2019) afirmam a importância da temperatura na regulação das taxas de germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas.

A termobiologia é uma área de estudo interdisciplinar que envolve a fisiologia, ecologia, biologia molecular e celular, assim como a medicina, a fim de compreender as relações entre temperatura e os organismos vivos (BARGER, 1989). Ao associar o termo às sementes, a termobiologia, busca investigar como diferentes regimes térmicos afetam a germinação, germinabilidade e sua distribuição geográfica (CARDOSO, 2009). De acordo com Labouriau (1983), a distribuição geográfica das espécies está intimamente ligada à sua capacidade de ajuste térmico, o que pode influenciar seu estabelecimento e sobrevivência em diferentes ambientes.

Nesse âmbito, a utilização de análise estatística multivariada e de visualização de dados, torna-se ferramentas chave para avaliar de forma múltipla a relação da temperatura com o potencial fisiológico das sementes e como podem interferir na distribuição geográfica da *L. leucocephala* e *P. nitens* no ecossistema. Permite reduzir a dimensionalidade de um conjunto dados e identificar possíveis correlações não evidentes em análises univariadas (JUNIOR et al., 2025). Enquanto o mapa de calor é empregado para visualizar os níveis de similaridade/dissimilaridade entre diferentes grupos, variando de acordo com o gradiente de cor exibida (PINHEIRO, 2023; MARQUES e SOBRINHO, 2020). Vale ressaltar que a finalidade representativa das cores, pode variar de acordo com a aplicação do pesquisador.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar através de mapas de calor e componentes principais (análises multivariadas), a termobiologia da germinação de sementes de *L. leucocephala* e *P. nitens*, sob temperaturas, e as principais implicações na restauração de ambientes degradados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Informações sobre a espécie *Leucaena leucocephala* (Lam). de Wit

A *Leucaena leucocephala* (Lam). de Wit, conhecida popularmente no Brasil por leucena. Pertence à família Fabaceae e à subfamília Mimosoideae, e dentre as vinte e duas espécies do gênero, a *L. leucocephala* é a mais difundida e a que apresenta maior distribuição geográfica (SILVA et al., 2017). É uma espécie originária da Península de Yucatán no sul do México, e disseminou-se por várias partes do planeta (HUGHES, 1998). Essa espécie se destaca por sua capacidade de ajuste a diferentes condições climáticas e de solo, podendo ser cultivada em regiões de clima tropical, subtropical, semiárido e mediterrâneo, sendo suscetível a geadas (ALEMÁN-RAMIREZ et al. 2022).

Sendo considerada uma espécie arbórea-arbustiva, que pode chegar até 20 m de altura e diâmetro à altura do peito de até 30 cm, suas folhas são bipinadas, com 15 a 20 cm de comprimento, suas flores formam inflorescências brancas, de capítulos globosos com mecanismo de polinização autogâmica (SILVA et al., 2014).

Drumond e Ribaski (2010), explicam que, os frutos dessa leguminosa são do tipo vagem, e apresentam coloração castanho na maturidade e deiscência longitudinal, o que facilita a dispersão das sementes, nas quais possuem dormência do tipo tegumentar, retardando a germinação nos primeiros meses após a dispersão. Além disso, sua reprodução é dada somente através de sementes. Seu sistema radicular é do tipo pivotante bem desenvolvido (profundo), com raízes secundárias laterais, que se concentram próximas à superfície do solo (HUGHES, 1998).

Sendo considerada uma espécie importante do ponto de vista agrícola e ecológico, a *L. leucocephala* tem como principal característica a capacidade de suas raízes nodulares em fixar nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, e solubilização do fósforo por meio de associação com fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora*, o que resulta no enriquecimento do solo (MOURA et al., 2020).

Ademais, tratar-se de uma espécie bastante versátil, podendo ser utilizada de forma múltipla, como para consórcio e alimentação nutritiva para ruminantes, controle de erosão em encostas íngremes, adubação verde, cobertura em sistemas agroflorestais, recuperação de áreas degradadas, fonte de madeira, biomassa foliar, carvão vegetal, combustível e outros (DRUMOND e RIBASKI, 2010; SOUZA e SANTOS, 2018).

2.2. Informações sobre a espécie *Pterogyne nitens* Tul

A *Pterogyne nitens* Tul, é conhecida vulgarmente como amendoim-bravo, madeira-nova e óleo-branco dependendo da região em que se encontra. Pertence à família Fabaceae e a subfamília Caesalpinioideae, sendo a única do gênero *Pterogyne* (CARVALHO, 2000). É uma árvore nativa do Brasil, ocorrendo em biomas como a Mata Atlântica e o Cerrado, e é encontrada de forma natural no norte e nordeste da Argentina, no sul da Bolívia, e no noroeste do Paraguai (LORENZI, 2002).

Essa leguminosa é uma árvore semicaducifolia de porte médio, podendo chegar até 35 metros de altura, possui copa paucifoliada, com galhos grossos e tortuosos, seu tronco é cilíndrico e reto, suas folhas são imparipinadas, com 10 a 30 cm de comprimento, suas flores são hermafroditas de coloração amarelo-clara e perfumadas, seus frutos são do tipo sâmara falciforme indeiscente de coloração pardo-avermelhada a marrom-clara quando maduros, e suas sementes de cor castanha, e de formato variando de elíptica a oval-elíptica (LORENZI, 2016), tendo um comprimento médio de 11,52 mm e uma largura de 6,35 mm (SILVA, 2024a).

Essa espécie de leguminosa é uma planta monóica com fecundação cruzada (alógama), exibindo rápido crescimento, plasticidade fenotípica, sua reprodução pode ocorrer por sementes ou propagação por estacas (CARVALHO, 2000). Por apresentar rusticidade e flexibilidade de propagação, vem ganhando espaço nos projetos de recuperação e conservação de matas nativas.

Comumente a *P. nitens* é utilizada como espécie ornamental em projetos de arborização urbana, em virtude de sua folhagem brilhante, beleza e aroma das flores (CARVALHO, 1994). É fortemente utilizada pela indústria para confecção de móveis finos, carpintaria em geral, construção civil, mourões, postes, estacas, fabricação de barris, tanques para bebidas, por possuir madeira elástica e resistente (MEDEIROS, 2013).

2.3. Efeito da temperatura na germinação

Sob uma perspectiva da termodinâmica, a influência exercida pela temperatura no processo germinativo das sementes, pode ser explicada através da variação líquida de energia (entalpia) de ativação da germinação em determinado intervalo térmico. De acordo com Smith, Van Ness e Abbott (2018), a entalpia (H) é uma propriedade

termodinâmica que representa o conteúdo total de energia de um sistema, incluindo a energia interna das moléculas e as interações entre elas.

Trazendo para o contexto das sementes, a entalpia refere-se ao estado energético das moléculas e às interações que influenciam os processos fisiológicos para a tomada do crescimento embrionário (TINOCO et al., 2008), ou seja, estar associada a quantidade de energia térmica envolvida nas reações bioquímicas durante a germinação.

As variações de temperatura de acordo com Oliveira et al. (2016), podem afetar a entalpia das sementes influenciando a velocidade, a porcentagem e a uniformidade da germinação. Em função da relação desses parâmetros, a temperatura ótima propicia a máxima porcentagem de germinação no menor tempo, enquanto sob temperaturas máxima e mínima observa-se uma restrição na germinação, circunstância atribuída ao aumento da entalpia de ativação (ΔH), que por sua vez, indica um estado menos favorável e com maior demanda energética para a superação de barreiras metabólicas (ATAÍDE et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2016; CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

Os limites de temperaturas (mínimo e máximo), incluindo a temperatura ótima, representam as temperaturas cardeais para a germinação, e podem ser interpretados como pontos de transição energética, onde a entalpia do sistema semente atinge valores críticos que determinam o sucesso ou o fracasso do processo germinativo (FELIX et al., 2018; MARCOS-FILHOS, 2016).

Em temperaturas infra ótimas, a limitação da velocidade de germinação pode ser atribuída a processos parciais relacionados ao crescimento embrionário (LABOURIAU, 1983) e em temperaturas supra ótimas, o aumento da entalpia pode indicar a predominância de processos antagônicos à germinação, como a termodenaturação de proteínas e enzimas essenciais (CARDOSO, 2009). Por tanto, a análise da entalpia de ativação busca compreender as limitações térmicas da germinação, e sua variação pode indicar a capacidade das sementes em tolerar mudanças de temperatura e sua eficiência na utilização de energia para a germinação (BRADFORD, 2002).

2.4. Análise multivariada: Análise de componentes principais e dendrograma

A estatística multivariada é largamente utilizada para resolver problemas relacionados a avaliação e análise de grandes conjuntos de dados, mas que demanda uma certa atenção na sua aplicação. De acordo com Vicini et al (2018), a busca por métodos e procedimentos computacionais que permitam uma análise completa dos dados e que

facilitem a interpretação dos resultados, vem ganhando visibilidade entre pesquisadores de diferentes áreas, a exemplo da técnica de análise de componentes principais e da análise de agrupamento (dendrograma).

A análise de componentes principais ou PCA (*Principal Component Analysis*) é uma das mais conhecida técnicas estatísticas de análise multivariada, e está associada à ideia de redução da dimensionalidade dos dados, preservando o máximo das informações originais (HONGYU; SANDANIELO; JUNIOR, 2015), ou seja, é um recurso estatístico que transforma linearmente um conjunto original de variáveis correlacionadas entre si em novas variáveis não correlacionadas, otimizando a variância de forma sequencial (SAJU, 2022) e facilitando a interpretação dos resultados ao mesmo tempo que minimiza a perda de informações.

Conforme Jolliffe e Cadima (2016) a PCA pode ser utilizada para identificar padrões de variação entre diferentes “observações” e revelar respostas de forma concisa e de fácil interpretação. No contexto da termobiologia de sementes, a análise de componentes principais pode contribuir na identificação de variáveis-chave que podem estar sendo influenciadas pela resposta das sementes à temperatura.

Junior et al. (2025) avaliando qual seria a temperatura ótima e eficiência energética na germinação da *Moringa oleifera* Lam. espécie florestal comumente encontrada em regiões do semiárido, constatou que através da utilização da análise de componentes principais, foi possível avaliar as variáveis de germinação, vigor e gasto energético das sementes simultaneamente, tornando possível a identificação de padrões de respostas.

Já o dendrograma, é um diagrama de representação com ramificações resultantes do processo de aglomeração de agrupamento hierárquico (Análise de agrupamento). Cada ramificação do dendrograma indica a união de clusters com base em suas similaridades ou distâncias, possibilitando visualizar como os dados se agrupam em diferentes níveis de similitude (RIBAS, 2021), em outras palavras, esse método deixa nítido que ocorre a formação de grupos dos tratamentos com base em suas semelhanças.

Procedente de estudos taxonômico, o termo dendrograma deriva das palavras grega *dendro* (árvore), *grama* (gráfico), que juntas são definidas como gráfico de árvore. Por meio desse gráfico é possível realizar a classificação, comparação e análise dos agrupamentos de múltiplas variáveis, que podem ser despostos em duas formas: horizontal e vertical (VICINI et al., 2018; EVERITT et al., 2011).

Pesquisadores como Silva et al., (2019); Dias (2020); Silva, et al., (2024b), ao utilizarem a análise multivariada (dendrograma) em suas pesquisas voltadas a sementes de interesse agropecuário (grãos e forrageiras), determinaram a eficiência dessa ferramenta como um método eficaz para a avaliação, classificação e visualização dos resultados.

Embora a análise multivariada seja amplamente difundida em diferentes âmbitos de pesquisas, sua aplicação no ramo da biologia e tecnologia de sementes florestais ainda é incipiente, em outros termos, é pouco explorada. Com a capacidade dessas técnicas de lidar com a complexidade e dimensionalidade de dados múltiplos, superando as limitações das análises univariadas, abre novas perspectivas para compreensão dos aspectos termobiológicos que influenciam o estabelecimento das espécies *L. leucocephola* e *P. nitens* no ambiente.

Nesse contexto, através das análises multivariada, buscou-se também fornecer informações que auxiliem no desenvolvimento de estratégias de conservação e manejo mais eficientes dos ecossistemas florestais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitotecnia, do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, Brasil. Foram usadas sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pterogyne nitens*, colhidas nas safras de 2023/24 no alto sertão, AL, e armazenadas em câmara seca sob temperatura de $\pm 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de aproximadamente 50%.

3.1 Efeito da temperatura na germinação das sementes

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 25 sementes e os tratamentos consistiram em oito temperaturas, para sementes das duas espécies, totalizando 64 parcelas experimentais. O efeito das temperaturas na germinação das sementes foi avaliado separadamente por espécie.

Sementes de *L. leucocephala* e de *P. nitens* foram, previamente, imersas em hipoclorito de sódio 2% por 3 min, seguida de lavagem em água corrente por 2 min, retirando-se o excesso de umidade com papel toalha. Depois, as sementes foram despontadas na região oposta ao eixo embrionário.

As sementes foram semeadas sobre papel mata-borrão umedecido com volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, em caixas plásticas transparentes, 11x11x3,5cm, e colocadas em câmara *Biochemical Oxygen Demand*, sob temperatura constante de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 $^{\circ}\text{C}$. As contagens do número de sementes germinadas foram realizadas diariamente e no mesmo horário, por dez dias para sementes de *L. leucocephala*, e quatorze dias para *P. nitens* (BRASIL, 2025).

Considerou-se como germinadas, as sementes de *L. leucocephala* e *P. nitens* que formaram plântulas com raiz primária e eixo hipó-epicotiledonar, entendendo-se como sendo plântulas capazes de prosseguir o seu desenvolvimento normal no campo.

3.3 Variáveis analisadas

Para a variável de germinação (G) foi necessário aplicar fórmula: $gi = (\sum_{k=1}^n ni/N) \times 100$, sendo ni o número de sementes germinadas/plântulas emergidas no tempo i e N o número total de sementes colocadas para germinar (CARVALHO et al., 2005).

A primeira contagem de germinação (PC) foi realizada em conjunto com o teste

de germinação, computando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas a partir do quarto dia após a instalação dos testes (BEZERRA *et al.*, 2004) para a *L. leucocephola* e a partir do sétimo dia para *P. nitens*.

Para o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi calculado seguindo a fórmula proposta por Maguire (1962), sendo a soma do número de plântulas normais germinadas ($G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$) a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos ($N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$) entre a semeadura e a germinação.

Para o índice de sincronia das germinações (ISG) foi usado a fórmula proposta por Primack (1980), no qual $Z = \sum C_{n1,2} / N \approx C_{n1,2} = n_i(n_i - 1) / 2$; $N = \sum n_i(\sum n_i - 1) / 2$, onde $C_{n1,2}$ a combinação das sementes germinadas no i ésimo tempo e n_i o número de sementes germinadas no tempo i .

Após o encerramento do teste de germinação, todas as plântulas que formaram todas as suas estruturas essenciais, foram mensuradas em comprimento total de plântulas (CP), com auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo os resultados obtidos através das médias de cada repetição e expressos em cm/plântula^{-1} (NAKAWAGA, 1999).

Para determinar a massa seca de plântulas (MSP), as plântulas normais obtidas de cada repetição foram acondicionadas em sacos de papel *kraft* e levadas à estufa de circulação forçada a 80 °C por 24 horas, para secagem. Em seguida, as amostras foram resfriadas em dessecador contendo sílica gel ativada e pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001g, o resultado foi expresso em g/plântula^{-1} (NAKAWAGA, 1999).

3.4 Análise estatística

Para análise dos dados de G (%), PCG (%), IVG, ISG, CP (cm) e MSP (g), foi usado o Pacote '*MultivariateAnalysis*', funções Componentes Principais e *HeatPlot*, para avaliar a correlação entre as variáveis e indiretamente o efeito das temperaturas sobre essas variáveis, e à similaridade entre temperaturas calculada em função de todas as variáveis, respectivamente (AZEVEDO, 2025), no RStudio 4.4.1.

4 RESULTADOS

Ao utilizar a análise dos componentes principais (PCA) para avaliar o efeito das temperaturas no desempenho de sementes de *Leucaena leucocephala*, observou-se que os componentes 1 e 2 foram responsáveis por explicar 92,43% da variância total acumulada (Figura 1), atendendo ao mínimo de variância total (70%) sugerido por Johnson e Wichern (2007).

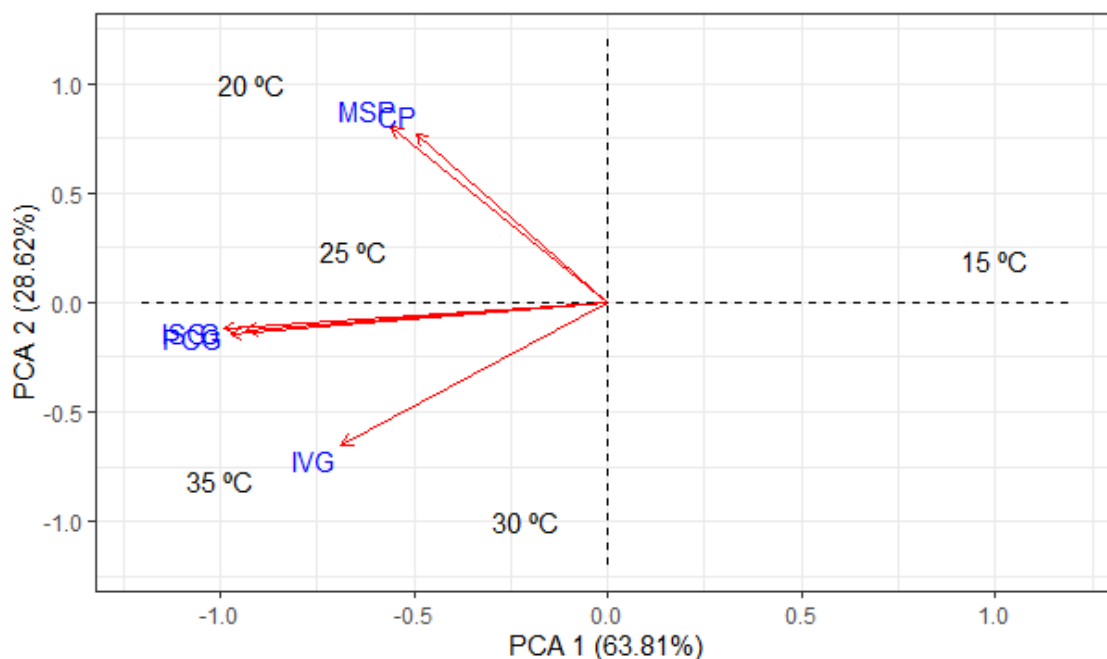
A componente 1 pode ser considerada a mais importante, pois é derivada do maior autovalor, explicando 63,81 % da variância total. As variáveis que mais contribuíram para essa representação foram germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG) e índice de sincronia das germinações (ISG). No entanto, essas variáveis resultaram em vetores próximos à origem do gráfico, demonstrando que as variações de temperatura não exerceram influência substancial sobre elas. Nesse ínterim, a componente 2 foi responsável por explicar 28,62% da variância.

As sementes de *L. leucocephala* germinaram em uma faixa de temperatura de 15 a 35 °C, com resultados superiores no intervalo térmico de 20 a 35 °C. Em contrapartida, a temperatura de 15 °C causou decréscimo na germinabilidade e inibição da germinação em temperaturas menores, assim como em temperaturas maiores que 35 °C.

As temperaturas de 20 e 25 °C agruparam-se no quadrante superior esquerdo do gráfico (componente 2), correlacionando-se com as variáveis de comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP). Isso indica maior desenvolvimento das plântulas e maior acúmulo de biomassa, sugerindo que as mesmas sejam positivamente influenciadas por essas temperaturas, o que favorece o seu estabelecimento e desenvolvimento das plântulas no ambiente (Figura 1).

A temperatura de 35 °C favoreceu um maior índice de velocidade de germinação (IVG) para a espécie, ou seja, essa temperatura mostrou efeito estimulante na velocidade com que a semente germina. No entanto, vale ressaltar que essa variável não pode ser analisada de forma isolada, pois, embora a germinação tenha sido rápida, o desenvolvimento das plântulas pode ser negativamente afetado. Em contrapartida, as variáveis de G, PCG e ISG agruparam-se no mesmo quadrante da temperatura de 35 °C, validando que essa temperatura favorece uma germinação rápida e sincronizada e possivelmente em campo, sob essa condição apresentaria lotes de plantas uniformes.

Figura 1. Componentes Principais do efeito de diferentes temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Leucaena leucocephala*.



Fonte: Autora, 2025

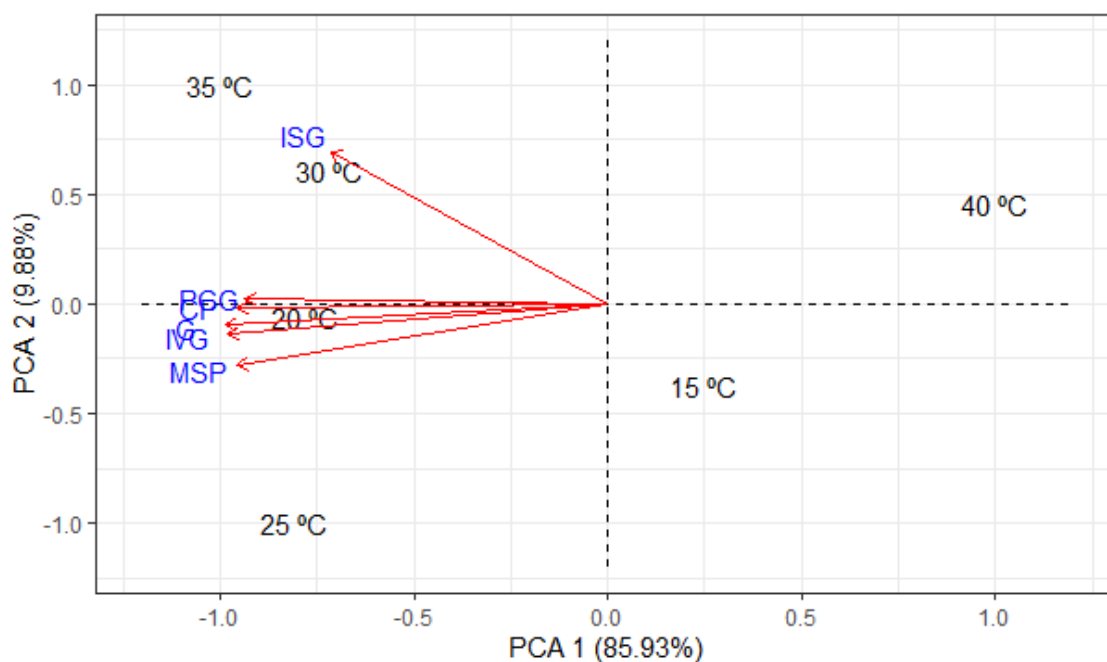
Os resultados ao analisar as respostas das sementes de *P. nitens* sob diferentes temperaturas utilizando análise multivariada (Figura 2), constatou-se que os componentes principais 1 e 2 foram responsáveis por explicar 95,81% de variância acumulada, em que 85,93 % e 9,88% respectivamente. As variáveis de germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP), na componente 1 se correlacionaram com as temperaturas de 20° e 25 °C, indicando que essas temperaturas favoreceram uma rápida germinação e maior desenvolvimento das plântulas.

A temperatura de 30° e 35 °C localizadas no quadrante superior esquerdo da componente 2, se correlacionou com a variável de índice de sincronia de germinação (ISG), ou seja, nessas temperaturas ocorreu maior número de sementes germinadas em um período de tempo curto, resultando em uma germinação mais uniforme, o que leva a sugerir que quando essas sementes forem submetidas a essas condições, seja no meio natural ou em casa de vegetação resultaria em um lote de plantas com desenvolvimento inicial mais homogêneo (Figura 2).

Os menores resultados obtidos para as sementes de *P. nitens*, deu-se em temperaturas de 15° e 40 °C, e se submetida a temperatura menor e/ou maior que essas

respectivamente, há inibição da germinação, o que provavelmente seja desencadeado processos antagônicos a germinação.

Figura 2. Componentes Principais do efeito de diferentes temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Pterogyne nitens*.



Fonte: Autora, 2025

Ao utilizar o agrupamento hierárquico representado pelo gráfico de árvore/dendrograma (Figura 3 e 4), foi possível formar grupos de acordo com sua distância e semelhança, ou seja, a relação de similaridade entre as diferentes temperaturas com base nas variáveis estudadas, sendo que a intensidade de influência de cada temperatura foi espelhada por tons frios (alto valores) e quentes (baixo valores), podendo ocorrer variações de tons (claros, médios, intensos).

Pelo dendrograma de similaridade entre temperaturas sobre a germinação e vigor de sementes e plântulas de *Leucaena leucocephala*, observou-se que temperaturas de 20 a 35 °C foram agrupadas dentro de um mesmo *cluster*, e a temperatura de 15 °C ficou em um *cluster* isolada (Figura 3). Provavelmente a formação de um cluster unindo as temperaturas de 20 a 35 °C revela a amplitude térmica da espécie, indicando que as sementes de *L. leucocephala* conseguem germinar e gerar plântulas com desenvolvimento semelhantes dentro dessa faixa.

Em contraste, a temperatura de 15 °C por estar isolada, provavelmente representa uma condição de estresse térmico (temperatura subótima), e nessa condição, as taxas de

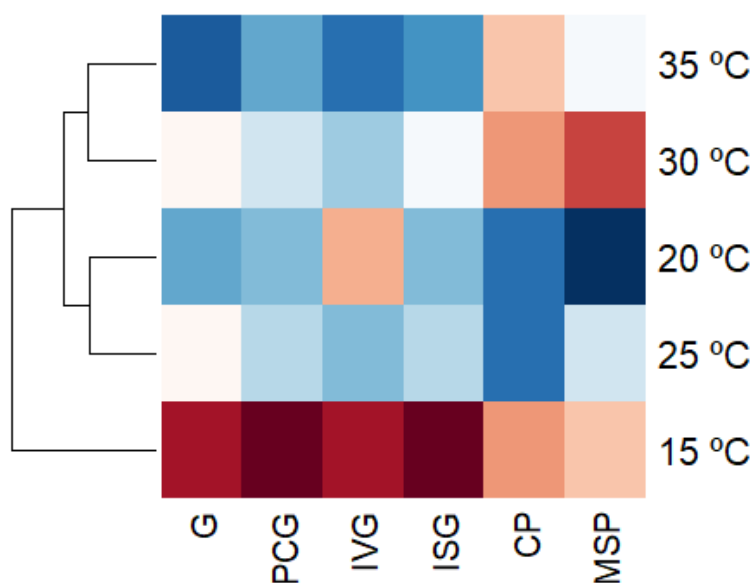
reações bioquímicas das sementes tendem a ser mais lentas devido à menor energia cinética das moléculas e à menor atividade enzimática, resultando em menor porcentagem de germinação, plântulas menos vigorosas e retardamento da germinação.

A temperatura de 35 °C expressou os melhores resultados (tons de azul) para as variáveis G, PCG, IVG, ISG sendo 94 %, 93%, 11,592 e 9,313 respectivamente, enquanto para a temperatura de 30 °C, exibiu 86%, 85%, 9,779 e 0,6249. A temperatura de 20 °C mostrou o maior resultado para massa seca de plântula (1,0477 g) diferindo estatisticamente das demais temperaturas. A temperatura de 25 °C apesar de apresentar resultado (6,1 cm) discretamente maior para a variável de comprimento de plântula, não diferiu estatisticamente da temperatura de 20 °C (6 cm), apresentando a mesma tonalidade (azul intermediário) no dendrograma.

Para a temperatura de 15 °C, observou-se uma coloração que variou de rosa claro a vermelho intenso, esse intervalo de cores denota um efeito negativo para todas as variáveis, no entanto não diferiu das temperaturas de 30 °C, 35 °C para as variáveis de comprimento e massa seca de plântula, sendo que a temperatura de 30 °C expressou coloração de vermelho intermediário para comprimento de plântulas, isto é, para essa variável a temperatura de 30° obteve resultado inferior, superando negativamente a temperatura de 15 °C.

O ranqueamento do dendrograma, revela que as temperaturas de 30 °C e 35 °C para a espécie de *L. leucocephala* ocasiona maior número de indivíduo em um espaço curto de tempo no ambiente e em temperaturas de 20 °C e 25 °C resultaria em plantas mais desenvolvidas, capaz de suportar as adversidades imposta pelo ambiente em que estar inserida. Por outro lado, quando submetida a temperatura de 15 °C afetaria seu estabelecimento no ecossistema.

Figura 3. Dendrograma de similaridade entre temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Leucaena leucocephala*. E a variação da coloração (do vermelho, branco, ao azul) representa, respectivamente, para as variáveis, menores valores (vermelho intenso) a maiores valores (azul intenso).



Fonte: Autora, 2025

Ao analisar o gráfico de árvore (Figura 4), com o ranqueamento para as sementes de *Pterogyne nitens*, observou-se que as temperaturas de 30 e 35 °C obtiveram a maior similitude, resultando em indivíduos mais próximos, enquanto houve dissimilaridade para as temperaturas de 35 °C e 40 °C, isto é, são indivíduos que comportam maior distância, de maneira que elas ficaram em *clusters* distintos.

Ademais, observou-se a formação de dois *clusters*, um composto pelas temperaturas de 20 a 35 °C e o outro pelas temperaturas de 15 e 40 °C. Possivelmente as temperaturas de 20 a 35 °C indicam a faixa térmica ótima para o favorecimento do desenvolvimento vegetativo da espécie, enquanto as temperaturas de 15 e 40 °C são consideradas infra e supra ótimas, o que pode ocasionar má formação vegetativa, retardamento na germinação ou inibição da mesma (Figura 4).

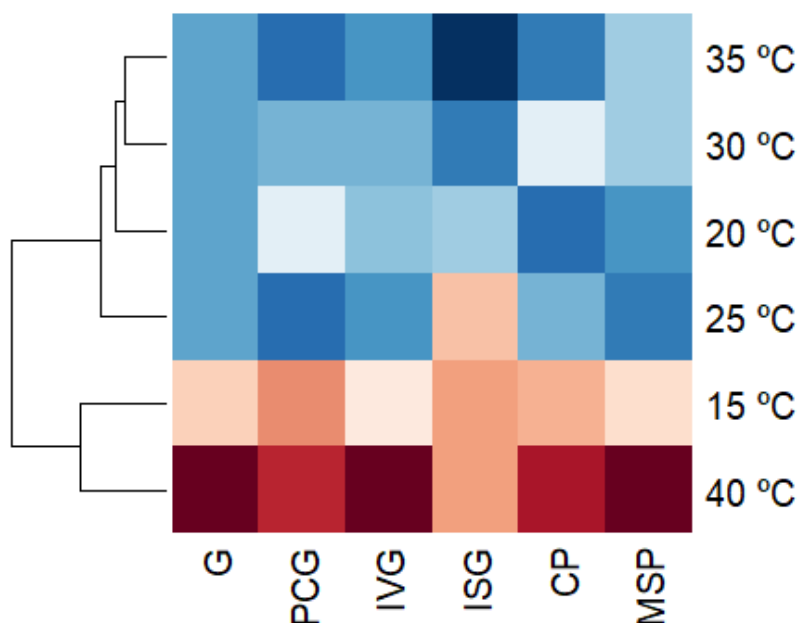
No Primeiro *cluster*, composto pelas temperaturas de 20°C, 25°C, 30°C e 35 °C, pode-se observar que os resultados foram representados pelos tons frios, denotando as melhores respostas de germinação e vigor, exceto para a variável de índice de sincronia de germinação na temperatura de 25 °C que mostrou tonalidade rosa claro, significando efeito levemente negativo para a simultaneidade com que as sementes germinam. Em contrapartida, obteve-se a maior significância para essa variável na temperatura de 35 °C

representada pelo tom de azul intenso.

As temperaturas de 15 e 40°C que compõem o segundo *cluster*, apresentaram os menores resultados para todas as variáveis analisadas, explicados pelos tons quentes que variaram entre rosa claro a vermelho intenso, sendo que os piores valores foram atribuídos quando as sementes foram submetidas a temperatura de 40 °C. Essa resposta pode informar que a espécie *P. nitens* é pouco ou não tolerante a temperaturas extremas (muito frio e/ou muito quente), e sob condições de campo apresentaria desenvolvimento mais lento, e heterogeneidade nas fases de crescimento, o que poderia comprometer o estabelecimento da espécie.

O mapa de calor em conjunto com os resultados de agrupamento das características de germinação e vigor, sugerem que a produção de mudas de *Pterogyne nitens* pode ser mais vantajosa dentro da faixa de temperatura de 20 °C a 35 °C, mas que a germinação também ocorre em temperaturas de 15 e 40 °C, mostrando plasticidade da espécie em relação a variação térmica.

Figura 4. Dendrograma de similaridade entre temperaturas sobre a germinabilidade (G), primeira contagem de germinação (PCG), Índice de Velocidade de Germinação (IVG), índice de sincronia das germinações (ISG), comprimento de plântulas (CP) e massa seca de plântulas (MSP) de *Pterogyne nitens*. E a variação da coloração (do vermelho, branco, ao azul) representa, respectivamente, para as variáveis, menores valores (vermelho intenso) a maiores valores (azul intenso).



Fonte: Autora, 2025

5 DISCUSSÕES

Na temperatura de 15 °C observou-se os menores resultados para as variáveis de G (79 %), PCG (49 %), IVG (3,560), ISG (0), CP (4 cm) e MSP (0,943 g), enquanto temperaturas de 20 a 35 °C ocasionou os melhores resultados. Demonstrando assim, que esse intervalo térmico proporcionou o aumento das atividades enzimáticas e acelerou o processo de embebição de água, mobilizando a reserva energética (proteínas, lipídios e carboidratos) e a respiração celular realizadas pelas sementes.

De acordo com Marcos Filhos (2016), as enzimas são catalisadores biológicos sensíveis a temperaturas e dentro da faixa de temperatura ótima propicia a maximização das atividades enzimáticas, acelerando os processos metabólicos associados a retomada do crescimento embrionário.

Resultados divergentes foram encontrados por Felix et al. (2018) ao estudar o estresse térmico na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, constatando que a faixa térmica de 25-30 °C é ideal para germinação e crescimento inicial de plântulas, mas que as sementes continuam a germinar com o aumento da temperatura até 35 °C. Os autores Fonseca e Jacobi (2011) estudando o desempenho germinativo sob diferentes temperaturas de três espécies da família Fabaceae, incluindo a *L. leucocephala* detectaram que o intervalo ótimo para as três espécies, encontram-se entre 20 e 40 °C. Contrapondo-se com os resultados encontrados na presente pesquisa, pois quando as sementes foram submetidas a temperaturas de 40 °C, houve a inibição total da germinação.

Para a espécie *P. nitens* os menores resultados foram atribuídos as temperaturas de 15 °C (G: 50%; PCG: 18%; IVG: 3,459; ISG: 0; CP: 4,5 cm; MSP: 0,557) e 40 °C (G: 3%; PCG: 2%; IVG: 0,169; ISG: 0; CP: 2,3 cm; MSP: 0,024) com redução significativa na germinação, e em temperaturas tanto abaixo quanto a cima ocorreu inibição da mesma. Essa resposta está ligada a redução na velocidade das reações metabólicas, atividades enzimáticas e ao processo de termodenaturação desencadeado pelo aumento da entalpia.

De acordo com Marcos Filhos (2016) quando se ultrapassa os limites de temperatura tolerados pelas sementes (temperaturas cardeais) a germinação e o vigor são afetados negativamente, pois é ativado mecanismos de reparo aos danos causados pelo frio/calor extremo.

Em temperaturas subótimas, a atividade enzimática e as taxas metabólicas tendem a ser mais lenta, retardando a germinação, enquanto em temperaturas supraótimas ocorre

a desnaturação de proteínas e enzimas, danos às membranas celulares e outros efeitos fisiológicos negativos que inibem a germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Santos et al. (2019) ressaltaram que a germinação sofre influência da temperatura e ao avaliar a mesma, em sementes de *P. nitens*, observaram que nas temperaturas de 10 e 45 °C não houve germinação, resultado que corrobora os obtidos na presente pesquisa. As sementes de *P. nitens* apresentou os melhores resultados quando submetidas a temperaturas de 20 a 35 °C. Esse intervalo térmico favoreceu o a germinação e desenvolvimento das plântulas, pois temperaturas ideais aumentam a velocidade das reações metabólicas.

Autores como Lima et al. (2016); Ursulino et al. (2016) e Silva, R. et al. (2017), estudando sobre as espécies *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul., *Dimorphandra gardneriana* e *Parkia platycephala* Benth respectivamente, ambas pertencentes a família Fabaceae nativas do brasil e ocorrentes em regiões de cerrado e caatinga, elucidaram em suas pesquisas que temperaturas entre 20 e 35 °C são favoráveis à germinação de sementes florestais com aptidão/preferências a climas quentes.

Barros; Dantas; Angelotti (2023) encontraram resultados semelhantes ao avaliarem o desenvolvimento inicial de espécies da Caatinga sob o aumento da temperatura do ar (regime de 18-24-30 °C e 22-28-34 °C) e da concentração de CO₂, constatou que as temperaturas mais altas favoreceram o crescimento inicial e o acúmulo de biomassa das plântulas.

Durante a revisão da literatura, não foram encontrados estudos que aplicassem a análise de agrupamento hierárquico (dendrograma) para caracterizar a influência de diferentes temperaturas na germinação de sementes de espécies florestais. No entanto, pesquisas realizadas por Silva et al. (2019); Dias (2020); Silva et al. (2024b), utilizaram essa técnica para avaliar lotes de sementes agrícolas, afim de verificar a eficiência da análise multivariada na identificação de testes de vigor com a gramínea *Brachiaria decumbens*, avaliar o potencial fisiológico de 14 genótipos de soja e verificar a eficácia da análise multivariada (Dendrograma) no ranqueamento de vigor em trigo cultivado, respectivamente. Ambos os autores avaliaram essa ferramenta como eficiente para classificação, pois possibilitou a avaliação simultânea entre lotes e diferentes tipos de testes.

Embora esses estudos apresentem semelhanças metodológicas com a presente pesquisa, seu foco está em culturas de interesse agrícola, sem abordar diretamente os aspectos termobiológicos das sementes. Dessa forma, este trabalho preencher essa lacuna,

aplicando essa abordagem para compreender o efeito térmico na germinação das sementes de *L. leucocephala* e *P. nitens*, contribuindo para o avanço dos estudos em ecofisiologia e restauração ecológica.

6 CONCLUSÃO

A produção de mudas de *P. nitens* e *L. leucocephola* pode ser mais vantajosa dentro da faixa de temperatura de 20 a 35 °C, podendo ser indicadas para ambientes diversos, uma vez que foi caracterizada sua amplitude térmica.

REFERÊNCIAS

ALEMÁN-RAMIREZ J. L.; OKOYE, U. P.; TORRES-ARELLANO, S.; MEJÍA-LOPEZ M.; SEBASTIAN, P. J. A. Review on bioenergetic applications of *Leucaena leucocephala*. *Industrial Crops and Products*. **Sciencedirect**. V.182, p.114847, 2022.

ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; PICOLI, E. A. T.; LEITE FILHO, A. T.; FLORES, A. V. Alterações nas reservas de sementes de *Melanoxylonbrauna* Schott. (Fabaceae Caesalpinioideae) durante a germinação em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 3, p. 372-379, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5454>.

BARGER, V. Termobiologia.v,1. São Paulo: **Roca**, 1989.

BARROS, J. R. A.; DANTAS, B. F.; ANGELOTTI, F. Desenvolvimento inicial de espécies da Caatinga sob o aumento da temperatura do ar e da concentração de CO₂. **REVISTA DELOS**, [S. l.], v. 16, n. 44, p. 1069–1081, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n44-006.

BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S.; FREITAS, J. B. S.; TEOFILO, E. M. Avaliação da qualidade das sementes de *Moringa oleifera* Lam. durante o armazenamento. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1240-1246, 2004. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000600004>

BRADFORD, K. J. Applications of hydrothermal time to quantifying seed germination and dormancy. **HortScience**, v. 37, n. 7, p. 1199-1206, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CARDOSO, V. J. M. Thermal-dependence of the germination of *Catharanthus roseus* seeds. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.11, n.1, p.41-49,1999.

CARDOSO, V. J. M. Uma análise termobiológica da germinação. **Naturalia**, v. 32, p. 35-52, 2009. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/naturalia/article/download/3421/2876>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CARVALHO, M. P.; SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Emergência de plântulas de *Anacardium humile* A. St.-Hil. (Anacardiaceae) avaliada por meio de amostras pequenas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 627-633, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5. ed. Jaboticabal: **Funep**, 2012. 409 p.

CARVALHO, P. E.R. Espécies Arbóreas Brasileiras. v. 1. Brasília: **Embrapa**, 2000. 272 p.

CARVALHO, P.E.R. Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: **Embrapa-CNPq**; 1994.

DANTAS, B. F.; ANGELOTTI, F. Sementes nativas da Caatinga e clima futuro. Petrolina: **Embrapa Semiárido**. Documentos, 193. cap. 11, p. 169-183 (2022).

DIAS, L. D. S. Análises multivariadas do potencial fisiológico de sementes transgênicas e convencionais. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Biotecnologia)** - Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (2020).

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. Comunicado técnico, 142. Petrolina-PE. **Embrapa Semiárido**. ISSN 1808-9984. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Espécies Arbóreas Brasileiras: Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*). 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137304/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Amendoim.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE M.; STAHL D. Cluster Analysis. 5.ed. New York: **John Wiley & Sons**, 2011.

FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. D. S.; SILVA, M. D. D.; FERRARI, C. D. S.; PACHECO, M. V. Estresse hídrico e térmico na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 1-7, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5515.

FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. S.; SILVA, M. D.; FERRARI, C. S.; PACHECO, M. V. Estresse hídrico e térmico na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 2, p. 1-7, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5515>.

JÚNIOR, J. L. A. M.; SOARES; MELO, L. B. F., L. D. F. A; GOMES L. C. A; NETO, J. C. A; BERTO, T. S; SANTOS, E. B; SANTOS, K. M. Optimal temperature and energy efficiency in the germination of *Moringa oleifera* Lam.: Implications for use in ecological restoration programs in degraded áreas. **South African Journal of Botany**, v.178, 2025, pg. 33-38, ISSN 0254-6299, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.01.017>.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**. 2015, 5:1.

HUGHES, C. Monograph of *Leucaena* (Leguminosae-Mimosoideae). Systematic Botany Monographs. **JSTOR**. vol. 55, 1998, pp. 1–244. <https://doi.org/10.2307/25027876>.

IHAKA, R.; GENTLEMAN, R. **R project**. URL <http://www.r-project.org>, 1993.

JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. 6th ed. Nova Jersey: **Prentice-Hall**,2007. 800 p.

JOLLIFFE, I.T.; CADIMA, J. Análise de componentes principais: uma revisão e desenvolvimentos recentes. **Phil. Trans. R. Soc. A.** 374 20150202. (2016). <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>.

KOEFENDER, J.; MENEZES, N. L.; BURIOL, G. A.; TRENTIN, R.; CASTILHOS, G. Influência da temperatura e da luz na germinação da semente de calêndula. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 233-237, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362009000200015>

LABOURIAU, L. G. A germinação das sementes. Lima: **Secretaria-Geral da OEA**, 1983. 173 p. (OEA-Serie de Biologia. Monografia, 24).

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) **Ait.f. Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

LIMA, J. D; ALMEIDA, C. C; DANTAS, V. A. V; SILVA, B. M. S; MORAES, W. S. Efeito da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Revista Árvore**,30: 513-518. 2016.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. ed. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 2016.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v. 1. **Nova Odessa: Plantarum**; 2002.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation of seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MARCOS-FILHOS, J. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. 2.ed.-Londrina, PR:**ABRATES**, 2016. p.660.

MARQUES, R. J.; SOBRINHO, W. F. R. da C. Detecção das ocorrências de focos de queimadas e produção de mapas de calor em timon, MA. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 37, p. 210-228, 2020.

MATIAS, J. R. Vulnerabilidade de sementes de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) aos estresses abióticos. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do SemiÁrido, Mossoró. 68 f.2019.

MEDEIROS, J. G. F.; NETO, A. C. A.; MEDEIROS, D. S.; NASCIMENTO, L. C.; ALVES, E. U. Extratos Vegetais no Controle de Patógenos em Sementes de *Pterogyne nitens* Tul. **Floresta e Ambiente**. vol.20, n3, p.384-390, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.029FLORAM>.

MENEZES, A.T.; SILVA, J.S.; SANTOS, J.L.; CANGUSSU, A.C.V.; CARDOSO, A.D.; MORAIS, O.M. Características biométricas de sementes de leucena. **Caderno de agroecologia**-ISSN 2236-7934- Anais do VI CLAA, X CBA E V SEMDF, v.13, n.1, jul. 2018.

MOURA, E. G; CARVALHO, C. S; BUCHER, C. P. C; SOUZA, J. L. B; AGUIAR, A. C. F; JÚNIOR, A. S. L. J; BUCHER, C.A; COELHO, K.P. Diversidade de rizóbios e importância de suas interações com leguminosas arbóreas para a viabilidade e sustentabilidade dos agrossistemas tropicais. **Diversity**. v. 12, n. 5, p. 206, 2020.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C., Vieira, R.D., França Neto, J.B. Vigor de sementes: Conceitos e testes. Londrina: **ABRATES**, 1999. p. 1-24.

NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 393-402, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5902/1980509831615>

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

OLIVEIRA, F. N.; FRANÇA, F. D.; TORRES, S. B.; NOGUEIRA, N. W.; FREITAS, R. M. O. Temperaturas e substratos na germinação de sementes de pereiro-vermelho (*Simira gardneriana* M.R. Barbosa & Peixoto). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 658-666, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160079>

PINHEIRO, I. L. V. et al. Mapas de calor do mercado de imóveis em Manaus: uma análise comparativa. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 89 f. 2023.

PRIMACK, R. B. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand. **Journal of Ecology**, v. 68, n. 3, p. 849-862, 1980.

RIBAS, G.T. Tacos: avaliação de árvores filogenéticas. **Dissertação de mestrado (Mestre em Bioinformática)** - Universidade Federal do Paraná, setor de Educação Profissional e Tecnológica (2021).

SAJU, A. Principal component analysis (pca) in the evaluation of vegetation indices derived from time-series remote sensing data: a review. **IJCRT**.v 10. ISSN: 2320-2882 (2022). 2320-2882.

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. S. Legumineira – cultura forrageira para produção de proteína, **EMBRAPA/CNPQC**. Circ. Téc. nº 13. 52p., C.Grande–MS. 1983.

SIB - Sistema de Informação sobre Biodiversidade. *Pterogyne nitens*. Disponível em:> <https://sib.gob.ar/especies/pterogyne-nitens>. < Acesso em: 18 fev. 2025.

SILVA, C. M.; PARES, M. P.; NETO, J. N. M.; GONÇALVES, B. B.; LEAL, I. A. B. Reproductive biology of *L. Leucocephala* (Lam.) R. de Wit (fabaceae: Mimosoideae): Success of an invasive species. **Neotropical Biology and Conservation**. 2014. DOI: 10.4013/nbc.2014.92.03.

SILVA, E. E.; MELO, L. D. F. A.; JUNIOR, J. L. A. M.; GOMES, L. C. A.; BERTO, T. S.; CRISÓSTOMO, N. M. S.; OLIVEIRA, V. C.; RAMOS, M. G. C.; COSTA, J. F. D.; TENÓRIO, A. N. R. S. Biometry and physiological potential of *Pterogyne nitens* Tull. Seeds as a function of different substrates. GeSec: **Revista de Gestao e Secretariado**, v. 15, n. 2, 2024a.

SILVA, G. Z. D., MARTINS, C. C., BRUNO, R. D. L. A., PEREIRA, F. E. C. B., JEROMINI, T. S. Análise multivariada e testes de vigor na determinação da qualidade de sementes de *Brachiaria decumbens*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, p. 291-299, 2019.

SILVA, K.W.S.G; MALTA, A. S; BERTO, T. S; MELO, L.D.F.A; JUNIOR, J.L.A.M. Dendrograma para ranquear vigor em variedades de trigo. **Revista Ciência Agrícola**, 22(especial), 1-5. 2024b.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. C.; DANTAS, M. K. L. Características Dendrométricas, Físicas e Químicas da *Myracrodruon urundeuva* e da *Leucaena leucocephala*. **Floresta e Ambiente**. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.002216> ISSN 2179-8087.

SILVA, M. A. P.; EVANGELISTA, L. P.; SILVA, W. H. O.; SANTO, F. S. E. Diagnóstico e estratégias para a conservação ou restauração de nascentes em ambientes com ações antrópicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 1-24, 2024c. DOI 10.5902/1980509871553.

SILVA, R. B.; MATOS, V. P.; FARIAS, S. G. G.; SENA, L. H. M.; SILVA, D. Y. B.O. Germinação e vigor de plântulas de *Parkia platycephala* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170016>

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. Termodinâmica para Engenharia Química. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SOUZA, A. P. A; SANTOS, C. C. R. Avaliação da taxa de germinação de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) submetida a diferentes métodos de quebra de dormência. 2018. 35 f. **Trabalho de conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia agrônômica)** - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço, 2018.

TINOCO, I.; SAUER, K.; WANG, J. C.; PUGLISI, J. A. Físico-Química Biológica. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF. Amendoim-bravo – *Pterogyne nitens*. Disponível em:>

<https://uenf.br/projetos/arvoresdauenf/especie-2/amendoim-bravo/><. Acesso em: 18 fev. 2025.

URSULINO, M; COSTA, M. J; MEDEIROS, E. A; ARAÚJO, P. R. B. Germinação e vigor de sementes de *Dimorphandra gardneri*-ana submetidas ao estresse hídrico em diferentes temperaturas. **Ciência Rural**, 46: 2090-2095. (2016).

VICINI, L.; SOUZA, A. M.; MORALES, F. E. C.; SOUZA, F. M. Técnicas multivariadas exploratórias: teorias e aplicações no software statistica. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018. 240 p.