

UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM BIOINSUMOS E NUTRIENTES SOB DIFERENTES
TEMPERATURAS**

MURILO DO PRADO FERREIRA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2026

MURILO DO PRADO FERREIRA

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS COM
BIOINSUMOS E NUTRIENTES SOB DIFERENTES TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2026**

Universidade de Rio Verde
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

F442q

Ferreira, Murilo do Prado

Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com bioinsumos e nutrientes sob diferentes temperaturas. / Murilo do Prado Ferreira. – 2026.
28 f.

Orientadora: Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes
Coorientador: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2026.

Inclui índice de figuras.

1. *Glycine max*. 2. Germinação. 3. Vigor - semente. 4. Estresse térmico.
I. Lopes, Mayara Cristina. II. Silva, Givanildo Zildo da. III. Título.

CDD:631.847

Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

MURILO DO PRADO FERREIRA

**“QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS COM
BIOINSUMOS E NUTRIENTES SOB DIFERENTES TEMPERATURAS”**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVAÇÃO: 03 de agosto de 2026

Documento assinado digitalmente
 **MAYARA CRISTINA LOPES**
Data: 11/08/2026 14:38:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes
Presidente da Banca Examinadora
PPGPV – UniRV

Documento assinado digitalmente
 **INGRID MARESSA HUNGRIA DE LIMA E SILVA**
Data: 10/08/2026 11:00:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ingrid Maressa Hungria de L. e
Silva
Membro externo – UFLA

Documento assinado digitalmente
 **ROSE LUIZA MORAES TAVARES**
Data: 07/08/2026 14:26:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **GIVANILDO ZILDO DA SILVA**
Data: 11/08/2026 19:07:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva
Membro – PPGPV/UniRV

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISAO DE LITERATURA.....	2
2.1 Cultura da soja e qualidade fisiológica das sementes.....	2
2.2 Efeito do estresse térmico no processo de germinação e emergência	4
2.3 Tratamento de sementes: uso de bioinsumos e micronutrientes	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Condições e delineamento experimental.....	7
3.2 Avaliações fisiológicas.....	8
3.3 Análise estatística	8
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5 CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Germinação (A), plântulas anormais (B), sementes mortas (C) e primeira contagem de germinação (D) de sementes de soja cultivar Olimpo submetidas a diferentes tratamentos de sementes em função da temperatura.....	9
FIGURA 2	Comprimento da raiz (A), comprimento da parte aérea (B), massa seca da raiz (C) e massa seca da parte aérea (D) de plântulas de soja cultivar Olimpo oriundas de sementes submetidas a diferentes tratamentos em função da temperatura de germinação.....	14

RESUMO

FERREIRA, M. P., UniRV – Universidade de Rio Verde, abril de 2026. **Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com bioinsumos e nutrientes sob diferentes temperaturas.** Orientadora: Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes. Coorientador: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.

A temperatura é um dos principais fatores ambientais que influenciam a germinação e o vigor das sementes de soja, podendo comprometer o estabelecimento inicial da cultura quando ocorre em níveis inferiores ou superiores à faixa considerada mais favorável. Neste contexto, o tratamento de sementes com bioinsumos e micronutrientes apresenta potencial como estratégia para favorecer a tolerância das sementes ao estresse térmico. Objetivou-se avaliar a resposta fisiológica de sementes da cultivar se soja Brasmax Olimpo IPRO tratadas com bioinsumos e micronutrientes sob diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×4 , composto por cinco tratamentos de sementes (controle, BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança®) e quatro temperaturas de incubação (5, 25, 35 e 40 °C), com quatro repetições. Foram avaliadas a germinação, a primeira contagem de germinação, o comprimento da raiz e da parte aérea e a massa seca da raiz e da parte aérea das plântulas. A temperatura influenciou significativamente todas as variáveis avaliadas, sendo a faixa entre 22 e 25 °C mais favorável à germinação e ao crescimento inicial das plântulas. Temperaturas extremas de frio (5 °C) e calor (40 °C) reduziram a germinação, o vigor e o desenvolvimento das plântulas, enquanto temperaturas elevadas (35 e 40 °C) aumentaram a incidência de plântulas anormais. Sob temperaturas elevadas, os tratamentos de sementes apresentaram maior germinação e vigor em comparação ao controle, indicando potencial para reduzir parcialmente os efeitos do estresse térmico. Além disso, os tratamentos influenciaram o crescimento inicial das plântulas, com destaque para o tratamento Lança®, que proporcionou maior acúmulo de massa seca da parte aérea, e para o BioAsis®, que promoveu maior crescimento radicular sob estresse térmico moderado. Os resultados demonstraram que o tratamento de sementes com bioinsumos e micronutrientes apresenta potencial para reduzir parcialmente os efeitos do estresse térmico sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja, contribuindo para a manutenção da germinação, do vigor e do crescimento inicial das plântulas, principalmente sob temperaturas elevadas.

Palavras-chave: *Glycine max*; germinação; vigor; estresse térmico.

ABSTRACT

Murilo do Prado Ferreira. UniRV – University of Rio Verde, April 2026. **Physiological quality of soybean seeds treated with bioproducts and nutrients under different temperature conditions.** Advisor: Profa. Dra. Mayara Cristina Lopes. Co-advisor: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.

Temperature is one of the main environmental factors influencing soybean seed germination and vigor and may compromise crop establishment when it occurs below or above the most favorable temperature range. In this context, seed treatment with bioproducts and micronutrients has potential as a strategy to enhance seed tolerance to thermal stress. The objective of this study was to evaluate the physiological response of seeds of the soybean cultivar Brasmax Olimpo IPRO treated with bioproducts and micronutrients under different temperatures. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 5×4 factorial arrangement, consisting of five seed treatments (control, BioAsis®, Auras®, Vital®, and Lança®) and four incubation temperatures (5, 25, 35, and 40 °C), with four replicates. Germination, first germination count, root and shoot length, and root and shoot dry mass were evaluated. Temperature significantly affected all evaluated variables, with the range between 22 and 25 °C being the most favorable for germination and initial seedling growth. Extreme cold (5 °C) and heat (40 °C) reduced germination, vigor, and seedling development, whereas high temperatures (35 and 40 °C) increased the incidence of abnormal seedlings. Under high temperatures, the seed treatments showed superior performance to the control for some of the evaluated variables, indicating potential to partially reduce the effects of thermal stress. In addition, the treatments influenced initial seedling growth, with Lança® standing out for providing greater shoot dry mass accumulation, while BioAsis® promoted greater root growth under moderate thermal stress. The results demonstrate that seed treatment with bioproducts and micronutrients has potential to partially reduce the effects of thermal stress on the physiological quality of soybean seeds, contributing to the maintenance of germination, vigor, and initial seedling growth, particularly under high temperatures.

Keywords: *Glycine max*; seed treatment; seed vigor; thermal stress; germination.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) destaca-se mundialmente como uma das culturas agrícolas de maior importância econômica, com ampla utilização na produção de biocombustíveis, óleo vegetal e farelo para alimentação animal. Com a utilização do melhoramento genético e da adoção de novas tecnologias, houve expansão da área cultivada de soja no Brasil, o que posicionou o país como o maior produtor de soja do mundo. Na safra 2025/26, a produção brasileira alcançou aproximadamente 180,3 milhões de toneladas, evidenciando a relevância da cultura para a economia nacional e para a segurança alimentar global (CONAB, 2026). Para manter esses elevados níveis de produção, é necessário que prevaleçam condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Dessa forma, as condições adversas constituem um dos principais desafios para a manutenção da estabilidade e do crescimento da produtividade entre safras.

Entre as condições adversas que limitam o desempenho da soja, os estresses abióticos estão entre os principais limitantes. As mudanças climáticas têm ocorrido nas últimas décadas, e o aumento na concentração de gases de efeito estufa tem provocado alterações na distribuição das chuvas, na frequência de eventos climáticos extremos e nas variações da temperatura global. Para a cultura da soja, temperaturas abaixo ou acima dos níveis considerados adequados podem comprometer o estabelecimento da lavoura e, conseqüentemente, seu potencial produtivo. A fase de estabelecimento da cultura é responsável pela definição da população de plantas, e a redução da população final compromete diretamente a produtividade.

Um dos principais fatores para um bom estabelecimento da lavoura é a qualidade fisiológica das sementes, que relaciona-se a sua capacidade de germinação e ao seu vigor. Sementes com vigor elevado apresentam capacidade de germinar rapidamente, o que tende a garantir maior uniformidade de germinação, e, conseqüentemente, maior uniformidade de estande, mesmo em condições desfavoráveis. Durante a germinação, processos como embebição, ativação metabólica, mobilização de reservas e crescimento do eixo embrionário exigem elevada integridade celular e intenso metabolismo energético. Qualquer interferência nesses processos pode reduzir a velocidade de germinação e aumentar a ocorrência de plântulas anormais, comprometendo o estabelecimento inicial da lavoura.

Em um cenário no qual os estresses térmicos se tornam cada vez mais prováveis e recorrentes, surge a necessidade de buscar estratégias que aumentem a tolerância das sementes e plântulas. Entre essas estratégias, destaca-se o tratamento de sementes, que permite a

aplicação direcionada de produtos na semente, capazes de protegê-la e estimular seu desenvolvimento inicial. Além de defensivos químicos (fungicidas e inseticidas), o tratamento de sementes passou a incorporar, de forma recorrente, bioinsumos como bioestimulantes e microrganismos benéficos, além de nutrientes e micronutrientes, que atuam favorecendo o metabolismo vegetal por meio da modulação de mecanismos de defesa, da promoção do crescimento vegetal e da regulação de processos hormonais, entre outros processos fisiológicos, e, em determinados casos, contribuir para o controle de organismos prejudiciais à cultura. Bactérias promotoras do crescimento, especialmente espécies do gênero *Bacillus*, apresentam potencial para aumentar o vigor das plântulas e a tolerância a condições adversas (Tsotetsi *et al.*, 2022). Micronutrientes como zinco, cobre e molibdênio participam de importantes sistemas enzimáticos relacionados à proteção contra espécies reativas de oxigênio e ao metabolismo celular (Broadley *et al.*, 2012; Marschner, 2012).

Embora já existam evidências de que o tratamento de sementes apresenta benefícios quanto à capacidade da soja de tolerar estresses térmicos, ainda faltam informações referentes à capacidade de diferentes nutrientes e bioinsumos de mitigar os efeitos desses estresses sob diferentes condições de temperatura (Sivarathri *et al.*, 2025).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tratamento de sementes com bioinsumos e micronutrientes sobre a qualidade fisiológica de cultivares de soja submetidas a diferentes condições de temperatura, buscando gerar informações que contribuam para o desenvolvimento de estratégias capazes de melhorar o estabelecimento inicial da cultura em ambientes sujeitos a estresses térmicos. A hipótese deste estudo foi de que o tratamento de sementes de soja com bioinsumos e nutrientes atenua os efeitos deletérios de condições de estresse térmico (temperaturas extremas) sobre a germinação, o vigor e o crescimento inicial das plântulas, em comparação a sementes não tratadas.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 Cultura da soja e qualidade fisiológica das sementes

A soja, *Glycine max* (L.) Merr. é uma das principais commodities agrícolas mundiais, essencial para a alimentação humana, nutrição animal e produção de biocombustíveis (Mishra

et al., 2024). Em 2024, a produção mundial alcançou aproximadamente 397,7 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 143,2 milhões de hectares (FAO, 2024).

No Brasil, o cultivo de soja começou em 1882, na Bahia. Mais tarde, devido às condições edafoclimáticas favoráveis e à expansão agrícola, a cultura se expandiu para outras regiões do país, contribuindo para consolidar o Brasil como um dos principais produtores mundiais de soja (Montoya *et al.*, 2019; Valdes *et al.*, 2023). O crescimento da sojicultura no Brasil está ligado aos avanços científicos e tecnológicos do setor agrícola, como o melhoramento genético, a implementação de novas práticas de manejo e o desenvolvimento de tecnologias que permitiram o cultivo em larga escala comercial (Mourão; Silva Lino, 2021). Foram produzidos 180,3 milhões de toneladas de soja no Brasil, com produtividade média de 3.700 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2026).

Embora as cultivares modernas possuam alto potencial produtivo e a tecnologia tenha avançado significativamente, a produtividade no campo ainda varia bastante. Isso ocorre porque a manifestação desse potencial liga-se à interação entre o genótipo e as condições ambientais. O aumento da concentração de gases de efeito estufa tem provocado o aquecimento global, resultando em elevação da temperatura média do planeta, alterações nos regimes de precipitação e maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (IPCC, 2023).

Nesse contexto, os estresses abióticos estão entre os principais fatores que limitam a produção agrícola, impactando o crescimento, o desenvolvimento e o desempenho fisiológico das plantas (Hamwieh *et al.*, 2024). Na cultura da soja, as temperaturas extremas e a falta de água são especialmente preocupantes, pois podem prejudicar o estabelecimento da lavoura e diminuir a produtividade de forma significativa (Staniak; Szpunar-Krok; Kocira, 2023). Os efeitos desses estresses são mais críticos durante a fase inicial de estabelecimento da cultura, período determinante para a definição da população e da uniformidade do estande, e para a capacidade da cultura de competir com plantas daninhas. Problemas no arranjo espacial e na população de plantas reduzem a eficiência na interceptação da radiação solar e no uso de água e nutrientes, afetando diretamente o rendimento final de grãos (Fipke *et al.*, 2022).

A qualidade fisiológica das sementes constitui um dos principais fatores determinantes para o sucesso do estabelecimento da cultura. Essa qualidade é tradicionalmente expressa pelos atributos germinação e vigor. A germinação representa a capacidade da semente originar plântulas normais sob condições favoráveis. Já o vigor das sementes corresponde ao conjunto de propriedades que determinam o desempenho de sementes viáveis em ampla faixa de condições ambientais (Ista, 2021). Dessa forma, sementes mais vigorosas tendem a apresentar maior capacidade de germinação e estabelecimento sob condições ambientais adversas,

refletindo positivamente na formação do estande e no desempenho produtivo da cultura (Marcos-Filho, 2015).

Lotes distintos podem apresentar percentuais semelhantes de germinação sob condições ideais, mas responder de forma contrastante quando submetidos a ambientes estressantes, como variações de temperatura e disponibilidade hídrica (Reed *et al.*, 2022).

Fisiologicamente, o estabelecimento da cultura inicia-se com a germinação da semente e estende-se até a emergência e o crescimento inicial das plântulas. A germinação é descrita pelo modelo trifásico de absorção de água (Marcos-Filho, 2015). Na Fase I, conhecida como embebição, ocorre uma rápida absorção de água devido à diferença de potencial hídrico, o que ativa enzimas já presentes e inicia os reparos celulares. Durante a Fase II, ou lag, a absorção de água se estabiliza, mas há intensa atividade metabólica, incluindo a síntese de novas enzimas, aumento da respiração celular (produção de ATP) e mobilização das reservas dos cotilédones. A Fase III, de crescimento, caracteriza-se pela retomada do crescimento do eixo embrionário, com um novo aumento na absorção de água, associado à protrusão da radícula, marcando o início da emergência.

Após a protrusão da radícula e o rompimento do tegumento, inicia-se o estágio da emergência da plântula, caracterizado pelo crescimento do eixo embrionário em direção à superfície do solo. Durante esse estágio, a plântula utiliza as reservas da semente, mantendo metabolismo heterotrófico, até que a expansão dos cotilédones e o surgimento das primeiras folhas possibilitem a transição gradual para o metabolismo autotrófico (Gutzat *et al.*, 2011; Samo *et al.*, 2025;).

Na soja, que apresenta emergência epígea, o alongamento do hipocótilo é essencial para superar a resistência mecânica do solo e elevar os cotilédones acima da superfície (Zhang *et al.*, 2023). Esse crescimento celular aumenta a demanda energética e respiratória da plântula, tornando a integridade das membranas celulares um fator determinante para o sucesso da emergência. O processo de emergência se completa com a abertura dos cotilédones e a expansão das folhas unifolioladas, culminando no estabelecimento do estande inicial.

2.2 Efeito do estresse térmico no processo de germinação e emergência

A temperatura é um dos principais fatores ambientais que influenciam a velocidade de absorção de água e a cinética das reações bioquímicas durante a germinação (Lu *et al.*, 2023). Para a germinação da soja, temperaturas próximas a 25°C são consideradas favoráveis (Butler *et al.*, 2014; Suo *et al.*, 2024). Desvios acentuados desses limites, por frio ou calor extremo,

impõem estresses abióticos que reduzem o vigor e comprometem o desempenho fisiológico das sementes.

As temperaturas baixas reduzem a capacidade germinativa das sementes de soja e prolongam o tempo médio de germinação, podendo atrasar esse processo entre 7 e 13 dias (Wang *et al.*, 2023). O estresse causado por baixas temperaturas durante a germinação pode reduzir o estabelecimento da cultura, diminuindo a taxa de germinação em até 38% quando combinado com excesso de umidade (Suo *et al.*, 2024). A exposição das sementes à temperatura de 4 °C durante a embebição promove alterações no proteoma, com expressão diferencial de proteínas envolvidas nos mecanismos de defesa celular e no metabolismo energético (Cheng *et al.*, 2010).

Temperaturas superiores a 35 °C também podem comprometer a germinação das sementes de soja, enquanto temperaturas entre 20 e 30 °C proporcionam condições mais favoráveis para a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Ghani *et al.*, 2023). Altas temperaturas durante o desenvolvimento das sementes podem comprometer sua qualidade fisiológica, afetando a germinação e o vigor das plântulas (Gibson; Mullen, 1996). O estresse térmico pode provocar alterações metabólicas, retardar o crescimento, induzir o estresse oxidativo e desencadear a morte celular, comprometendo o desenvolvimento e o rendimento da cultura da soja (Nahar; Hasanuzzaman; Fujita, 2016). Diante da elevada suscetibilidade da cultura da soja a variações térmicas extremas, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias que minimizem esses efeitos no campo. Nesse contexto, o tratamento de sementes com agentes biológicos e micronutrientes desponta como uma alternativa promissora, capaz de favorecer a tolerância inicial das plântulas e contribuir para o estabelecimento de estandes mais uniformes sob condições adversas.

2.3 Tratamento de sementes: uso de bioinsumos e micronutrientes

O tratamento de sementes consiste na aplicação de agentes químicos, físicos ou biológicos à superfície das sementes, com o objetivo de protegê-las contra patógenos e pragas iniciais, além de favorecer o desempenho fisiológico durante a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas (Sharma *et al.*, 2015; Aravindan & Kumar, 2025). Tradicionalmente associado ao uso de defensivos sintéticos, o tratamento de sementes evoluiu para uma plataforma tecnológica de precisão, incorporando bioinsumos e bioestimulantes. Nesse contexto, configura-se como uma estratégia preventiva importante, apresentando potencial para

contribuir para a mitigação dos efeitos de estresses abióticos, como variações térmicas e hídricas, nas fases iniciais do processo germinativo.

O uso de bioinsumos à base de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas tem se consolidado como uma estratégia para aumentar a produtividade e reduzir a dependência de insumos químicos (Marchão *et al.*, 2025). Essas bactérias colonizam a rizosfera e estabelecem interações benéficas com as plantas, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento vegetal por meio de diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos. Além disso, contribuem para a mitigação de estresses bióticos e abióticos, auxiliando na redução da incidência de doenças e no aumento da tolerância das plantas a condições ambientais desfavoráveis (Compant, *et al.*, 2010).

Entre as principais destacam-se as bactérias do gênero *Bacillus*., que promovem o crescimento das plantas, por mecanismos diretos, como a produção de fitormônios, sideróforos, a solubilização de nutrientes e, em algumas espécies, a fixação biológica de nitrogênio. Adicionalmente, atuam de forma indireta, por meio da produção de compostos antimicrobianos, enzimas líticas, exopolissacarídeos e da formação de biofilmes, contribuindo para o controle de fitopatógenos e para o estabelecimento de uma microbiota benéfica na rizosfera (Miljaković *et al.*, 2022; Marchão *et al.*, 2025).

Além dos bioinsumos, a aplicação de micronutrientes, por meio do tratamento de sementes também é importante para a mitigação de estresses abióticos nas fases iniciais do desenvolvimento de plantas. Micronutrientes como o zinco (Zn), cobre (Cu) e molibdênio (Mo) desempenham funções específicas, em diversos processos metabólicos, atuando como componentes ou cofatores de enzimas e proteínas envolvidas no metabolismo vegetal, na defesa antioxidante e, no caso de determinados elementos, na assimilação e no metabolismo do nitrogênio.

Em condições de estresse, a disponibilidade adequada desses elementos pode contribuir para a manutenção do metabolismo celular e para o funcionamento dos sistemas antioxidantes, reduzindo os danos associados ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células vegetais (Pandey, 2020).

Dessa forma, o tratamento de sementes com bioinsumos e micronutrientes atua como uma estratégia integrada de mitigação de estresses abióticos, durante as fases iniciais de desenvolvimento das plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes da Universidade de Rio Verde (UniRV), localizado no município de Rio Verde, Goiás, Brasil (17°47'6.53"S, 50°57'40.80"W; altitude de 760 m). Foram utilizadas sementes da cultivar de soja Brasmax Olimpo IPRO. A escolha da cultivar baseou-se em seu elevado potencial produtivo e em ampla adaptação às condições edafoclimáticas da região Centro-Oeste do Brasil.

Previamente à instalação dos experimentos, foi determinada a qualidade fisiológica inicial do lote de sementes por meio dos testes de germinação e da massa de mil sementes. A cultivar Brasmax Olimpo IPRO apresentou germinação de 90% e a massa de mil sementes de 180 g. O lote apresentou percentual de germinação superior ao padrão mínimo estabelecido para a comercialização de sementes de soja no Brasil (Brasil, 2025), evidenciando adequada qualidade fisiológica inicial para a condução dos experimentos.

As sementes foram submetidas ao tratamento (TS) com os bioinsumos comerciais BioAsis® composto por *Bacillus aryabhattai* CBMAI 1120 $2,1 \times 10^{12}$ endósporos viáveis L⁻¹; *Bacillus circulans* CCT 0026 $3,0 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹ e *Bacillus haynesii* CCT 7926 $8,8 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹; Auras® (*Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 1×10^8 unidade formadora de colônias mL⁻¹); Vital®, constituído por extrato à base da alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo (P₂O₅ 10,2 g L⁻¹) e molibdênio (Mo 10,2 g L⁻¹); Lança®, composto por nitrogênio (N 65,1 g L⁻¹), cobre (Cu 304 g L⁻¹), molibdênio (Mo 84,0 g L⁻¹) e zinco (Zn 619 g L⁻¹).

As doses dos produtos seguiram recomendações de bula para tratamento de sementes de soja. Os tratamentos de sementes foram realizados individualmente para cada produto, visando garantir distribuição uniforme da calda e a adequada cobertura das sementes. O controle foi composto por sementes não tratadas, que não receberam a aplicação de nenhum dos produtos avaliados. Após o tratamento, as sementes foram mantidas em condições controladas por duas horas, até a instalação do experimento (Machado, 2023).

As sementes de cada tratamento foram distribuídas em papel toalha (Germitest®) umedecido com água destilada na proporção equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Posteriormente, foram transferidas para germinadores do tipo Mangeldorf, onde foram submetidas às temperaturas de 5, 25, 35 e 40 °C.

Os procedimentos de instalação seguiram os critérios metodológicos recomendados pelas Regras para Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2025), que estabelecem a temperatura de 25 °C como ideal para a espécie.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×4 , correspondendo a cinco tratamentos (controle, BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança®) e quatro temperaturas de incubação (5, 25, 35 e 40 °C), com quatro repetições.

3.2 Avaliações fisiológicas

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos testes de germinação, primeira contagem de germinação, comprimento e massa seca de raiz e parte aérea de plântulas de soja.

A germinação foi determinada aos oito dias, após a semeadura, considerando-se a porcentagem de plântulas normais, de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2025). Além disso, também foram registradas as porcentagens de plântulas anormais e sementes mortas. A primeira contagem de germinação foi realizada aos cinco dias, após a semeadura, considerando-se a porcentagem de plântulas normais.

Ao final do teste de germinação, foram selecionadas aleatoriamente 10 plântulas normais por repetição para determinação do comprimento da raiz e da parte aérea. As mensurações foram realizadas com auxílio de régua graduada em centímetros. O comprimento radicular foi determinado da extremidade da raiz primária até o colo da plântula e o comprimento da parte aérea do colo até o ápice da plântula. Os resultados foram expressos em cm plântula^{-1} .

Posteriormente, as plântulas foram separadas em raiz e parte aérea, acondicionadas em sacos de papel Kraft e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas. Após a secagem, a massa seca foi determinada em balança analítica de precisão de (0,0001 g), os resultados foram expressos em g plântula^{-1} .

3.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Quando necessário, foram realizadas transformações para atendimento aos pressupostos da análise estatística.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para os fatores qualitativos, quando constatada significância pelo teste F da análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% e 5% de probabilidade. As temperaturas de incubação, por constituírem fator quantitativo, foram submetidas à análise de regressão, sendo ajustados modelos de acordo com a significância dos coeficientes e a interpretação biológica dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

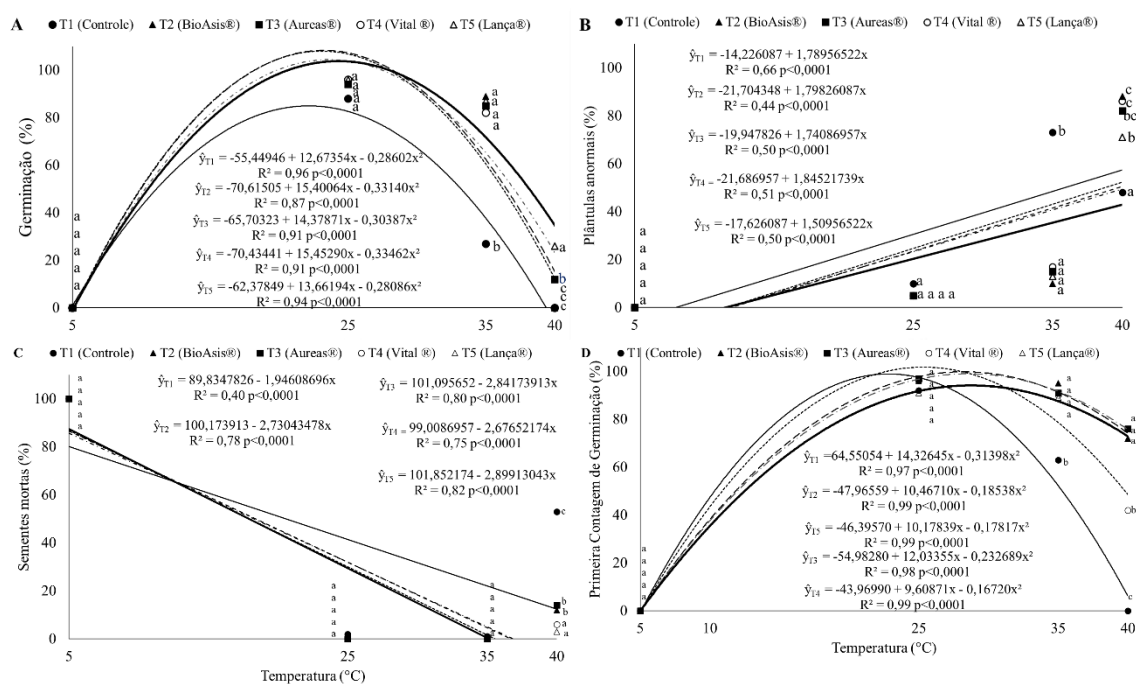


FIGURA 1 - Germinação (A), plântulas anormais (B), sementes mortas (C) e primeira contagem de germinação (D) de sementes de soja cultivar Olimpo submetidas a diferentes tratamentos de sementes em função da temperatura. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

A temperatura influenciou significativamente na germinação das sementes, e todos os tratamentos apresentaram ajuste quadrático (Figura 1A). As temperaturas ótimas estimadas variaram entre 22,2 e 24,3 °C, sendo 22,2 °C para o tratamento controle e 23,2; 23,7; 23,1 e 24,3 °C para BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança®, respectivamente. Esses valores são próximos à faixa de temperatura recomendada pelas Regras para Análise de Sementes, que estabelecem temperatura constante de 25 °C ou alternada de 20 a 30 °C para a condução do

teste de germinação em sementes de soja (Brasil, 2025). A redução da germinação em temperaturas superiores demonstrou que o incremento térmico acima da faixa ótima compromete o desempenho fisiológico das sementes, provavelmente em decorrência do aumento da respiração, da desorganização das membranas celulares e do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (Farooq *et al.*, 2021).

Na temperatura de 5 °C, todos os tratamentos apresentaram baixa germinação, sem diferenças estatísticas, evidenciando que temperaturas muito inferiores ao intervalo ideal restringem a embebição, retardam a atividade enzimática e limitam a mobilização das reservas necessárias ao início do desenvolvimento da plântula. Aos 25 °C, a germinação foi superior a 85% em todos os tratamentos, sem diferenças significativa ($P > 0,05$) entre eles. Entretanto, aos 35 °C, o tratamento controle apresentou menor germinação em comparação aos tratamentos comerciais, diferença que se tornou mais evidente aos 40 °C, quando BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança® mantiveram porcentagens de germinação superiores às do controle. Esses resultados indicaram que os tratamentos contribuíram para reduzir os efeitos do estresse térmico sobre a qualidade fisiológica das sementes. Temperaturas em torno de 40 °C representam uma condição de estresse térmico capaz de promover alterações na conformação e na estabilidade das proteínas das sementes de soja, favorecendo sua desnaturação e degradação, além de comprometer processos metabólicos essenciais à germinação e ao vigor das sementes (KRISHNAN *et al.*, 2020).

Por outro lado, a maior germinação observada nas sementes tratadas pode associar-se à capacidade dos tratamentos de favorecer mecanismos relacionados à manutenção da integridade celular e do equilíbrio metabólico durante a germinação. Bactérias promotoras de crescimento, como espécies do gênero *Bacillus*, podem estimular a produção de fitormônios, aumentar a atividade de enzimas antioxidantes e favorecer o equilíbrio redox das células, enquanto micronutrientes como zinco, cobre e molibdênio atuam como cofatores enzimáticos envolvidos na manutenção do metabolismo e na proteção contra o estresse oxidativo, contribuindo para reduzir os danos associados às altas temperaturas (Tounekti *et al.*, 2020; Awan *et al.*, 2023).

A incidência de plântulas anormais (Figura 1B) aumentou linearmente com a elevação da temperatura em todos os tratamentos, demonstrando que o estresse térmico comprometeu progressivamente o desenvolvimento normal das plântulas. Na temperatura de 5 °C, não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Aos 25 °C, a porcentagem de plântulas anormais permaneceu baixa e semelhante entre eles, refletindo condições favoráveis ao processo germinativo. Contudo, aos 35 °C, o tratamento controle apresentou maior incidência de

plântulas anormais em relação aos demais tratamentos. A temperatura de 40 °C, BioAsis® apresentou a maior porcentagem de plântulas anormais, seguido por Auras® e Lança®, enquanto Vital® apresentou comportamento intermediário. O aumento da porcentagem de plântulas anormais, em temperaturas elevadas evidencia que, embora alguns tratamentos preservem a germinação, o excesso de calor continua comprometendo processos fisiológicos e metabólicos essenciais, ao desenvolvimento normal das plântulas, resultando em alterações morfológicas e redução do vigor (Sartori *et al.*, 2022).

A porcentagem de sementes mortas (Figura 1C) apresentou comportamento linear decrescente com o aumento da temperatura. Os maiores percentuais ocorreram a 5 °C, reduzindo progressivamente até aproximadamente 35 °C. Esse comportamento demonstrou que temperaturas muito baixas foram mais prejudiciais à sobrevivência das sementes do que temperaturas moderadamente elevadas. Na menor temperatura, não houve diferenças significativas, entre os tratamentos. Aos 25 e 35 °C, todos apresentaram baixa porcentagem de sementes mortas. Entretanto, aos 40 °C, o tratamento controle apresentou maior mortalidade em comparação aos tratamentos comerciais, os quais permaneceram estatisticamente semelhantes entre si. Esses resultados reforçaram a hipótese de que os tratamentos de sementes contribuíram para preservar a viabilidade das sementes sob condições de alta temperatura.

Os resultados deste estudo corroboraram com relatos da literatura que demonstraram o potencial do tratamento de sementes para atenuar efeitos do estresse térmico durante a germinação. Na cultura da soja, estudos recentes verificaram que a aplicação de bioestimulantes via tratamento de sementes favoreceu a manutenção da qualidade fisiológica quando as sementes enfrentam temperaturas acima da faixa considerada ideal. Nesses trabalhos, sementes tratadas apresentaram maior capacidade de germinação e melhor desempenho no estabelecimento inicial das plântulas, em comparação às sementes não tratadas, indicando que esses produtos podem contribuir para minimizar os danos provocados pelo calor excessivo (Crivellaro *et al.*, 2025; Sivarathri *et al.*, 2025).

Embora os tratamentos tenham proporcionado maior manutenção da viabilidade das sementes, nas temperaturas mais elevadas, o aumento da ocorrência de plântulas anormais evidenciou que a proteção conferida não foi suficiente para impedir completamente os efeitos do estresse térmico sobre o desenvolvimento inicial. Esse comportamento sugere que, mesmo quando a germinação é preservada, temperaturas elevadas continuam interferindo em processos fisiológicos essenciais ao crescimento das plântulas, comprometendo seu desenvolvimento normal. Dessa forma, os resultados reforçaram que o tratamento de sementes pode reduzir os

impactos do estresse térmico, mas não elimina os efeitos deletérios provocados por temperaturas acima da faixa ótima para a germinação.

A primeira contagem de germinação (Figura 1D) também apresentou resposta quadrática para todos os tratamentos, com temperaturas ótimas estimadas entre 22,8 e 28,7 °C. O tratamento controle apresentou temperatura ótima de 22,8 °C, enquanto BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança® apresentaram máximos estimados de 28,2; 25,9; 28,7 e 28,6 °C, respectivamente.

O deslocamento da temperatura ótima para valores mais elevados, observado principalmente para BioAsis®, Vital® e Lança®, indica que esses tratamentos favoreceram a manutenção do vigor das sementes sob temperaturas superiores às consideradas ideais para a germinação. Esse resultado demonstraram que os tratamentos não apenas preservaram a capacidade germinativa das sementes, mas também favoreceram a velocidade de emissão de plântulas normais, característica diretamente relacionada ao vigor e ao potencial de estabelecimento da cultura em campo.

Na temperatura de 5 °C, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, refletindo o efeito limitante da baixa temperatura sobre a velocidade de germinação. Aos 25 °C, todos os tratamentos apresentaram elevada primeira contagem, sem diferenças estatísticas. Entretanto, aos 35 °C, o tratamento controle apresentou menor porcentagem de plântulas normais na primeira contagem em comparação aos tratamentos comerciais. Essa diferença tornou-se ainda mais evidente a 40 °C, quando o controle sofreu redução acentuada da velocidade de germinação, enquanto BioAsis®, Auras®, Vital® e Lança® mantiveram desempenho superior. Esses resultados indicaram que os tratamentos contribuíram para reduzir os efeitos do estresse térmico, sobre o vigor das sementes, favorecendo o estabelecimento mais rápido e uniforme das plântulas, mesmo em condições de temperatura elevada.

A primeira contagem de germinação é amplamente utilizada como teste de vigor, pois permite estimar a rapidez e a uniformidade do processo germinativo, sendo capaz de identificar diferenças no desempenho fisiológico entre lotes de sementes com germinação final semelhante (REED et al., 2022). Dessa forma, a manutenção de elevados valores dessa variável sob temperaturas de 35 e 40 °C sugere que os tratamentos favoreceram a tolerância das sementes ao estresse térmico, permitindo o estabelecimento mais rápido das plântulas mesmo sob condições adversas. Esse comportamento pode associar-se à preservação da integridade das membranas celulares, ao fortalecimento do sistema antioxidante e à maior eficiência na mobilização das reservas, durante as fases iniciais da germinação, mecanismos frequentemente

relacionados à maior tolerância ao estresse e ao aumento do vigor das sementes (Tounekti *et al.*, 2020; Awan *et al.*, 2023).

Além disso, espécies do gênero *Bacillus* podem produzir fitormônios, como auxinas e giberelinas, estimular a síntese de enzimas antioxidantes e reduzir o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, contribuindo para a manutenção da atividade metabólica durante a germinação sob estresse. Da mesma forma, micronutrientes como zinco, cobre e molibdênio participam da ativação de enzimas envolvidas na respiração celular, na proteção antioxidante e no metabolismo do nitrogênio, favorecendo maior estabilidade fisiológica das sementes submetidas a temperaturas elevadas

De maneira geral, os resultados demonstraram que a resposta fisiológica das sementes de soja à temperatura depende, tanto da intensidade do estresse térmico ou do tratamento empregado. Enquanto a germinação apresentou temperatura ótima entre 22,2 e 24,3 °C, a primeira contagem indicou que alguns tratamentos deslocaram a máxima expressão do vigor para temperaturas próximas de 28 °C. Esse comportamento sugeriu que, embora a temperatura ideal para a germinação final permaneça praticamente inalterada, determinados tratamentos de sementes aumentaram a estabilidade fisiológica, durante as etapas iniciais da germinação, reduzindo parcialmente os efeitos do calor sobre o desempenho das sementes.

A maior estabilidade observada provavelmente relaciona-se à manutenção da organização das membranas celulares e da atividade enzimática, durante as primeiras fases da germinação, permitindo que as sementes completem mais rapidamente os processos de embebição, mobilização de reservas e crescimento do eixo embrionário, mesmo sob temperaturas supraótimas. De acordo com o IPCC (2023), o aumento da frequência, da intensidade e da duração dos eventos de calor constitui uma das principais consequências das mudanças climáticas. Nesse contexto, estratégias capazes de atenuar os efeitos do estresse térmico durante a germinação e o estabelecimento inicial das culturas assumem papel relevante para a manutenção da produtividade agrícola.

Embora neste estudo as sementes tenham permanecido submetidas continuamente às temperaturas estabelecidas, essa condição difere da realidade encontrada em campo, sendo que a temperatura do solo apresentou oscilações ao longo do dia. Assim, a capacidade dos tratamentos em manter elevada a germinação e, principalmente, o vigor das sementes sob temperaturas elevadas indicou potencial para minimizar os efeitos de episódios de estresse térmico durante o estabelecimento da cultura. Entretanto, esses resultados foram obtidos em condições controladas, e estudos em condições de campo ainda são necessários para confirmar a eficiência dos tratamentos, diante da variabilidade de fatores ambientais, que caracterizam os

sistemas de produção agrícola. Além disso, a interação entre temperatura, disponibilidade hídrica, características do solo e condições climáticas pode influenciar a resposta fisiológica das sementes, tornando indispensável a validação desses resultados em ambientes de produção (Anghla *et al.*, 2025).

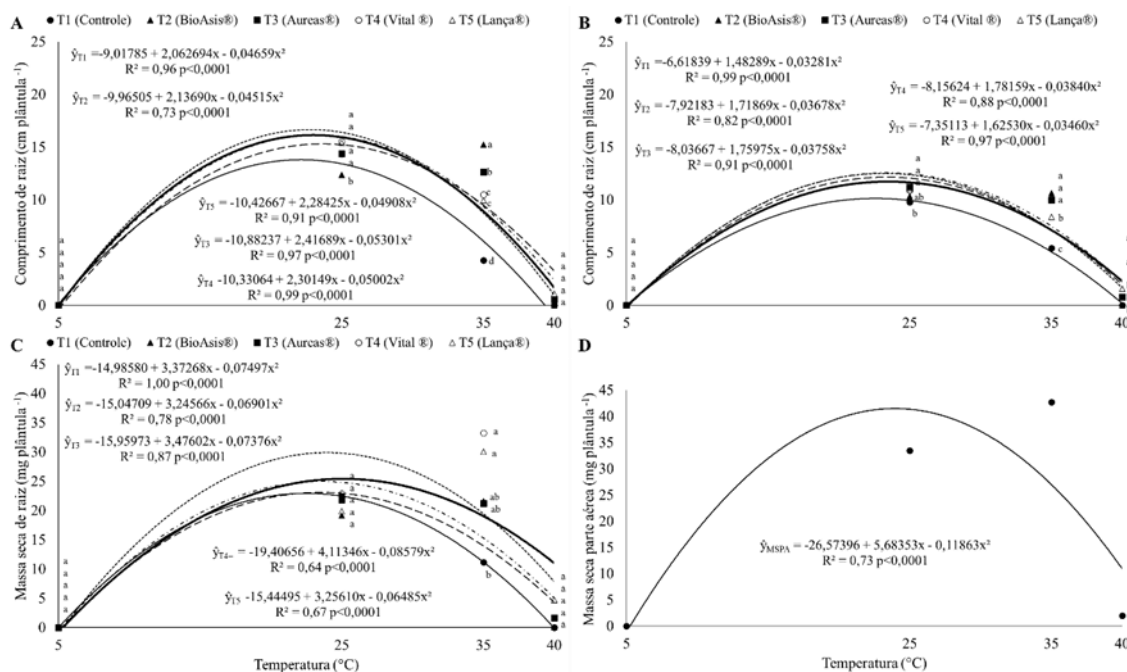


FIGURA 2 - Comprimento da raiz (A), comprimento da parte aérea (B), massa seca da raiz (C) e massa seca da parte aérea (D) de plântulas de soja cultivar Olimpo oriundas de sementes submetidas a diferentes tratamentos em função da temperatura de germinação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

O comprimento da raiz (Figura 2A) foi significativamente influenciado pela temperatura, apresentando ajuste quadrático para todos os tratamentos. De modo geral, observou-se incremento do crescimento radicular com o aumento da temperatura até uma faixa ótima, seguido por redução acentuada nas temperaturas mais elevadas. Esse comportamento evidenciou a forte dependência dos processos de divisão e expansão celular, em relação à temperatura, uma vez que tanto condições de frio ou de calor excessivo limitam o desenvolvimento inicial das plântulas. Além disso, o crescimento radicular constitui um dos parâmetros mais sensíveis ao estresse térmico, pois depende da intensa atividade meristemática e da contínua expansão celular, processos altamente influenciados pelas condições ambientais.

Na temperatura de 5 °C, não foram observadas diferenças significativas, entre os tratamentos, indicando que a baixa temperatura limitou o crescimento radicular independentemente do tratamento aplicado. Aos 25 °C, todos os tratamentos promoveram

elevado comprimento de raiz, sem diferenças estatísticas entre si. Entretanto, sob estresse térmico moderado (35 °C), as sementes tratadas com BioAsis® originaram plântulas com maior desenvolvimento radicular, seguidas por aquelas tratadas com Auras®, Vital® e Lança®, enquanto o tratamento controle apresentou o menor comprimento de raiz.

Na temperatura extrema de 40 °C, ocorreu redução acentuada do crescimento radicular em todos os tratamentos, não sendo observadas diferenças estatísticas entre eles (Figura 2A).

O comprimento da parte aérea (Figura 2B) também apresentou comportamento quadrático em resposta à temperatura. Na temperatura de 5 °C, os tratamentos não diferiram entre si, refletindo a limitação metabólica imposta pelo frio. Aos 25 °C, os tratamentos BioAsis®, Vital® e Lança® proporcionaram maior comprimento da parte aérea em comparação ao controle, enquanto o Auras® apresentou desempenho intermediário. Aos 35 °C, o BioAsis® manteve superioridade em relação ao controle, demonstrando maior capacidade de sustentar o crescimento da parte aérea sob condição de estresse térmico moderado. Contudo, a 40 °C verificou-se redução expressiva do crescimento em todos os tratamentos, evidenciando os efeitos deletérios do calor excessivo sobre o desenvolvimento das plântulas.

A redução do crescimento observada nas temperaturas extremas está diretamente relacionada às alterações fisiológicas provocadas pelo estresse térmico. Em temperaturas inferiores à faixa ótima, ocorreu diminuição da atividade metabólica, redução da fluidez das membranas celulares, menor atividade enzimática e atraso na mobilização das reservas armazenadas na semente. Em contrapartida, temperaturas elevadas intensificaram a respiração celular, aumentaram a produção de espécies reativas de oxigênio e comprometeram a integridade das membranas, reduzindo a capacidade de divisão e alongamento celular (Taiz *et al.*, 2024; Carvalho E Nakagawa, 2012).

A massa seca da raiz (Figura 2C) apresentou ajuste quadrático significativo, indicando incremento da produção de biomassa até temperaturas próximas da faixa ótima de germinação. Na temperatura de 5 °C, os tratamentos não diferiram entre si. Aos 25 °C, todos apresentaram elevado acúmulo de massa seca radicular, sem diferenças estatísticas. Entretanto, aos 35 °C, os tratamentos Vital® e Lança® promoveram maior acúmulo de biomassa na raiz, em comparação ao controle, evidenciando efeito positivo desses produtos na mitigação do estresse térmico moderado. Na temperatura de 40 °C, observou-se redução da massa seca, em todos os tratamentos, confirmando o efeito limitante do estresse térmico severo, sobre o acúmulo de biomassa.

A massa seca da parte aérea (Figura 2D) também apresentou resposta quadrática significativa, com temperatura ótima estimada próxima de 24 °C. O acúmulo de biomassa

aumentou até essa faixa térmica e reduziu-se nas temperaturas superiores. Embora tenha sido observado elevado acúmulo de massa seca até 35 °C, a temperatura de 40 °C promoveu redução expressiva da massa seca da parte aérea, demonstrando que o calor excessivo comprometeu a produção de biomassa, mesmo quando a germinação ainda ocorreu.

Os modelos ajustados para as variáveis de crescimento indicaram que a faixa de temperatura entre aproximadamente 22 e 25 °C proporcionou condições mais favoráveis para o desenvolvimento inicial das plântulas. Essa resposta coincide com a faixa considerada ideal para a germinação da soja (Brasil, 2025), evidenciando que os processos de germinação e crescimento inicial apresentaram exigências térmicas semelhantes.

Para a variável massa seca da parte aérea não observou-se interação significativa entre temperatura e tratamento de sementes ($p > 0,05$), indicando que a resposta dos tratamentos não dependeu da temperatura de germinação. Entretanto, houve efeito significativo dos tratamentos quando analisados isoladamente. O tratamento Lança® proporcionou a maior massa seca da parte aérea (25,01 mg plântula⁻¹), diferindo estatisticamente do controle (13,56 mg plântula⁻¹). Os tratamentos Vital® (22,97 mg plântula⁻¹), Auras® (18,99 mg plântula⁻¹) e BioAsis® (17,27 mg plântula⁻¹) apresentaram valores intermediários, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

A ausência de interação significativa entre temperatura e tratamento indicou que o efeito dos tratamentos sobre a massa seca da parte aérea foi semelhante entre as temperaturas avaliadas. O tratamento Lança®, por exemplo, promoveu incremento de aproximadamente 84% na massa seca da parte aérea em relação ao controle, demonstrando maior acúmulo de biomassa nessa variável, independentemente da temperatura de germinação.

De maneira geral, as diferenças entre os tratamentos foram mais evidentes nas temperaturas de 25 e 35 °C, enquanto nas condições extremas de 5 e 40 °C os efeitos limitantes da temperatura foram mais pronunciados. A 5 °C, a redução do crescimento pode associar-se à menor atividade metabólica e à redução da velocidade dos processos relacionados à germinação e ao crescimento inicial. Por outro lado, a 40 °C, a redução do crescimento pode relacionar-se ao aumento da atividade respiratória, ao desequilíbrio metabólico e ao estresse oxidativo, fatores que podem limitar o desenvolvimento das plântulas (Bitá; Gerats, 2013; Hasanuzzaman *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa bibliográfica realizada e dos resultados observados, durante a condução do experimento, destacam-se as seguintes conclusões:

A temperatura influenciou significativamente a qualidade fisiológica das sementes de soja, e a faixa entre 22 e 25 °C mostrou-se mais adequada para a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. Temperaturas extremas, tanto de frio (5 °C) quanto de calor (40 °C) reduziram a germinação, o vigor e o crescimento das plântulas.

Os tratamentos de sementes com bioinsumos e nutrientes apresentaram potencial para atenuar os efeitos do estresse térmico, favorecendo a manutenção da germinação e vigor, principalmente sob temperaturas elevadas (35 e 40 °C).

Entre os tratamentos avaliados, BioAsis® destacou-se pelo maior crescimento radicular sob estresse térmico moderado, enquanto Lança® promoveu maior acúmulo de massa seca da parte aérea.

Os resultados demonstraram que o potencial do tratamento de sementes com bioinsumos e micronutrientes valida-se como estratégia para favorecer o estabelecimento inicial da cultura da soja em ambientes sujeitos ao estresse térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD GHANI, R. *et al.* Influence of temperature and variety on seed germination of soybean (*Glycine max* L. Merr.) at different germination times. **Acta Agraria Debreceniensis**, n°. 2, p. 5–12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.34101/actaagrar/2/13171>. Acesso em: 24 jun. 2026.

ANGHLA, L. C. *et al.* Assessment of seed priming for mitigating abiotic stress and improving growth of horticultural crops: a review. **Discover Applied Sciences**, v. 7, art. 1423, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-08054-2>. Acesso em: 24 jun. 2026.

ARAVINDAN, S.; KUMAR, S. Significance of seed treatment in management of plant diseases. In: Seed treatment in plant disease management. **Boca Raton: CRC Press**, 2025. p. 192–213. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003531944-10>. Acesso em: 24 jun. 2026.

AWAN, S. A. *et al.* Pre-treatment of melatonin enhances the seed germination responses and physiological mechanisms of soybean (*Glycine max* L.) under abiotic stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, art. 1149873, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1149873>. Acesso em: 24 jun. 2026.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Springer Science & Business Media, 2013.

BITA, C. E.; GERATS, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, art. 273, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>. Acesso em: 24 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA, 2025.

BROADLEY, M. R. *et al.* Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, nº. 4, p. 677–702, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>. Acesso em: 24 jun. 2026.

BUTLER, T. J. *et al.* Temperature affects the germination of forage legume seeds. **Crop Science**, v. 54, nº. 6, p. 2846–2853, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0063>. Acesso em: 24 jun. 2026.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ª. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

CHENG, L.-B. *et al.* Proteomic analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds during imbibition at chilling temperature. **Molecular Breeding**, v. 26, nº. 1, p. 1–17, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S11032-009-9371-Y>. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26**, 9º levantamento, junho 2026. Brasília, DF: CONAB, 2026.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, nº. 5, p. 669–678, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>. Acesso em: 24 jun. 2026.

CRIVELLARO, K. S. *et al.* Biostimulants to mitigate heat stress in soybean seed germination. **Ciência e Natura**, v. 47, e87738, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X87738>. Acesso em: 24 jun. 2026.

FAROOQ, M. A. *et al.* Roles of reactive oxygen species and mitochondria in seed germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 781734, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781734>. Acesso em: 24 jun. 2026.

FIPKE, G. M.; DEAKIN, M.; TIECHER, S. Population density and spatial distribution of plants in soybean yield. **Agronomy Journal**, v. 114, nº. 4, p. 2115–2126, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1983.v18.15431>. Acesso em: 24 jun. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT: crops and livestock products. Rome: **FAO**, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 24 jun. 2026.

GIBSON, L. R.; MULLEN, R. E. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. **Crop Science**, v. 36, n°. 6, p. 1615–1619, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1996.0011183X003600060034X>. Acesso em: 24 jun. 2026.

GUTZAT, R. *et al.* RETINOBLASTOMA-RELATED PROTEIN controls the transition to autotrophic plant development. **Development**, v. 138, n°. 14, p. 2977–2986, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1242/dev.060830>. Acesso em: 24 jun. 2026.

HAMWIEH, A. *et al.* Engineering abiotic stresses in crops by using biotechnological approaches. In: Engineering tolerance in crop plants against abiotic stress. **Boca Raton: CRC Press**, 2024. p. 235–254. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b23132-8>. Acesso em: 24 jun. 2026.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n°. 5, p. 9643–9684, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>. Acesso em: 24 jun. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2023: synthesis report: contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). Teste de vigor de sementes. In: **Regras internacionais para testes de sementes**. Bassersdorf: ISTA, 2021. p. i-15–20.

KRISHNAN, H. B. *et al.* Effect of heat stress on seed protein composition and ultrastructure of protein storage vacuoles in soybean. **Plants**, v. 9, n°. 11, art. 1541, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms21134775>. Acesso em: 24 jun. 2026.

LU, J. *et al.* Effect of germination on nutritional quality of soybean. **Food Science and Technology**, v. 43, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.008323>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MACHADO, C. G. *et al.* Germination and vigor of soybean and corn seeds treated with mixed mineral fertilizers. **Plants**, v. 12, n°. 2, art. 338, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12020338>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n°. 1, p. 176–177, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Improving soybean development and grain yield by complementary inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Priestia*, and *Bacillus*. **Plants**, v. 14, n°. 3, art. 402, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14030402>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2^a. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, p. 363–374, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3^a. ed. London: Academic Press, 2012.

MILJAKOVIĆ, D. *et al.* Effect of plant growth promoting *Bacillus* spp. on germination and seedling growth of soybean. **Legume Research**, v. 45, n^o. 4, p. 487–491, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18805/LRF-665>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MISHRA, R. *et al.* Soybean (*Glycine max* L. Merrill): a multipurpose legume shaping our world. **Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology**, v. 25, n^o. 3-4, p. 17–37, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2024/v25i3-48643>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MONTOYA, M. A. *et al.* Uma nota sobre consumo de energia, emissões, renda e emprego na cadeia de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 73, n^o. 3, p. 345–369, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20190016>. Acesso em: 24 jun. 2026.

MOURÃO, R.; SILVA LINO, E. N. da. Expansão agrícola no Cerrado: o desenvolvimento do agronegócio no Estado de Goiás entre 2000 a 2019. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n^o. 79, p. 1–17, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG227951217>. Acesso em: 24 jun. 2026.

NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Heat stress responses and thermotolerance in soybean. In: MIRANSARI, M. (ed.). *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production*. **Academic Press**, 2016. p. 261–284. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00012-8>. Acesso em: 24 jun. 2026.

PANDEY, S. N. Role of micronutrients in biochemical responses of crops under abiotic stresses. In: *Plant nutrients and abiotic stress tolerance*. **Cham: Springer**, 2020. p. 93–112. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45669-6_4. Acesso em: 24 jun. 2026.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Plant Cell Reports**, v. 41, p. 1113–1153, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02876-8>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SAMO, N. *et al.* Polycomb repressive complex 2 facilitates the transition from heterotrophy to photoautotrophy during seedling emergence. **The Plant Cell**, v. 37, n^o. 7, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/plcell/koaf148>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SARTORI, A. *et al.* Effect of combined thermal and water stress on germination of wheat seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230003>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SHARMA, K. K. *et al.* Seed treatments for sustainable agriculture: a review. *Journal of Applied and Natural Science*, v. 7, n^o. 1, p. 521–539, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.31018/jans.v7i1.641>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SIVARATHRI, B. S. *et al.* Influence of seed-applied biostimulants on soybean germination and early seedling growth under low and high temperature stress. **Plant Physiology Reports**, v. 30, p. 32–44, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00834-z>. Acesso em: 24 jun. 2026.

STANIAK, M.; SZPUNAR-KROK, E.; KOCIRA, A. Responses of soybean to selected abiotic stresses—photoperiod, temperature and water. **Agriculture**, v. 13, n°. 1, art. 146, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010146>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SUO, R. *et al.* Low temperature and excess moisture affect seed germination of soybean (*Glycine max* L.) under controlled environments. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 104, n°. 4, p. 375–387, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjps-2023-0162>. Acesso em: 24 jun. 2026.

TAIZ, L. *et al.* **Plant physiology and development**. 7^a. ed. New York: Oxford University Press, 2024.

TOUNEKTI, T. *et al.* Priming improves germination and seed reserve utilization, growth, antioxidant responses and membrane stability at early seedling stage of Saudi sorghum varieties under drought stress. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n°. 2, p. 938–953, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nbha48211841>. Acesso em: 24 jun. 2026.

TSOTETSI, T. *et al.* Bacillus for plant growth promotion and stress resilience: What Have We Learned? **Plants**, v. 11, n°. 19, p. 2482, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11192482>. Acesso em: 24 jun. 2026.

VALDES, C.; GILLESPIE, J.; DOHLMAN, E. Soybean production, marketing costs, and export competitiveness in Brazil and the United States. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, **Economic Research Service**, 2023. Disponível em: https://www.ers.usda.gov/sites/default/files/_laserfiche/publications/108176/EIB-262.pdf. Acesso em: 24 jun. 2026.

WANG, X. *et al.* Comparison and evaluation of low-temperature tolerance of different soybean cultivars during the early-growth stage. **Agronomy**, v. 13, n°. 7, art. 1716, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13071716>. Acesso em: 24 jun. 2026.

ZHANG, X. *et al.* Integrated analysis of transcriptomic and proteomic data reveals novel regulators of soybean (*Glycine max*) hypocotyl development. **Functional Plant Biology**, v. 50, n°. 12, p. 1086–1098, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP23013>. Acesso em: 24 jun. 2026.