



Avaliação do Desenvolvimento Inicial de Soja (Glycine Max) A Partir de Diferentes Doses de Zinco e Boro Aplicados no Tratamento de Sementes

Evaluation Of The Initial Development Of Soybean (Glycine Max) Under Different Doses Of Zinc And Boron Applied In Seed Treatment

Ludmila Aparecida Rosa dos Santos

Osvaldo Silvério Soares Neto

Pedro Borges

Resumo: O presente estudo avaliou os efeitos de diferentes doses de zinco (Zn) e boro (B) aplicadas no tratamento de sementes sobre o desenvolvimento inicial de plântulas de soja (Glycine max L.) em condições de campo, em Patos de Minas, Minas Gerais, durante o ano de 2025. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições, considerando doses crescentes de micronutrientes e um tratamento controle sem aplicação. Foram avaliados parâmetros morfológicos essenciais para o vigor inicial das plântulas, incluindo altura da parte aérea, comprimento radicular, massa fresca e número de trifólios, aos 30 dias após a semeadura. Os resultados demonstraram que o incremento das doses de zinco e boro proporcionou aumento progressivo e significativo de todos os parâmetros analisados, indicando efeito sinérgico entre os micronutrientes sobre o desenvolvimento vegetativo das plântulas. Observou-se que a maior dose aplicada ($0,72 \text{ mL kg}^{-1}$ de sementes) resultou na altura máxima da parte aérea (38,0 cm), comprimento radicular (21,75 cm), maior massa fresca e maior número de trifólios (3,5 por plântula), evidenciando o impacto positivo da aplicação combinada de Zn e B. O efeito fisiológico desses micronutrientes está relacionado à síntese de triptofano e ácido indolacético (AIA), regulador hormonal que promove alongamento celular, formação de raízes laterais e expansão foliar, além de favorecer a divisão celular, integridade das paredes celulares e translocação de açúcares, garantindo maior absorção de água e nutrientes. Os resultados corroboram estudos prévios que indicam que o tratamento de sementes com micronutrientes favorece o vigor inicial, resistência a estresses ambientais e eficiência fotossintética das plântulas. Dessa forma, a aplicação estratégica de zinco e boro no tratamento de sementes de soja constitui uma prática agrônômica eficiente, promovendo estabelecimento uniforme e robusto da cultura, com potencial impacto positivo na produtividade final. Este estudo reforça a relevância do manejo nutricional precoce como ferramenta para otimização do crescimento inicial da soja, destacando a importância da aplicação equilibrada de micronutrientes para o desenvolvimento vegetativo e o sucesso da cultura.

Palavras-chave: soja; zinco; boro; vigor de plântulas.

Abstract: This study evaluated the effects of different doses of zinc (Zn) and boron (B) applied in seed treatment on the initial development of soybean (Glycine max L.) seedlings under field conditions in Patos de Minas, Minas Gerais, in 2025. The experiment was conducted using a randomized complete block design with five treatments and four replications, including increasing doses of micronutrients and a control without application. Morphological parameters essential for seedling vigor were assessed, including shoot height, root length, fresh biomass,

and number of trifoliolate leaves, at 30 days after sowing. The results showed that increasing doses of zinc and boron progressively and significantly enhanced all evaluated parameters, indicating a synergistic effect of these micronutrients on seedling vegetative growth. The highest dose applied (0.72 mL kg^{-1} of seeds) resulted in maximum shoot height (38.0 cm), root length (21.75 cm), fresh biomass, and number of trifoliolate leaves (3.5 per seedling), demonstrating the positive impact of combined Zn and B application. The physiological effect of these micronutrients is associated with tryptophan and indole-3-acetic acid (IAA) synthesis, a hormonal regulator that promotes cell elongation, lateral root formation, and leaf expansion, in addition to supporting cell division, cell wall integrity, and carbohydrate translocation, ensuring higher water and nutrient absorption. The findings corroborate previous studies showing that micronutrient seed treatments enhance initial vigor, environmental stress resistance, and photosynthetic efficiency in seedlings. Therefore, the strategic application of zinc and boron in soybean seed treatment constitutes an efficient agronomic practice, promoting uniform and robust crop establishment with potential positive effects on final yield. This study reinforces the importance of early nutritional management as a tool to optimize initial soybean growth, highlighting the relevance of balanced micronutrient application for vegetative development and overall crop success.

Keywords: soybean; zinc; boron; seedling vigor.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas de maior relevância econômica no mundo, sendo amplamente utilizada na alimentação humana e animal, além de servir como matéria-prima para diversos produtos industriais. O sucesso da cultura depende, em grande parte, da qualidade fisiológica das sementes e do estabelecimento inicial das plântulas, fatores que determinam o crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a produtividade final (Taiz, 2017).

O desenvolvimento inicial das plântulas de soja envolve a emergência radicular, alongamento do hipocótilo e expansão foliar, processos essenciais para a absorção eficiente de água e nutrientes. A qualidade das sementes e o tratamento aplicado influenciam diretamente essas características morfológicas, determinando o vigor inicial das plântulas e sua resistência a estresses ambientais (Nunes *et al.*, 2014).

O boro (B) é um micronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, desempenhando papel fundamental na divisão e alongação celular, na formação de paredes celulares e na fertilidade das flores. No caso da soja, o boro participa diretamente no metabolismo de açúcares e na translocação de carboidratos, influenciando o crescimento radicular e a expansão foliar (Taiz, 2017). Além disso, o boro está relacionado à síntese de triptofano, precursor do ácido indolacético (AIA), um hormônio auxínico que regula o alongamento celular, a formação de raízes laterais e o equilíbrio hormonal da planta (Delouche, 2021).

O zinco (Zn) é um micronutriente essencial para múltiplos processos fisiológicos das plantas, incluindo a ativação de enzimas envolvidas na síntese de proteínas e na formação de auxinas, como o ácido indolacético, que modula o crescimento vegetativo e o balanço hormonal (Taiz, 2017). O zinco também influencia a síntese

de triptofano, precursor crucial de auxinas, afetando o desenvolvimento radicular, a elongação do hipocótilo e a expansão foliar. Deficiências desse micronutriente podem comprometer a divisão celular e a atividade enzimática, resultando em plântulas com menor vigor e menor capacidade de absorção de água e nutrientes (Carvalho e Nakagawa, 1988; Nunes *et al.*, 2014).

O tratamento de sementes com diferentes doses de zinco e boro tem sido utilizado como estratégia para promover maior uniformidade e vigor das plântulas, influenciando parâmetros como altura, biomassa e desenvolvimento radicular. (Carvalho e Nakagawa, 1988). Outro fator relevante é a interação entre a qualidade fisiológica da semente e o nível de micronutrientes aplicado (Nunes *et al.*, 2014).

A justificativa do presente estudo baseia-se na importância de compreender como diferentes doses de zinco e boro aplicadas no tratamento de sementes influenciam o desenvolvimento inicial das plântulas de soja. Diante desse contexto, o problema de pesquisa que norteou o estudo foi: Quais são os efeitos das diferentes doses de zinco e boro no desenvolvimento inicial de plântulas de soja?

Assim, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes doses de zinco e boro aplicadas no tratamento de sementes sobre o desenvolvimento inicial das plântulas de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no dia 15 de agosto de 2025, no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em propriedade particular. A região apresenta altitude média de 850 metros e clima tropical de altitude (Cwa), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Weather Spark, 2025), caracterizado por verões chuvosos e invernos secos, com precipitação média anual de 1.400 mm. Durante o período experimental, foram registrados dados meteorológicos, com temperaturas médias variando entre 18°C e 26°C.

Foram avaliados os efeitos de diferentes doses de zinco (Zn) e boro (B) aplicadas no tratamento de sementes sobre o desenvolvimento inicial de plântulas de soja (*Glycine max*). O produto utilizado no tratamento de sementes foi o RayNitro Zinco + B, um complexo nutricional formulado especialmente para aplicação foliar e via tratamento de sementes, com o objetivo de promover equilíbrio nutricional e favorecer o desenvolvimento inicial das culturas.

A formulação garante 1,00% de boro (equivalente a 11,30 g/L) e 4,00% de zinco (45,20 g/L), ambos solúveis em água, o que assegura boa disponibilidade dos micronutrientes para absorção pela semente. Para a adubação de base, foi utilizado o fertilizante formulado 08-30-10, aplicado na dose correspondente a 300 kg ha⁻¹, ajustada proporcionalmente à área experimental. Essa adubação teve como finalidade fornecer fósforo, potássio e parte do nitrogênio necessário para o adequado estabelecimento das plântulas de soja, garantindo condições nutricionais iniciais favoráveis ao desenvolvimento das sementes tratadas com diferentes doses de zinco e boro.

Para a implantação do experimento, foi definida uma área composta por solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico, previamente preparado e corrigido quanto às condições físicas e químicas básicas para o cultivo. Antes da semeadura, o local foi devidamente limpo, realizando-se a remoção manual e mecânica de plantas daninhas, a fim de evitar a interferência de competição por luz, água e nutrientes durante o desenvolvimento das plântulas de soja, assegurando maior uniformidade nas condições experimentais.

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas experimentais.

Tabela 1- Descrição dos tratamentos em experimento realizado em fazenda particular no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em 2025.

Tratamentos	Dose de boro e zinco (ml.kg-1 de sementes)
T1 - Controle	0
T2 – Zinco e Boro	0,090 ml
T3 – Zinco e Boro	0,180 ml
T4 – Zinco e Boro	0,360 ml
T5 – Zinco e Boro	0,720 ml

Fonte: dados da pesquisa, 2025

As avaliações foram realizadas aos 30 dias após a semeadura, contemplando diferentes parâmetros morfológicos das plântulas de soja. A altura da parte aérea foi determinada medindo-se a distância entre o colo da planta e a extremidade da folha mais desenvolvida, utilizando régua milimetrada para garantir precisão. O crescimento radicular foi aferido após a retirada cuidadosa das plantas do solo, com lavagem das raízes em água corrente para a remoção do excesso de terra; em seguida, foi medido o comprimento da raiz principal, do colo da planta até a extremidade final, também com auxílio de régua milimetrada. A massa fresca foi obtida imediatamente após a coleta, separando-se parte aérea e raízes, que foram pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g), a fim de evitar perdas de umidade que poderiam comprometer a acurácia dos resultados. Por fim, o número de folhas foi contado manualmente em cada planta, considerando apenas folhas totalmente expandidas, de modo a padronizar a avaliação e reduzir possíveis erros de interpretação.

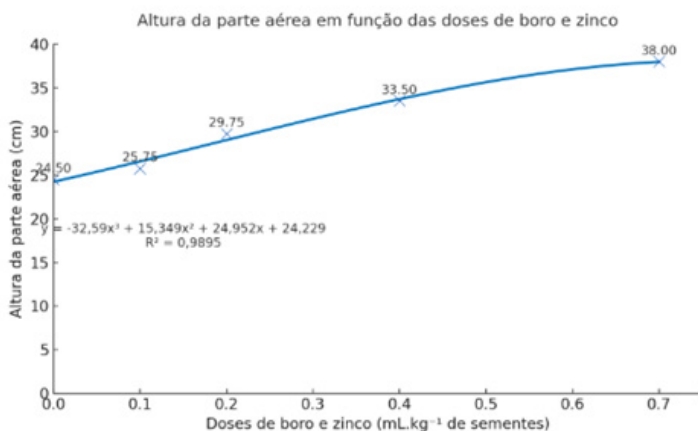
As médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA), e posteriormente as médias dos tratamentos foram submetidas à análise de regressão linear. Para as análises dos dados foi utilizado o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das análises realizadas, representados por meio de gráficos de regressão linear para cada um dos

parâmetros avaliados, altura da parte aérea, comprimento radicular, massa fresca e número de trifólios definidos das plântulas de soja. As regressões lineares permitem observar as tendências de resposta das plantas em função das diferentes doses de zinco e boro aplicadas no tratamento das sementes, possibilitando uma análise quantitativa da relação entre os níveis de micronutrientes e o desenvolvimento morfológico inicial das plântulas.

Gráfico 1 – Altura de parte aérea de plântulas de soja em função de doses de boro e zinco em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.



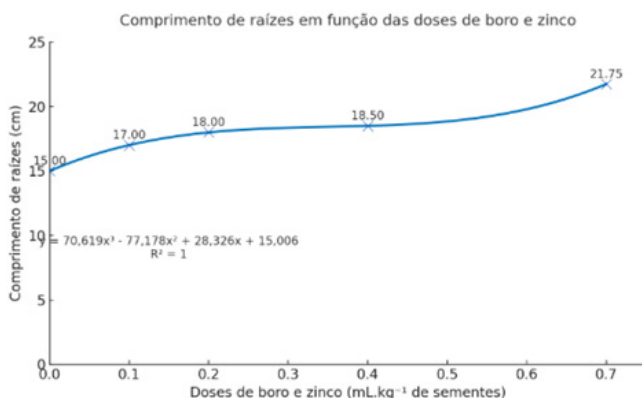
Fonte: dados da pesquisa, 2025.

O gráfico 1 apresenta a relação entre as doses de boro e zinco aplicadas no tratamento de sementes e a altura da parte aérea das plântulas de soja aos 30 dias após a semeadura. Observa-se uma tendência de aumento progressivo da altura conforme o incremento das doses, atingindo valor máximo de 38,0 cm na dose de 0,72 mL kg⁻¹ de sementes, indicando que a associação desses micronutrientes promoveu maior crescimento vegetativo. O ajuste do modelo polinomial apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9895$), demonstrando forte correlação entre as doses aplicadas e o desenvolvimento da parte aérea.

Esse comportamento pode ser atribuído à ação fisiológica do zinco e do boro na síntese e translocação de reguladores de crescimento vegetal, especialmente o ácido indolacético (AIA), uma auxina responsável pelo alongamento celular e pela expansão dos tecidos vegetais. Segundo Taiz *et al.* (2017) e Marschner (2012), o zinco atua como cofator enzimático na síntese de triptofano, precursor direto do AIA, enquanto o boro está envolvido na integridade da parede celular e na mobilidade de açúcares, fatores essenciais para o crescimento dos meristemas apicais. Estudos recentes corroboram esses resultados, indicando que o tratamento de sementes com micronutrientes favorece o vigor inicial e o crescimento da parte aérea da soja, resultando em maior eficiência fotossintética e melhor aproveitamento de nutrientes (Silva *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2023). Dessa forma, a resposta

positiva observada neste estudo reforça a importância do fornecimento equilibrado de zinco e boro na fase inicial de desenvolvimento da cultura, promovendo com.

Gráfico 2 – Comprimento de raízes de plântulas de soja em função de doses de boro e zinco em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.



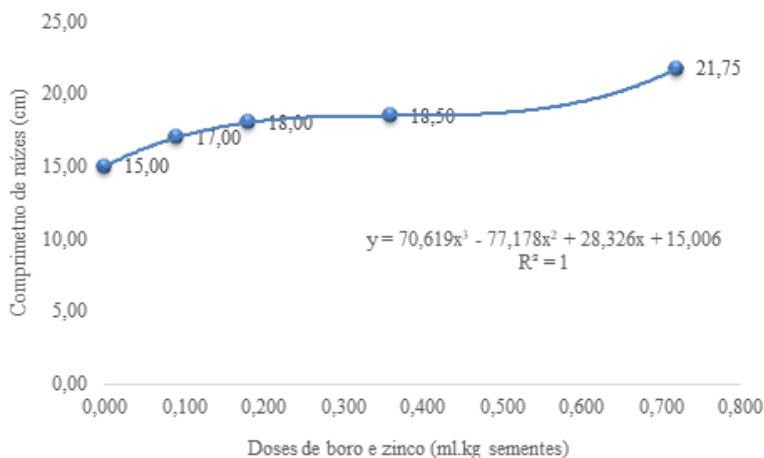
Fonte: dados da pesquisa, 2025.

O gráfico 2, mostra a variação do comprimento de raízes das plântulas de soja em função das diferentes doses de boro e zinco aplicadas no tratamento das sementes. Nota-se que o comprimento radicular aumentou progressivamente com o incremento das doses, atingindo 21,75 cm na maior dose (0,72 mL kg⁻¹ de sementes), o que representa um ganho expressivo em relação ao tratamento controle. O modelo polinomial apresentou coeficiente de determinação igual a 1,0 ($R^2 = 1$), evidenciando ajuste perfeito dos dados experimentais à curva de regressão e indicando resposta altamente consistente ao incremento dos micronutrientes.

O comportamento observado pode ser explicado pela ação conjunta do zinco e do boro na fisiologia radicular, especialmente na divisão celular, formação de raízes laterais e alongamento da raiz principal. O zinco participa da síntese de triptofano e de auxinas, como o ácido indolacético (AIA), que regula a diferenciação dos tecidos e o crescimento radicular (Taiz *et al.*, 2017; Marschner, 2012).

O boro, por sua vez, atua na formação da parede celular e na integridade das membranas plasmáticas, além de facilitar o transporte de açúcares e nutrientes para o meristema radicular, favorecendo o crescimento das raízes (Delouche, 2021; Silva *et al.*, 2022). Pesquisas recentes confirmam que o tratamento de sementes com micronutrientes promove maior vigor radicular e maior capacidade de absorção hídrica e nutricional, refletindo em plântulas mais resistentes a estresses iniciais (Oliveira *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2023). Assim, os resultados deste estudo indicam que a aplicação conjunta de zinco e boro potencializa o desenvolvimento do sistema radicular, contribuindo para um estabelecimento inicial mais eficiente da cultura da soja.

Gráfico 3 – Matéria fresca de plântulas de soja em função de doses de boro e zinco em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.



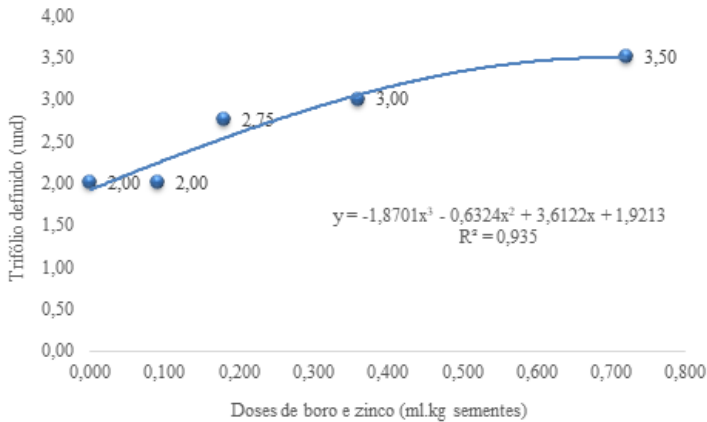
Fonte: dados da pesquisa, 2025.

O gráfico 3, apresenta a relação entre as doses de boro e zinco aplicadas no tratamento de sementes e o comprimento de raízes das plântulas de soja aos 30 dias após a semeadura. Observa-se um crescimento gradativo do sistema radicular à medida que as doses de micronutrientes aumentaram, alcançando o valor máximo de 21,75 cm na dose de 0,72 mL kg⁻¹ de sementes. O modelo polinomial ajustado apresentou coeficiente de determinação perfeito ($R^2 = 1,0$), indicando excelente ajuste dos dados e demonstrando que a variação do comprimento radicular está diretamente associada às doses de boro e zinco aplicadas. Esse resultado evidencia o efeito sinérgico desses micronutrientes sobre o desenvolvimento radicular, essencial para o vigor inicial e a absorção eficiente de água e nutrientes.

Do ponto de vista fisiológico, o zinco é indispensável à síntese de triptofano, aminoácido precursor do ácido indolacético (AIA), principal auxina vegetal envolvida no alongamento celular e na formação de raízes laterais (Taiz *et al.*, 2017; Marschner, 2012). Já o boro participa da divisão celular e da integridade das paredes celulares, além de favorecer a translocação de carboidratos para os tecidos de crescimento, o que contribui para maior expansão e ramificação radicular (Delouche, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2023), que verificaram incremento no comprimento e massa de raízes de soja tratadas com zinco e boro, atribuindo esse efeito à melhora no equilíbrio hormonal e na disponibilidade de açúcares e nutrientes para o meristema radicular. Assim, os resultados deste estudo reforçam que a aplicação combinada de zinco e boro no tratamento de sementes é uma prática eficiente para promover maior desenvolvimento radicular e vigor inicial em plântulas de soja, proporcionando um estabelecimento mais uniforme e produtivo da cultura.

Gráfico 4 – Trifólio definido de plântulas de soja em função de doses de boro e zinco em experimento realizado em Patos de Minas, Minas Gerais, 2025.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

O gráfico 4, apresenta a relação entre as doses de boro e zinco aplicadas no tratamento de sementes e número de trifólios das plântulas de soja aos 30 dias após a semeadura. Observa-se um crescimento gradativo do sistema radicular à medida que as doses de micronutrientes aumentaram, alcançando o valor máximo 3,5 trifolios médios por plântulas de soja.

Esse resultado evidencia o efeito do boro e zinco sobre o desenvolvimento vegetativo, e sua relação com os outros parâmetros avaliados. Do ponto de vista fisiológico, o zinco é precursor à síntese de triptofano, aminoácido precursor do ácido indolacético (AIA), principal auxina vegetal envolvida no alongamento celular e na formação de raízes, que por sua vez, estão relacionados diretamente com o crescimento vegetativo (Taiz *et al.*, 2017; Marschner, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a aplicação de doses crescentes de zinco e boro no tratamento de sementes de soja promoveu incremento significativo no desenvolvimento inicial das plântulas, evidenciado pelo aumento da altura da parte aérea, comprimento radicular, massa fresca e número de trifolios aos 30 dias após a semeadura. Os resultados indicam que a combinação desses micronutrientes atua de forma sinérgica, favorecendo o equilíbrio hormonal da planta, especialmente a síntese de ácido indolacético (AIA), e potencializando processos fisiológicos essenciais, como alongamento celular, divisão celular e translocação de carboidratos.

Dessa forma, a utilização de zinco e boro no tratamento de sementes mostra-se uma prática eficiente para promover maior vigor inicial das plântulas de soja, garantindo um estabelecimento mais uniforme e robusto da cultura.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.
- CARVALHO, Nelson Mendes de; NAKAGAWA, João. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988.
- DELOUCHE, J. C. **Physiological changes during storage that affect soybean seed quality**. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/357322846_Physiological_changes_during_storage_that_affect_soybean_seed_quality. Acesso em: 19 ago. 2025.
- DELOUCHE, James C. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 2021.
- FERREIRA, D. F. (2019). **Sisvar: A Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs**. Brazilian Journal of Biometrics, 37(4), 529–535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- MARSCHNER, Petra. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd ed. London: Academic Press, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>. Acesso em: 24 out. 2025.
- NUNES, José Cândido da Silva; MARTINS, Leandro Mota; SANTOS, Fábio da Silva. **Qualidade fisiológica de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de soja sob diferentes tratamentos**. Revista Brasileira de Sementes, v. 36, n. 4, p. 587–594, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbrsem/a/YD6R5dfvhZcQf5rWJgRRF4b/>. Acesso em: 24 out. 2025.
- NUNES, R. T. C.; UBIRATAN, O. S.; OTONIEL, M. M.; CAÍQUE, M. S. L. **Análise de imagens na avaliação da qualidade fisiológica de sementes**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 9, n. 5, p. 84-90, 2014.
- OLIVEIRA, Matheus Henrique de; BARROS, Leonardo José de; LIMA, Patrícia Ferreira de. **Tratamento de sementes de soja com micronutrientes: efeitos no vigor e crescimento inicial de plântulas**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 8, n. 2, p. 45–54, 2021. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/5952>. Acesso em: 24 out. 2025.
- QUIMIFOL. **RayNitro Zinco + B**. Disponível em: <https://quimifol.com.br/produto/raynitro-zinco-b>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- SANTOS, Rafael de Almeida; COSTA, Tiago Henrique da; PEREIRA, Juliana Souza. **Resposta da soja ao tratamento de sementes com zinco e boro**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 17, n. 1, p. 1–10, 2023. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/7814>. Acesso em: 24 out. 2025.
- SILVA, Camila Rodrigues da; GOMES, Henrique Luiz; REIS, Juliana Marques. **Desenvolvimento inicial da soja submetida a doses de zinco e boro no**

tratamento de sementes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 5, p. 355–362, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/4Hk3x7bJv9XkjpVSpfCPVHz/>. Acesso em: 24 out. 2025.

TAIZ, L. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 696 p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WEATHER SPARK. Clima de Patos de Minas, **Minas Gerais – Temperatura, Precipitação e Dados Meteorológicos**. 2025. Disponível em: <https://weatherspark.com/>. Acesso em: 19 ago. 2025

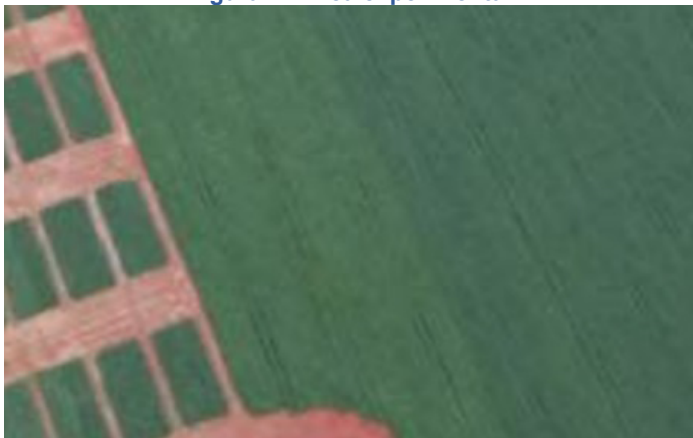
ANEXO A

Figura1 - Comparação de tratamentos.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 2 - Área experimental.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 3 - Desenvolvimento de mudas teste de sementes.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 4 - Avaliação de comprimento radicular.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 5 - Produto utilizado.



Fonte: autoria própria,2025.

Figura 6: Produto para aplicação no tratamento.



Fonte: autoria própria,2025.