

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE BORO NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM SOLO ARGILOSO**

DIEGO DE LIMA GALI PEREIRA

**JABOTICABAL - SP
2026**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE BORO NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM SOLO ARGILOSO**

DIEGO DE LIMA GALI PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Campus de Jaboticabal, como parte
das exigências para graduação em
Engenharia Agrônoma

**JABOTICABAL - SP
2026**

P436e	Pereira, Diego de Lima Gali Efeito de diferentes fontes e doses de boro na produtividade da cultura da soja em solo argiloso/Diego de Lima Gali Pereira. -- Jaboticabal, 2026 47 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Alexandre Barcellos Dalri 1. Adubação foliar. 2. boro. 3. boro efeito sobre as plantas. 4. micronutrientes. 5. soja. I. Título.
-------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Jaboticabal



Diego de Lima Gali Pereira

EFEITO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE BORO NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM SOLO ARGILOSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrônômica**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri

Coorientador (se houver):

Área de Concentração: Nutrição Vegetal

Trabalho aprovado em 30/06/2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri
UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal

Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal

Eng. Agr. Edson Mario Perussi
UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal

Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
Chefe do Departamento

aprovado "ad referendum" do Conselho em 03/07/2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar, proteger e conceder forças para superar os desafios ao longo desta trajetória.

Aos meus pais, Waldiléa e José Mauro, por todo amor, apoio, dedicação e pelos inúmeros sacrifícios realizados em prol da nossa família. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu irmão, Igor, pelo carinho, companheirismo e pelos ensinamentos compartilhados ao longo da vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” — UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal, pela formação acadêmica, pelas oportunidades e por todo aprendizado proporcionado. A FCAV foi fundamental para minha formação profissional e para meu amadurecimento pessoal, contribuindo para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

À minha eterna casa, República Viracopos, pelos momentos vividos, amizades construídas, aprendizados, comemorações, dificuldades e experiências que contribuíram para minha formação profissional e, principalmente, pessoal.

Ao grupo PET-Agro, por me acolher e proporcionar oportunidades de crescimento, permitindo que eu contribuísse com os alunos, com a comunidade de Jaboticabal e com a realização deste experimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri, pela confiança, ensinamentos, conselhos, discussões e parceria construída ao longo dos quatro anos de convivência na FCAV.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte dessa jornada e contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação. O meu mais sincero muito obrigado.

EFEITO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE BORO NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM SOLO ARGILOSO

Resumo: A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do mundo e apresenta elevada importância econômica para o agronegócio brasileiro. Entre os micronutrientes essenciais à cultura, o boro destaca-se por atuar no crescimento celular, florescimento, fecundação e formação de vagens. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de boro aplicadas via foliar sobre os componentes de rendimento e a produtividade da soja. O experimento foi conduzido em campo, no município de Jaboticabal-SP, utilizando a cultivar SOYTECH 711 I2X. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 13 tratamentos, compostos por uma testemunha sem aplicação foliar de boro e um esquema fatorial 3×4 , com três fontes de boro: ácido bórico, boro MEA e boro poliól; e quatro doses para cada fonte. As aplicações foram realizadas nos estádios V4, R1 e R4. Foram avaliados número de nós produtivos, hastes, vagens, massa de mil grãos e produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Não houve efeito significativo das fontes, doses ou da interação entre os fatores para as variáveis avaliadas. Houve efeito significativo dos blocos para número de nós produtivos, vagens e produtividade, indicando influência de fatores ambientais. A produtividade média foi de 2.108,37 kg ha⁻¹. Nas condições do experimento, as diferentes fontes e doses de boro não promoveram alterações significativas nos componentes de rendimento e na produtividade da soja.

Palavras-chave: Adubação foliar; boro; boro efeito sobre as plantas; micronutrientes; soja.

EFFECT OF DIFFERENT BORON SOURCES AND DOSES ON THE PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVATED IN CLAYEY SOIL

Abstract: Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the main agricultural crops worldwide and has great economic importance for Brazilian agribusiness. Among the essential micronutrients for this crop, boron stands out for its role in cell growth, flowering, fertilization, and pod formation. This study aimed to evaluate the effect of different boron sources and rates applied through foliar spraying on soybean yield components and productivity. The experiment was conducted under field conditions in Jaboticabal, São Paulo, Brazil, using the cultivar SOYTECH 711 I2X. The experimental design was a randomized complete block design, with four replications and 13 treatments, consisting of one control treatment without foliar boron application and a 3×4 factorial scheme, with three boron sources: boric acid, boron MEA, and boron polyol; and four rates for each source. Applications were performed at the V4, R1, and R4 growth stages. The number of productive nodes, stems, pods, thousand-grain weight, and grain yield were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test at 5% probability. There was no significant effect of boron sources, rates, or their interaction on the evaluated variables. A significant block effect was observed for the number of productive nodes, pods, and grain yield, indicating the influence of environmental factors. The average grain yield was $2,108.37 \text{ kg ha}^{-1}$. Under the conditions of this experiment, the different boron sources and rates did not significantly affect soybean yield components or grain yield.

Keywords: Foliar fertilization; boron; effects of boron on plants; micronutrients; soybean.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Cultura da soja	11
2.2 Boro na cultura da soja.....	13
2.3 Aplicação foliar de boro	15
2.4 Fontes de boro utilizadas na agricultura	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Local, clima e solo.....	18
3.2 Delineamento experimental.....	20
3.3 Cultivar e semeadura.....	21
3.4 Preparo do solo, adubação e instalação do experimento	21
3.5 Tratamentos e aplicação foliar de boro	24
3.6 Manejo fitossanitário.....	25
3.7 Variáveis analisadas.....	26
3.8 Análise estatística	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 Número de nós produtivos.....	29
4.2 Número de hastes	31
4.3 Número de vagens	32
4.4 Massa de mil grãos.....	35
4.5 Produtividade	37
4.6 Considerações finais.....	40
5. CONCLUSÃO	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas do mundo, devido à ampla utilização de seus grãos na alimentação humana, animal e em diversos segmentos industriais. No Brasil, a cultura ocupa posição central no agronegócio, sendo considerada a principal commodity agrícola produzida no país. Na safra 2024/2025, a produção brasileira foi estimada em aproximadamente 167,8 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 47,5 milhões de hectares, consolidando o país entre os maiores produtores mundiais da oleaginosa (CONAB, 2025). Além da relevância produtiva, a soja apresenta grande importância econômica para a balança comercial brasileira, uma vez que o complexo soja, composto principalmente por grãos, farelo e óleo, constitui um dos principais segmentos exportadores do agronegócio nacional. Em 2025, as exportações do agronegócio brasileiro totalizaram US\$ 169,2 bilhões, correspondendo a 48,5% de todo o valor exportado pelo Brasil, com destaque para a soja em grãos, que gerou US\$ 43,5 bilhões em receitas cambiais e volume embarcado recorde de 108,2 milhões de toneladas (BRASIL, 2026). Nas últimas décadas, a expansão da sojicultura brasileira esteve associada ao avanço do melhoramento genético, à adoção de cultivares adaptadas às condições tropicais e ao aperfeiçoamento das práticas de manejo utilizadas nas lavouras (SFREDO, 2008).

O elevado potencial produtivo da soja está diretamente relacionado à adoção de práticas adequadas de manejo, dentre elas o manejo nutricional. A disponibilidade equilibrada de nutrientes ao longo do ciclo da cultura é fundamental para o adequado crescimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo e formação dos componentes responsáveis pela produtividade. Nesse contexto, além dos macronutrientes tradicionalmente utilizados nos programas de adubação, os micronutrientes também

desempenham funções essenciais para o metabolismo vegetal e para a obtenção de elevados rendimentos (SFREDO, 2008).

Entre os micronutrientes, o boro destaca-se por participar de importantes processos fisiológicos relacionados à formação da parede celular, integridade das membranas, divisão celular, transporte de carboidratos e desenvolvimento reprodutivo das plantas. Além disso, o nutriente exerce papel fundamental na germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico, fecundação e formação de frutos e sementes, sendo considerado essencial para o adequado desenvolvimento da cultura da soja (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; PRADO, 2016).

Em função da importância desse micronutriente, a aplicação foliar de boro tem sido amplamente utilizada como estratégia complementar ao manejo nutricional da soja, especialmente durante os estádios reprodutivos da cultura. Entretanto, a eficiência dessa prática pode variar em função de fatores como a fonte utilizada, a dose aplicada, as condições ambientais e a disponibilidade prévia do nutriente na área (ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2003; DAMETO et al., 2022).

Atualmente, diferentes fontes de boro encontram-se disponíveis para utilização agrícola, destacando-se o ácido bórico, o boro complexado com monoetanolamina (MEA) e o boro complexado com polióis. Essas formulações apresentam características distintas quanto à disponibilidade, absorção e mobilidade do nutriente nas plantas, o que pode influenciar sua eficiência agronômica em condições de campo (HAVLIN et al., 2013; KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Embora o boro seja reconhecido como um nutriente essencial para o desenvolvimento da soja, os resultados encontrados na literatura quanto aos efeitos da aplicação foliar sobre os componentes de rendimento e a produtividade da cultura ainda são variáveis. Enquanto alguns estudos relatam respostas positivas ao

fornecimento do micronutriente, outros não observam incrementos significativos, evidenciando que a resposta das plantas depende da interação entre fatores nutricionais, ambientais e de manejo (DAMETO et al., 2022).

Diante desse cenário, torna-se importante ampliar o conhecimento sobre o comportamento de diferentes fontes e doses de boro em condições de cultivo a campo, contribuindo para o aperfeiçoamento das recomendações de manejo nutricional da cultura.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de boro aplicadas via foliar sobre os componentes de rendimento e a produtividade da cultura da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, destacando-se pela elevada produção de grãos e pela ampla utilização na alimentação humana, animal e na indústria. No Brasil, a cultura possui grande relevância econômica, sendo responsável por parcela significativa das exportações do agronegócio e contribuindo diretamente para o desenvolvimento do setor agrícola nacional (CONAB, 2025).

Botanicamente, a soja pertence à família Fabaceae e apresenta elevada capacidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo. Seu ciclo varia conforme a cultivar e as condições ambientais, sendo tradicionalmente dividido em estádios vegetativos e reprodutivos, conforme a escala proposta por Fehr e Caviness (1977). Essa classificação é amplamente utilizada em pesquisas e no manejo da

cultura, auxiliando na definição dos momentos mais adequados para realização de práticas agronômicas.

Uma das características mais importantes da cultura é sua capacidade de estabelecer associação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Esse processo permite que grande parte da demanda de nitrogênio da planta seja suprida naturalmente, reduzindo custos de produção e aumentando a sustentabilidade do sistema agrícola (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

Apesar da contribuição da fixação biológica de nitrogênio, a obtenção de altas produtividades depende do adequado suprimento de nutrientes ao longo de todo o ciclo da cultura. A soja apresenta elevada exigência nutricional, demandando macro e micronutrientes em quantidades equilibradas para o correto funcionamento dos processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetativo, florescimento, formação de vagens e enchimento dos grãos (SFREDO, 2008).

Os micronutrientes, embora requeridos em menores quantidades quando comparados aos macronutrientes, exercem funções essenciais no metabolismo vegetal. Entre eles, destaca-se o boro, elemento diretamente relacionado à formação da parede celular, crescimento de tecidos meristemáticos, transporte de carboidratos e desenvolvimento reprodutivo das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; PRADO, 2016). Em razão dessas funções, o manejo adequado desse micronutriente torna-se fundamental para a obtenção de elevados rendimentos na cultura da soja.

Dessa forma, considerando a importância econômica da cultura e a necessidade de aprimorar as práticas de manejo nutricional, estudos voltados à avaliação de diferentes fontes e doses de boro podem contribuir para o

aperfeiçoamento das recomendações técnicas e para a obtenção de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis.

2.2 Boro na cultura da soja

O boro (B) é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, participando de diversos processos fisiológicos relacionados à formação e manutenção das estruturas celulares. Apesar de ser exigido em pequenas quantidades, sua deficiência pode comprometer significativamente o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas, refletindo diretamente na produtividade (SHELP, 1993).

Entre as principais funções do boro nas plantas destacam-se sua participação na formação e estabilidade da parede celular, integridade das membranas plasmáticas, divisão celular, crescimento dos tecidos meristemáticos e transporte de carboidratos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Além disso, o micronutriente exerce papel fundamental no desenvolvimento reprodutivo, influenciando processos como a germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico, fecundação e formação de frutos e sementes (PRADO, 2016).

Na cultura da soja, o boro apresenta elevada importância durante os estádios reprodutivos, principalmente em fases relacionadas ao florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos. Segundo Prado (2017), a adequada disponibilidade desse micronutriente favorece o desenvolvimento das estruturas reprodutivas e contribui para a manutenção do potencial produtivo da cultura.

Embora a exigência quantitativa da soja em boro seja relativamente baixa quando comparada aos macronutrientes, a deficiência desse elemento pode ocasionar diversos prejuízos ao desenvolvimento da planta. Entre os principais sintomas observados destacam-se a redução do crescimento dos pontos

meristemáticos, deformação de folhas jovens, abortamento floral, redução da formação de vagens e menor enchimento dos grãos (SFREDO; BORKERT, 2004). Como consequência, podem ocorrer reduções significativas nos componentes de rendimento e na produtividade final da cultura.

Outro aspecto importante relacionado ao manejo do boro refere-se à sua baixa mobilidade no floema em diversas espécies vegetais. Dessa forma, o suprimento adequado do micronutriente deve ocorrer continuamente ao longo do desenvolvimento da planta, especialmente durante períodos de maior demanda fisiológica (MASCARENHAS; SOUZA; SANTOS, 2014). Em condições de deficiência, os sintomas geralmente surgem inicialmente nos tecidos mais jovens, em razão da limitada redistribuição do nutriente dentro da planta.

Além da deficiência, o excesso de boro também pode causar prejuízos ao desenvolvimento da cultura. A faixa entre deficiência e toxicidade é considerada relativamente estreita, exigindo atenção quanto às doses utilizadas e às estratégias de manejo adotadas (PRADO, 2016). Segundo Tomicioli et al. (2019), diferentes cultivares de soja podem apresentar respostas distintas aos níveis de boro disponíveis, evidenciando a importância de estudos voltados à definição de doses adequadas para diferentes condições de cultivo.

Dessa forma, o manejo criterioso do boro torna-se fundamental para a obtenção de elevados rendimentos na cultura da soja. A escolha adequada da fonte, da dose e do momento de aplicação pode contribuir para maximizar a eficiência de utilização do micronutriente e favorecer o desenvolvimento das estruturas responsáveis pela produção de grãos.

2.3 Aplicação foliar de boro

A aplicação foliar de nutrientes é uma prática amplamente utilizada na agricultura moderna como ferramenta complementar ao manejo da fertilidade do solo. Essa técnica possibilita o fornecimento rápido de nutrientes às plantas, sendo especialmente útil em situações nas quais a absorção radicular é limitada ou quando há necessidade de suprir demandas específicas em determinados estádios de desenvolvimento da cultura (PRADO, 2017).

No caso do boro, a aplicação foliar tem sido adotada com frequência na cultura da soja devido à sua participação em processos relacionados ao florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos. Como a demanda por esse micronutriente aumenta durante os estádios reprodutivos, a aplicação via foliar pode contribuir para complementar o suprimento nutricional da planta em momentos de maior exigência fisiológica (ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2003).

Entre as principais vantagens da aplicação foliar destacam-se a rápida absorção do nutriente, a possibilidade de correção de deficiências durante o ciclo da cultura e a utilização de menores quantidades de fertilizante quando comparadas às aplicações via solo. Além disso, essa técnica permite associar a aplicação de micronutrientes a operações fitossanitárias já realizadas na lavoura, reduzindo custos operacionais (PRADO, 2017).

Entretanto, a eficiência da aplicação foliar depende de diversos fatores, como condições ambientais, estágio de desenvolvimento da cultura, características da superfície foliar e propriedades físico-químicas da fonte utilizada. Temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e ocorrência de chuvas após a aplicação podem reduzir a absorção do nutriente e comprometer sua eficiência (HAVLIN et al., 2013).

Na cultura da soja, diversos estudos têm demonstrado que a resposta à aplicação foliar de boro pode variar em função das condições de cultivo, da disponibilidade prévia do nutriente no solo e da fonte utilizada. Dameto et al. (2022), avaliando diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja, verificaram que a magnitude das respostas produtivas está diretamente relacionada à interação entre as características da fonte e as condições ambientais durante o ciclo da cultura.

Dessa forma, a aplicação foliar de boro representa uma importante estratégia de manejo nutricional da soja. Contudo, a eficiência dessa prática depende não apenas da realização da aplicação, mas também da escolha adequada da fonte, da dose e do momento de fornecimento do micronutriente, fatores que podem influenciar diretamente a absorção e a utilização do boro pelas plantas.

2.4 Fontes de boro utilizadas na agricultura

Diversas fontes de boro podem ser utilizadas para suprir a demanda nutricional das culturas agrícolas, apresentando diferenças quanto à concentração do nutriente, solubilidade, mobilidade e comportamento após a aplicação. Essas características podem influenciar a eficiência de absorção e utilização do micronutriente pelas plantas, especialmente quando o fornecimento é realizado via foliar (HAVLIN et al., 2013).

Entre as fontes mais utilizadas destaca-se o ácido bórico, considerado uma das formas mais tradicionais de fornecimento de boro na agricultura. Sua ampla utilização está relacionada à elevada solubilidade em água e à rápida disponibilização do nutriente após a aplicação. Em função dessas características, o ácido bórico é frequentemente empregado para correção de deficiências e suplementação nutricional em diferentes culturas. Entretanto, devido à sua alta disponibilidade, aplicações em doses excessivas podem aumentar o risco de fitotoxicidade,

principalmente em condições ambientais desfavoráveis (DAMETO et al., 2022; PRADO, 2016).

Outra fonte amplamente utilizada é o boro complexado com monoetanolamina (MEA). Nessa formulação, o micronutriente encontra-se associado à molécula orgânica monoetanolamina, o que favorece a estabilidade da solução e pode proporcionar absorção mais gradual do nutriente pelas folhas. Além disso, a complexação tende a reduzir perdas por cristalização após a pulverização e diminuir os riscos de fitotoxicidade quando comparada a fontes de rápida liberação. Essas características tornam o boro MEA uma alternativa amplamente utilizada em aplicações foliares voltadas ao fornecimento complementar do micronutriente (PRADO, 2016; SALDANHA, 2024).

O boro complexado com polióis apresenta como principal característica a capacidade de formar complexos estáveis entre o micronutriente e compostos orgânicos ricos em grupos hidroxila. Essa associação favorece a mobilidade do boro após sua absorção, contribuindo para o transporte do nutriente para tecidos jovens e estruturas reprodutivas em desenvolvimento. Segundo Kirkby e Romheld (2007), a formação desses complexos pode aumentar a eficiência de redistribuição do boro dentro da planta, característica particularmente relevante em espécies nas quais a mobilidade natural desse micronutriente é limitada.

Embora as diferentes fontes apresentem características físico-químicas distintas, a resposta da cultura à aplicação de boro depende de diversos fatores, como a disponibilidade inicial do nutriente no solo, as condições ambientais, a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento da planta e a própria formulação utilizada. Dameto et al. (2022), avaliando diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja, verificaram que a magnitude das respostas agrônômicas está diretamente relacionada à

interação entre esses fatores, evidenciando que incrementos produtivos nem sempre são observados, mesmo quando o micronutriente desempenha funções fisiológicas essenciais para a cultura.

Dessa forma, a comparação entre diferentes fontes e doses de boro torna-se importante para compreender o comportamento dessas formulações em condições de campo e gerar informações que contribuam para o aperfeiçoamento das recomendações de manejo nutricional da soja. Nesse contexto, estudos que avaliem o efeito de diferentes fontes e dosagens de boro sobre características produtivas da cultura são fundamentais para ampliar o conhecimento sobre a eficiência agrônômica desses produtos e subsidiar recomendações técnicas mais precisas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, clima e solo

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), no campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), localizada no município de Jaboticabal, SP, sob coordenadas aproximadas de 21°24' S e 48°28' W, a uma altitude média de 557 m.

O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos, com precipitação média anual próxima de 1.400 mm, condições que, de modo geral, favorecem o desenvolvimento da cultura da soja. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa, apresentando boa drenagem e elevada capacidade de retenção de água (EMBRAPA, 2018). O monitoramento dos parâmetros climáticos iniciou-se no dia 27 de outubro de 2025. A Figura 2 apresenta os valores de

temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), máxima, mínima e média observadas no período experimental.

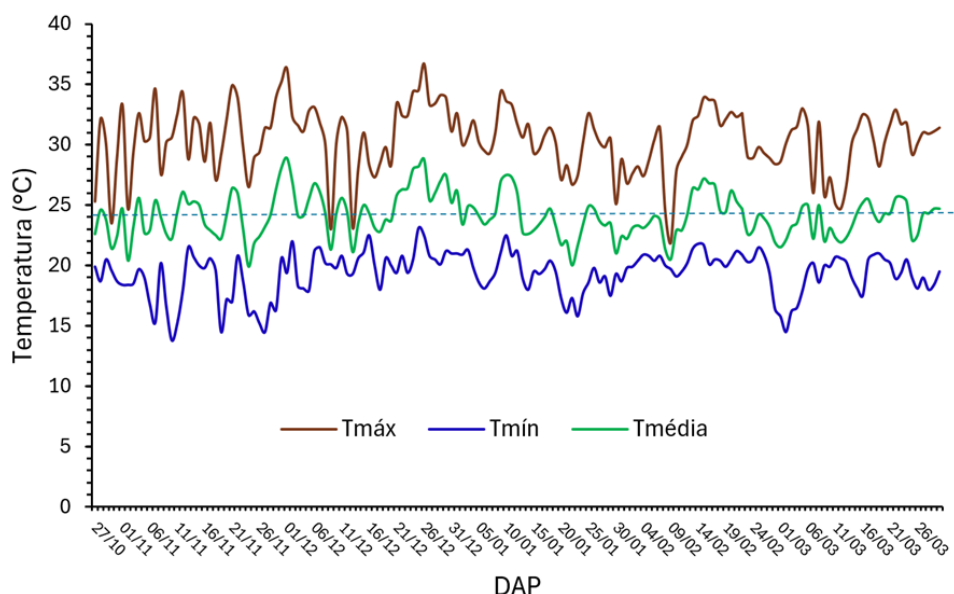


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima do ar observadas durante o período experimental (outubro de 2025 a março de 2026).

Fonte: Elaborado pelo autor com dados disponibilizados pela Estação Agroclimatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP (2026).

No período experimental, as médias das temperaturas máxima, média, e mínima foram, respectivamente igual a $36,7^{\circ}\text{C}$, $24,12^{\circ}\text{C}$ e $13,8^{\circ}\text{C}$.

As leituras das temperaturas, obtidas na estação climatológica, permitem demonstrar que não houve anormalidade dos dados desta variável. Todos os valores estão dentro do esperado para os meses de outubro/2025 a março/2026.

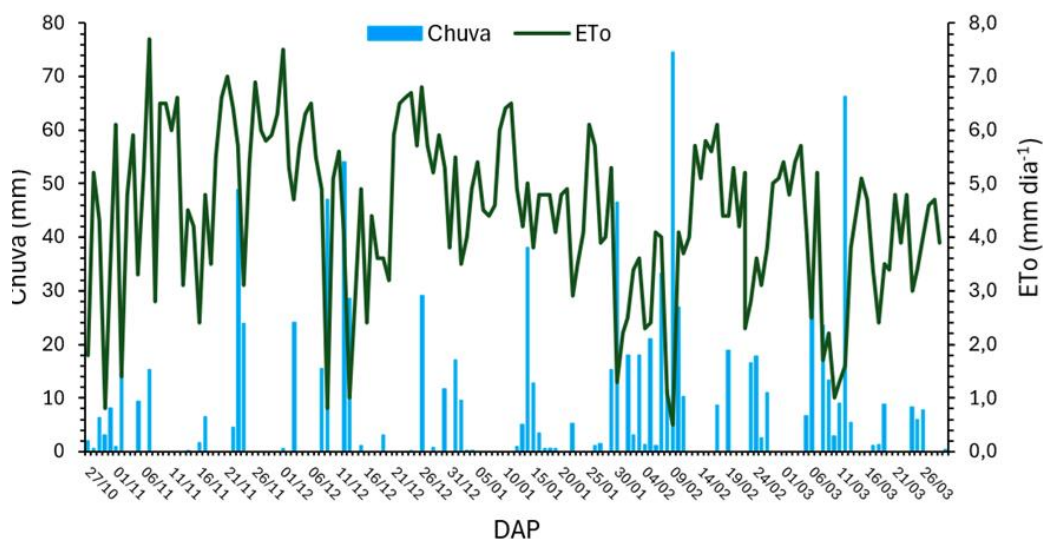


Figura 2. Valores observados de chuva e Evapotranspiração de referência (no período experimental, outubro/2025 a março/2026)

Fonte: Elaborado pelo autor com dados disponibilizados pela Estação Agroclimatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP (2026).

A chuva total ocorrida no período entre 27/10/2025 e 30/03/2026 foi de 1012,9 mm. Não foi observado período de veranico no verão de 2026 sendo de sete dias o período máximo que não choveu no experimento da soja. Esse evento ocorreu entre os dias 05/01/2026 e 12/01/2026. Portanto, a condução do experimento ocorreu sob valores de chuva dentro do esperado.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições e 13 tratamentos, sendo 12 combinações entre fontes e doses de boro aplicadas via foliar e uma testemunha sem aplicação foliar de boro.

Cada parcela experimental foi composta por oito linhas de cultivo, espaçadas em 0,45 m, com 7 m de comprimento, totalizando uma área de cerca de 25,2 m². Para as avaliações, foram consideradas as linhas centrais de cada parcela, com o objetivo de reduzir os efeitos de bordadura e aumentar a confiabilidade dos resultados, conforme recomendado para experimentos agronômicos (PIMENTEL-GOMES, 2009).

3.3 Cultivar e semeadura

A cultivar utilizada foi a SOYTECH 711 I2X, pertencente ao grupo de maturação relativa 7.1, com tecnologia Intacta 2 Xtend®, apresentando ciclo médio entre 115 e 120 dias e bom potencial produtivo, além de adaptação às condições da região (EMBRAPA, 2020).

A semeadura foi realizada em 27 de outubro de 2025, utilizando semeadora de precisão, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e profundidade média de deposição de sementes de aproximadamente 3 cm. A densidade de semeadura foi ajustada em 15 plantas por metro linear, com espaçamento de 0,45 m entre linhas, resultando em população estimada de 333.000 plantas ha⁻¹, valor compatível com sistemas de produção de alto potencial (EMBRAPA, 2013).

3.4 Preparo do solo, adubação e instalação do experimento

Antes da instalação do experimento, a área encontrava-se em pousio, sem cultivo comercial recente. Foi retirada uma amostra composta de solo para fins de análises física e química de rotina (Tabela 1), sendo a correção da fertilidade conduzida conforme as recomendações do Boletim 100 (CANTARELLA et al., 2022).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, na camada de 0–20 cm, antes da instalação do experimento.

Atributo	Valor	Unidade
Profundidade	0–20	cm
pH em CaCl ₂	5,6	-
Matéria orgânica (MO)	19	g dm ⁻³
Fósforo (P)	35	mg dm ⁻³
Enxofre (S)	4	mg dm ⁻³
Potássio (K)	4,3	mmolc dm ⁻³
Cálcio (Ca)	37	mmolc dm ⁻³
Magnésio (Mg)	13	mmolc dm ⁻³
Acidez potencial (H+Al)	21	mmolc dm ⁻³
Alumínio (Al ³⁺)	<1,0	mmolc dm ⁻³
Soma de bases (SB)	54,3	mmolc dm ⁻³
Capacidade de troca catiônica (CTC)	75,0	mmolc dm ⁻³
Saturação por bases (V)	72	%
Saturação por alumínio (m)	1	%
Boro (B)	0,28	mg dm ⁻³
Cobre (Cu)	4,3	mg dm ⁻³
Ferro (Fe)	7,0	mg dm ⁻³
Manganês (Mn)	18,7	mg dm ⁻³
Zinco (Zn)	2,0	mg dm ⁻³

Fonte: Elaborado pelo autor com base na análise química do solo.

A área experimental apresentou pH em CaCl₂ de 5,6, saturação por bases de 72% e teor de boro de 0,28 mg dm⁻³. Esses resultados foram utilizados como base para o planejamento do manejo da fertilidade do solo antes da implantação da cultura.

O preparo do solo foi realizado por meio de escarificação, seguido da aplicação de gesso agrícola na dose de 500 kg ha⁻¹ e posterior gradagem niveladora, visando melhorar as condições físicas do solo.

A adubação de semeadura foi realizada no dia 27 de outubro de 2025, utilizando-se 400 kg ha⁻¹ de fertilizante formulado 01-38-05. Esse formulado foi obtido por meio da mistura, na proporção de 1:1, de fertilizante comercial 02-35-10 e superfosfato triplo, com 41% de P₂O₅. Essa formulação teve como objetivo suprir principalmente

fósforo no início do desenvolvimento da cultura, nutriente essencial para o estabelecimento radicular e crescimento inicial das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Posteriormente, a adubação de cobertura com potássio foi realizada no estágio V4 da cultura, no dia 28 de novembro de 2025, utilizando-se 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl), aplicado por meio de aeronave remotamente pilotada.

Durante a semeadura, foi realizada a aplicação de insumos via sistema Micron acoplado à semeadora, permitindo a deposição dos produtos diretamente no sulco de plantio. Foram aplicados inoculante na dose de 720 mL ha⁻¹, nematicida Velocita® na dose de 150 mL ha⁻¹, Trichoderma sp. na dose de 100 mL ha⁻¹ e o produto Superbase® (NPA) na dose de 300 mL ha⁻¹, visando favorecer o estabelecimento inicial da cultura e contribuir para o manejo de nematoides. O uso de Trichoderma sp. é amplamente relatado na literatura devido ao seu potencial de promoção de crescimento vegetal e controle de patógenos de solo (HARMAN et al., 2004).

Adicionalmente, foi feito o fornecimento de boro ao solo por meio de duas aplicações de ácido bórico em área total. A primeira aplicação ocorreu no dia 20 de outubro de 2025, antes da semeadura, na dose de 3 kg ha⁻¹. A segunda aplicação foi realizada no dia 29 de outubro de 2025, após a semeadura, também na dose de 3 kg ha⁻¹. Ambas as aplicações foram realizadas por meio de uma aeronave remotamente pilotada. Assim, foram aplicados 6 kg ha⁻¹ de ácido bórico em área total, correspondendo a aproximadamente 1,02 kg ha⁻¹ de B, considerando a concentração de aproximadamente 17% de B no ácido bórico.

Essa aplicação teve como objetivo elevar e uniformizar a disponibilidade de boro no solo da área experimental, conforme critérios de manejo da fertilidade indicados pelo Boletim 100. Dessa forma, todos os tratamentos, inclusive a testemunha, receberam aplicação de boro em área total. Portanto, a testemunha deste

experimento corresponde à testemunha sem aplicação foliar de boro, e não à ausência total de fornecimento do micronutriente.

3.5 Tratamentos e aplicação foliar de boro

Foram avaliadas três fontes de boro aplicadas via foliar: ácido bórico, boro complexado com monoetanolamina (B-MEA) e boro complexado com polióis, além de uma testemunha sem aplicação foliar de boro.

As fontes utilizadas diferiram quanto à formulação, concentração e forma física dos produtos comerciais. O ácido bórico apresenta aproximadamente 17% de B, o boro complexado com monoetanolamina apresenta 8% de B e o boro complexado com polióis apresenta 6,5% de B. Para o boro poliól, além do teor percentual, o produto apresenta densidade de $1,3 \text{ kg L}^{-1}$ e concentração equivalente a 85 g L^{-1} de B. Essas diferenças justificam a expressão das doses em g ha^{-1} para o ácido bórico e em mL ha^{-1} para as fontes líquidas.

Para o ácido bórico, foram utilizadas as doses de 500, 1000, 1500 e 2000 g ha^{-1} . Para a fonte B-MEA, as doses foram de 500, 1000, 1500 e 2000 mL ha^{-1} . Já para o boro poliól, foram utilizadas as doses de 150, 300, 400 e 500 mL ha^{-1} .

As aplicações foliares foram realizadas nos estádios V4, R1 e R4, conforme a escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977). Tais aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO_2 , utilizando volume de calda de 200 L ha^{-1} . Foram utilizadas garrafas PET de 2 L para o preparo individual das caldas, sendo cada garrafa destinada à aplicação de uma parcela experimental.

As pulverizações foram conduzidas, sempre que possível, em condições ambientais favoráveis, visando reduzir perdas por deriva e melhorar a eficiência de absorção.

A aplicação foliar de micronutrientes é uma prática comum na cultura da soja, principalmente em fases reprodutivas, quando a demanda por nutrientes tende a ser maior (MALAVOLTA, 2006).

3.6 Manejo fitossanitário

O manejo da cultura foi realizado de forma padronizada em todas as parcelas experimentais, visando manter a sanidade da lavoura e minimizar possíveis interferências nos resultados dos tratamentos.

O controle de plantas daninhas foi realizado conforme a necessidade da área, utilizando herbicidas registrados para a cultura da soja. O manejo de doenças foi conduzido por meio de aplicações preventivas e curativas de fungicidas ao longo do ciclo da cultura, seguindo as recomendações técnicas para a região e para os principais patógenos da soja.

O controle de pragas foi realizado com base no monitoramento da área experimental, utilizando o método de batida de pano, sendo efetuadas aplicações de inseticidas sempre que os níveis populacionais atingiram os níveis de controle recomendados para a cultura.

Todas as aplicações fitossanitárias foram realizadas por meio de aeronave remotamente pilotada (drone), modelo T25, visando maior uniformidade de aplicação e redução do amassamento da cultura.

Durante o ciclo da cultura, foram observados sintomas de desuniformidade no desenvolvimento das plantas, incluindo redução de vigor e folhas com aspecto carijó em determinados pontos da área experimental. Em razão desses sintomas, foi realizada uma amostragem composta de solo e raízes para análise nematológica. A coleta foi realizada de forma aleatória na área experimental, totalizando 10 pontos de

amostragem, os quais foram reunidos em uma amostra composta representativa da área. O material foi encaminhado ao Laboratório de Nematologia da UNESP/FCAV, sendo a extração dos nematoides realizada pelo método de Jenkins (1964), para 100 cm³ de solo, e pelo método de Coolen e D'Herde (1972), para 10 g de raízes.

De modo geral, o manejo fitossanitário adotado seguiu as recomendações técnicas para a cultura da soja, proporcionando condições adequadas para o desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo (GODOY et al., 2016; ÁVILA et al., 2018).

3.7 Variáveis analisadas

As avaliações agrônômicas foram realizadas ao longo do ciclo da cultura, com foco nos principais componentes de produtividade.

No estágio fenológico R5, foram avaliados o número de nós produtivos, o número de hastes e o número de vagens por planta. Para essas avaliações, foram selecionadas cinco plantas por parcela experimental, escolhidas aleatoriamente nas duas linhas adjacentes às três linhas centrais destinadas à colheita mecanizada, sendo uma linha localizada acima e outra abaixo da área central de colheita. Esse procedimento foi adotado para preservar as três linhas centrais da parcela, que posteriormente foram utilizadas para a determinação da produtividade, além de reduzir possíveis interferências das avaliações sobre a área útil de colheita.

No estágio R8, correspondente à maturação fisiológica, foram avaliados a massa de mil grãos (PMG) e a produtividade. A massa de mil grãos foi determinada a partir da pesagem de amostras de grãos corrigidas para umidade padrão, sendo utilizada como indicativo do enchimento dos grãos.

A produtividade foi determinada por meio da colheita mecanizada das parcelas experimentais, utilizando colhedora de parcelas. Para essa avaliação, foi considerada uma área útil de 8,1 m² por parcela, obtida pela colheita de três linhas centrais, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e comprimento útil de 6 m. A colheita de três linhas foi adotada em função da largura operacional da colhedora de parcelas utilizada no experimento. As linhas externas e as extremidades das parcelas foram desconsideradas por serem consideradas áreas de bordadura. Após a colheita, os grãos foram pesados, corrigidos para umidade padrão e os valores extrapolados para kg ha⁻¹.

3.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade, utilizando o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2008). Quando significativo aplicou-se o teste de média (Tukey).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise de variância para número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens, massa de mil grãos (PMG) e produtividade da cultura da soja submetida à aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro encontram-se apresentados na Tabela 2.

De maneira geral, não foram observados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores para as variáveis número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade. Entretanto, verificou-se efeito significativo dos blocos para as variáveis número de nós produtivos, número de vagens e produtividade, indicando a

existência de variabilidade ambiental dentro da área experimental. Além disso, observou-se diferença significativa entre o tratamento adicional (testemunha sem aplicação foliar de boro) e os tratamentos do esquema fatorial para a variável número de hastes.

Os coeficientes de variação observados foram de 7,81%, 31,73%, 22,38%, 10,16% e 11,46% para número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade, respectivamente. Segundo Pimentel-Gomes (2009), os valores observados para número de nós produtivos, massa de mil grãos e produtividade podem ser considerados baixos para experimentos conduzidos em condições de campo, indicando adequada precisão experimental. Para número de hastes e número de vagens foram observados coeficientes de variação mais elevados, comportamento frequentemente relatado para características diretamente influenciadas pela plasticidade fenotípica da cultura da soja e pela variabilidade existente entre plantas individuais.

Embora não tenham sido verificadas diferenças estatísticas significativas para a maior parte das variáveis avaliadas, algumas tendências numéricas observadas entre as fontes e doses de boro serão discutidas individualmente nos tópicos seguintes, buscando relacionar os resultados obtidos às características fisiológicas da cultura e às particularidades das formulações utilizadas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade da cultura da soja submetida à aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro.

Causas de variação	GL	Valores de F				
		Nº de nós por planta	Nº de hastes por planta	Nº de vagens por planta	Massa de mil grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Fonte de boro (FB)	2	2,29ns	2,95ns	1,28ns	1,04ns	0,22ns
Doses de boro (DB)	3	0,35ns	1,42ns	0,59ns	1,44ns	1,48ns
FB x DB	6	1,03ns	0,90ns	0,31ns	0,76ns	1,78ns
Adicional vs fatorial	1	0,62ns	5,32*	0,06ns	2,46ns	0,00ns
Blocos	3	3,79*	2,61ns	3,27*	2,85ns	7,34*
CV (%)	-	7,81	31,73	22,38	10,16	11,46

Fonte:Elaborado pelo autor com base na análise estatística realizada no software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2008).

ns = não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade ($p > 0,05$); * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

4.1 Número de nós produtivos

Conforme observado na Tabela 2, não foram verificados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores para a variável número de nós produtivos. A média geral observada foi de 15,15 nós por planta, com coeficiente de variação de 7,81%, indicando boa precisão experimental para essa característica.

O número de nós produtivos constitui uma importante variável agrônômica da cultura da soja, uma vez que os nós representam os pontos de inserção de folhas, ramos, flores e vagens. Dessa forma, o aumento no número de nós está frequentemente associado ao maior potencial de formação de estruturas reprodutivas e, consequentemente, ao potencial produtivo da planta.

Observa-se na Figura 3 comportamento semelhante entre as fontes avaliadas, sem resposta consistente ao aumento das doses de boro. As médias variaram de 14,60 nós por planta para o boro MEA a 15,38 nós por planta para o ácido bórico e o boro poliól. Apesar dessa diferença numérica, não houve significância estatística pelo teste F, indicando que as fontes apresentaram desempenho semelhante para essa característica.

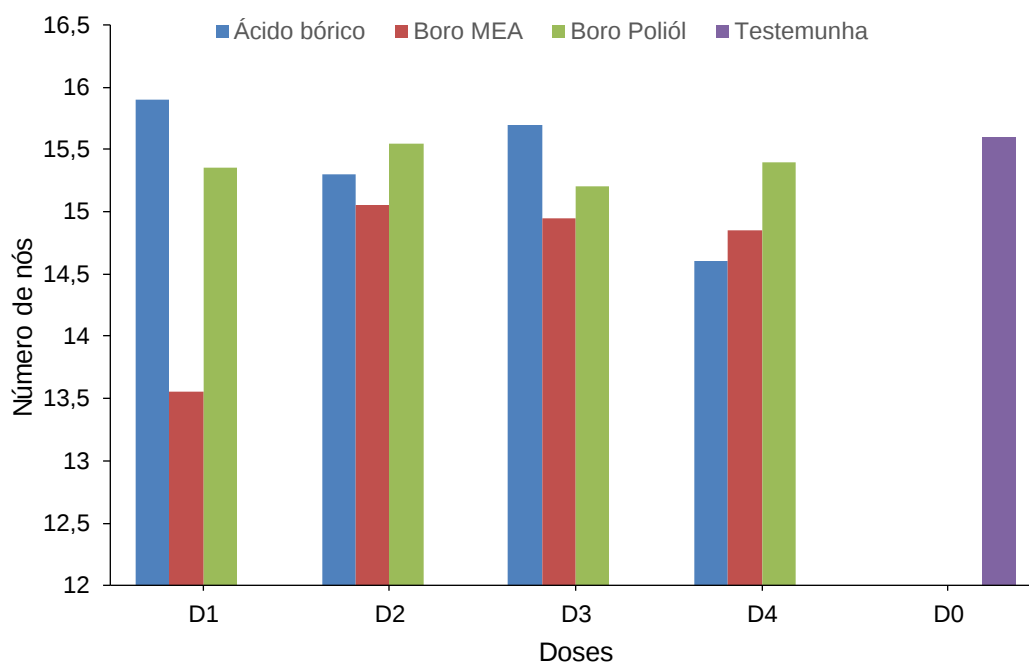


Figura 3. Número médio de nós produtivos por planta em função da aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja.

De maneira geral, os resultados indicam que as aplicações foliares de boro não promoveram alterações significativas no número de nós produtivos da soja. Esse comportamento sugere que o desenvolvimento vegetativo da cultura não foi limitado pela disponibilidade do micronutriente nas condições em que o experimento foi conduzido.

4.2 Número de hastes

O número de hastes foi avaliado por meio de um gráfico encontrado na Figura

4.

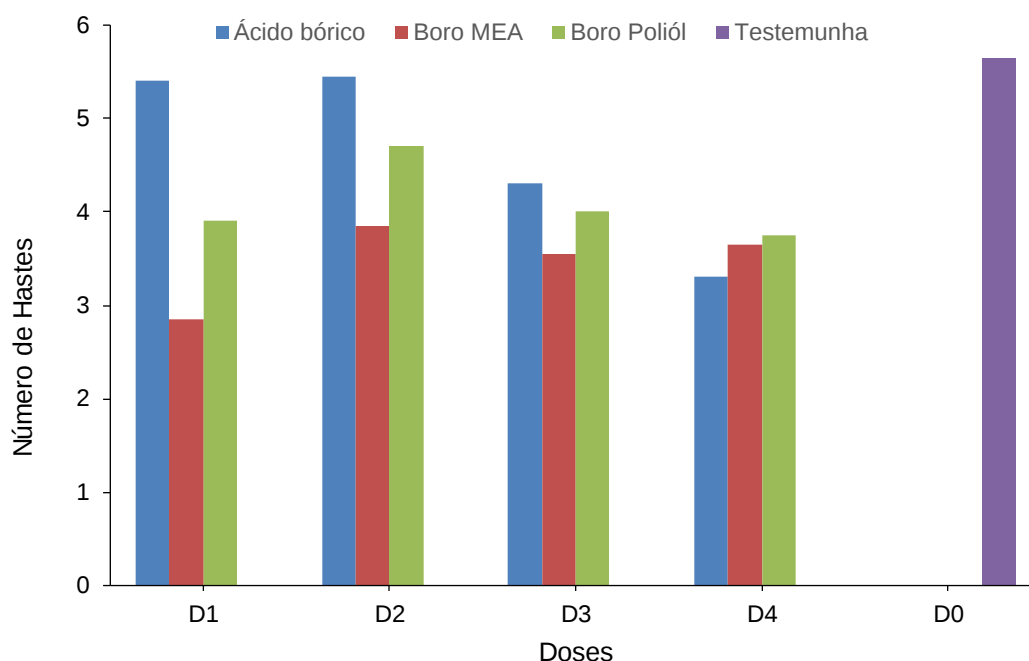


Figura 4. Número médio de hastes por planta em função da aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja.

Para a variável número de hastes, não foram observados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores (Tabela 2). O número médio de hastes observado no experimento foi de 4,18 hastes por planta, com coeficiente de variação de 31,73%.

O número de hastes ou ramos representa uma característica importante da arquitetura da planta de soja, uma vez que está diretamente relacionado à capacidade de emissão de estruturas reprodutivas adicionais. Em condições favoráveis, o aumento da ramificação pode contribuir para maior número de flores e vagens por

planta, funcionando como um mecanismo de compensação da cultura diante de variações na população de plantas ou em condições ambientais específicas.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre as fontes e doses de boro avaliadas, verificou-se diferença significativa entre o tratamento adicional (testemunha sem aplicação foliar de boro) e os tratamentos do esquema fatorial. A testemunha sem aplicação foliar de boro apresentou média de 5,65 hastes por planta, enquanto os tratamentos que receberam aplicação foliar de boro apresentaram média de 4,06 hastes por planta.

Segundo Taiz et al. (2017), a emissão de ramos na soja é fortemente influenciada por fatores genéticos, disponibilidade de luz, espaçamento entre plantas e condições ambientais durante o desenvolvimento vegetativo. Dessa forma, a ausência de resposta consistente às aplicações foliares de boro sugere que a ramificação das plantas foi mais influenciada pelas condições de cultivo do que pelos tratamentos avaliados.

De maneira geral, os resultados indicam que as aplicações foliares de boro não promoveram alterações consistentes no número de hastes da cultura da soja, demonstrando que as diferentes fontes e doses avaliadas apresentaram comportamento semelhante para essa característica.

4.3 Número de vagens

Para a variável número de vagens, não foram observados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores (Tabela 2). O número médio de vagens observado no experimento foi de 72,99 vagens por planta, com coeficiente de variação de 22,38%.

O número de vagens é considerado um dos principais componentes de rendimento da cultura da soja, uma vez que exerce influência direta sobre a produtividade final. Segundo Sedyama (2016), a produtividade da soja resulta da interação entre o número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa dos grãos, sendo o número de vagens um dos componentes mais sensíveis às condições ambientais e nutricionais durante o período reprodutivo.

Observa-se na Figura 5 comportamento semelhante entre as fontes avaliadas, sem resposta consistente ao aumento das doses de boro. As médias observadas foram de 71,83 vagens por planta para o ácido bórico, 68,80 vagens por planta para o boro MEA e 77,23 vagens por planta para o boro poliól. Apesar da superioridade numérica observada para o boro poliól, as diferenças entre as fontes não foram estatisticamente significativas.

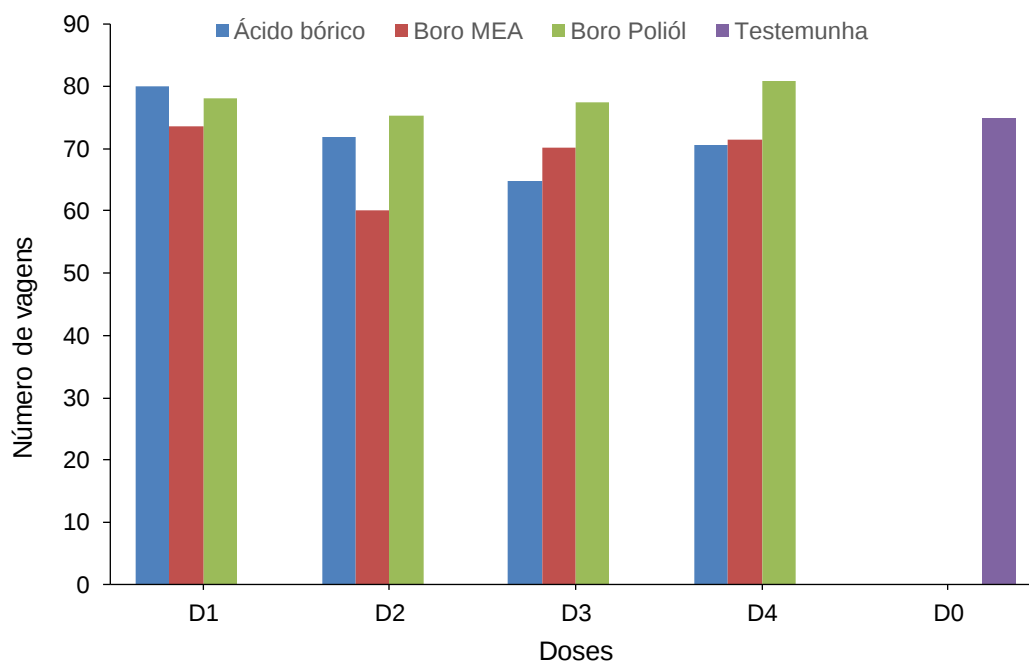


Figura 5. Número médio de vagens por planta em função da aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja.

Embora a análise estatística não tenha identificado efeito significativo das fontes avaliadas, a tendência de maior número de vagens observada para o boro poliól pode estar relacionada às características dessa formulação. Compostos à base de polióis apresentam potencial para favorecer a mobilidade do boro no interior da planta, contribuindo para o transporte do nutriente para tecidos em crescimento e estruturas reprodutivas. Entretanto, os resultados obtidos indicam que essa possível vantagem fisiológica não foi suficiente para promover diferenças estatísticas entre os tratamentos nas condições em que o experimento foi conduzido.

Outro aspecto relevante refere-se à ausência de resposta ao incremento das doses de boro. Independentemente da fonte utilizada, não foi observada tendência consistente de aumento no número de vagens em função da elevação das doses aplicadas. Esse comportamento sugere que a disponibilidade do micronutriente não constituiu fator limitante para a formação das estruturas reprodutivas da cultura durante o ciclo avaliado.

Segundo Prado (2016), a resposta da soja à aplicação de micronutrientes está diretamente relacionada à disponibilidade prévia desses elementos no sistema de cultivo. Em condições nas quais a exigência nutricional da planta já é atendida, incrementos adicionais do nutriente tendem a produzir respostas reduzidas ou inexistentes sobre os componentes de rendimento.

De maneira geral, os resultados demonstram que as aplicações foliares de boro não promoveram alterações significativas no número de vagens por planta. Apesar disso, a tendência numérica observada para o boro poliól indica potencial agrônômico que merece ser investigado em estudos futuros, especialmente em condições de maior demanda pelo micronutriente ou em áreas com histórico de deficiência de boro.

4.4 Massa de mil grãos

Para a variável massa de mil grãos (PMG), não foram observados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores (Tabela 2). A massa média de mil grãos observada no experimento foi de 139,89 g, com coeficiente de variação de 10,16%, indicando boa precisão experimental para essa característica.

A massa de mil grãos é um dos principais componentes de rendimento da cultura da soja e está diretamente relacionada ao processo de enchimento dos grãos durante o período reprodutivo. Essa variável é influenciada pela disponibilidade de fotoassimilados, pelo estado nutricional das plantas e pelas condições ambientais ocorridas entre o enchimento e a maturação fisiológica dos grãos. Dessa forma, alterações na PMG podem refletir mudanças na eficiência de utilização dos recursos disponíveis pela cultura ao longo do ciclo.

Observa-se na Figura 6 que as diferentes fontes de boro apresentaram comportamento semelhante para a variável PMG. As médias observadas foram de 143,05 g para o ácido bórico, 137,86 g para o boro MEA e 136,10 g para o boro poliól. Apesar da superioridade numérica observada para o ácido bórico, as diferenças entre as fontes não foram suficientes para promover efeito significativo pelo teste F.

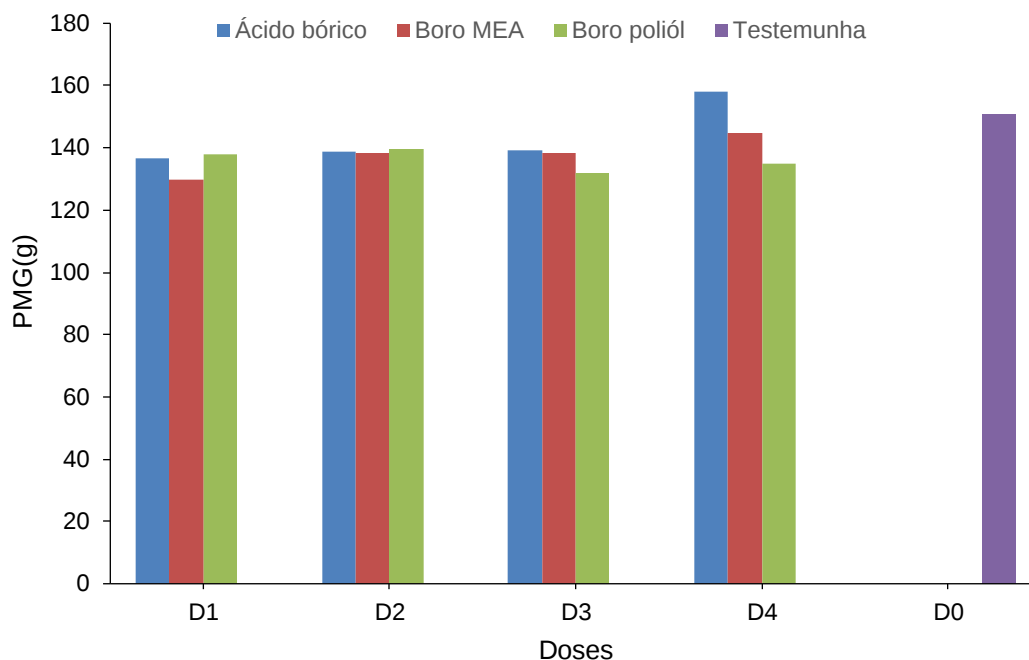


Figura 6. Massa de mil grãos (PMG) em função da aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro na cultura da soja.

Quando analisadas as doses dentro de cada fonte, verificou-se uma tendência de aumento da massa de mil grãos nas maiores doses de aplicação, principalmente para o ácido bórico. A Dose 4 apresentou média de 145,91 g, enquanto a Dose 1 apresentou média de 134,72 g. Entretanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa, indicando que o incremento das doses de boro não promoveu resposta consistente para o enchimento dos grãos.

Segundo Taiz et al. (2017), o boro participa de processos fisiológicos relacionados ao transporte de açúcares, integridade das membranas celulares e desenvolvimento reprodutivo das plantas. Em teoria, tais funções poderiam contribuir para o enchimento dos grãos. Contudo, os resultados obtidos sugerem que a disponibilidade do nutriente não constituiu fator limitante para essa etapa do desenvolvimento da cultura.

Resultados semelhantes são frequentemente observados em experimentos conduzidos em áreas com adequado suprimento nutricional, nas quais a aplicação complementar de micronutrientes nem sempre resulta em incrementos significativos nos componentes de rendimento. Nesses casos, fatores genéticos, ambientais e fisiológicos tendem a exercer maior influência sobre o peso final dos grãos do que o fornecimento adicional do nutriente.

De maneira geral, os resultados indicam que as diferentes fontes e doses de boro aplicadas via foliar não promoveram alterações significativas na massa de mil grãos da soja. Embora tenham sido observadas pequenas variações numéricas entre os tratamentos, essas diferenças não foram suficientes para modificar o processo de enchimento dos grãos nas condições em que o experimento foi conduzido.

4.5 Produtividade

A produtividade constitui a principal variável agrônômica avaliada em experimentos de manejo nutricional, uma vez que representa o resultado da interação entre todos os componentes de rendimento da cultura. Dessa forma, a análise dessa variável permite verificar se as alterações observadas ao longo do ciclo foram suficientes para produzir reflexos econômicos e produtivos ao final da safra.

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), não foram observados efeitos significativos das fontes de boro, das doses avaliadas ou da interação entre esses fatores para a produtividade da cultura da soja. A produtividade média observada no experimento foi de 2.108,37 kg ha⁻¹, com coeficiente de variação de 11,46%, valor considerado adequado para experimentos conduzidos em condições de campo e que demonstra boa precisão experimental.

Observa-se na Figura 7 comportamento semelhante entre as fontes avaliadas. As produtividades médias obtidas foram de 2.139,67 kg ha⁻¹ para o ácido bórico, 2.099,00 kg ha⁻¹ para o boro MEA e 2.085,58 kg ha⁻¹ para o boro poliól. Apesar das pequenas diferenças numéricas observadas, não houve superioridade estatística entre as fontes avaliadas.

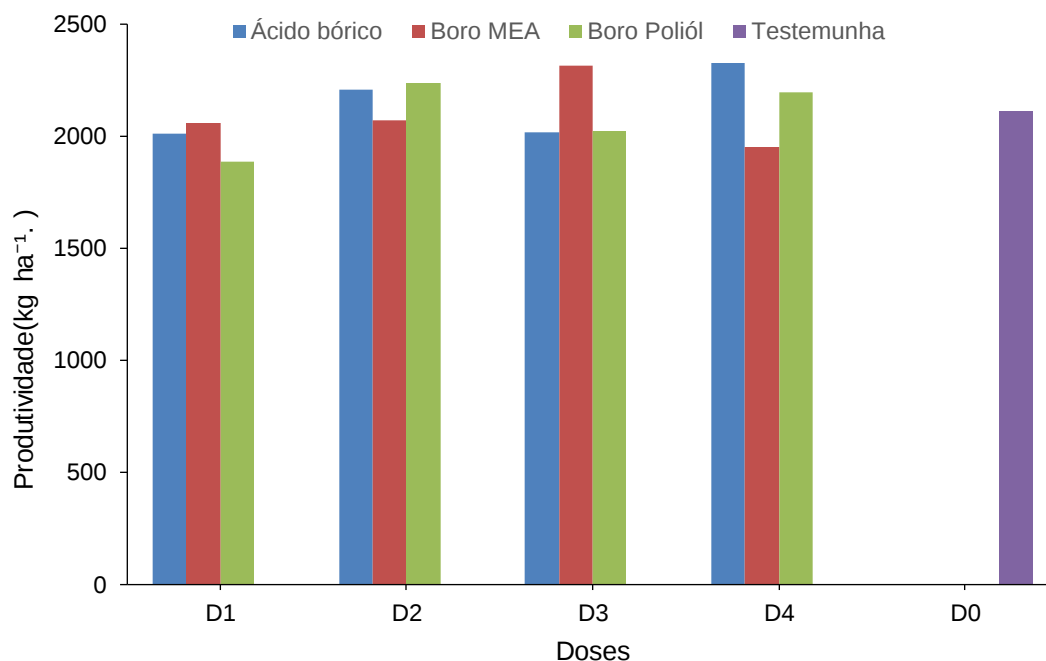


Figura 7. Produtividade da soja em função da aplicação foliar de diferentes fontes e doses de boro.

Quando analisadas as doses aplicadas, verificou-se que a Dose 2 apresentou a maior produtividade média, seguida pela Dose 4 e pela Dose 3. Entretanto, assim como observado para as demais variáveis avaliadas, essas diferenças não foram suficientes para caracterizar resposta significativa da cultura ao aumento das doses de boro. Esse comportamento sugere que o fornecimento foliar adicional de boro não atuou como fator determinante para o rendimento da soja nas condições em que o

experimento foi conduzido, especialmente considerando que toda a área experimental recebeu aplicação prévia de ácido bórico em área total.

Outro aspecto que pode ter contribuído para a ausência de resposta produtiva aos tratamentos foi a ocorrência de nematoides na área experimental. Durante o estágio reprodutivo R5 foram observados sintomas característicos de folhas com aspecto carijó, posteriormente confirmados por análise laboratorial. A presença desses organismos pode comprometer o desenvolvimento do sistema radicular e reduzir a eficiência de absorção de água e nutrientes pelas plantas, influenciando o desempenho produtivo da cultura. Embora não seja possível estabelecer relação direta entre a infestação observada e os resultados obtidos, a ocorrência dos nematoides constitui um fator adicional que pode ter contribuído para limitar a expressão do potencial produtivo da área experimental.

A ausência de resposta significativa da produtividade está de acordo com o comportamento observado para número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens e massa de mil grãos. Como não ocorreram alterações consistentes nos componentes de rendimento, era esperado que a produtividade final também apresentasse comportamento semelhante entre os tratamentos. Segundo Sedyama (2016), a produtividade da soja resulta da interação entre diversos componentes produtivos, de modo que modificações isoladas em apenas uma característica nem sempre são suficientes para promover incrementos significativos no rendimento final da cultura.

Embora não tenha sido observada resposta significativa às aplicações foliares de boro, verificou-se efeito significativo dos blocos para produtividade ($p = 0,0006$), conforme apresentado na Tabela 2. Esse resultado evidencia a existência de variabilidade ambiental dentro da área experimental, indicando que fatores não

controlados exerceram influência sobre o rendimento da cultura. Segundo Pimentel-Gomes (2009), a significância dos blocos em delineamentos em blocos casualizados demonstra que parte da variabilidade observada está associada às características do ambiente experimental, justificando a utilização desse delineamento para aumentar a precisão das análises estatísticas.

De maneira geral, os resultados indicam que as aplicações foliares de boro, independentemente da fonte e da dose utilizada, não promoveram incrementos significativos na produtividade da soja. Esse comportamento sugere que o fornecimento adicional do micronutriente não foi suficiente para alterar o desempenho produtivo da cultura nas condições avaliadas, indicando que outros fatores presentes no ambiente experimental exerceram maior influência sobre o rendimento final das plantas.

4.6 Considerações finais

Durante a condução do experimento, a partir do estágio reprodutivo R5, foram observados sintomas de desuniformidade no desenvolvimento das plantas, incluindo redução de vigor e folhas com aspecto carijó em determinados pontos da área experimental. Em razão desses sintomas, foi realizada análise nematológica a partir de uma amostra composta de solo e raízes, formada pela coleta aleatória em 10 pontos da área experimental.

A análise confirmou a presença de nematoides fitoparasitas associados à cultura da soja, com identificação de *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus brachyurus*, *Helicotylenchus dihystra* e *Criconemoides* sp. Entre os gêneros identificados, destacou-se *Meloidogyne incognita*, com maior ocorrência tanto no solo quanto nas raízes, além da presença expressiva de ovos nas raízes. Esse resultado indica que a

cultura se desenvolveu sob condição de pressão biótica causada por nematoides, especialmente pelo nematoide-das-galhas, que apresenta elevada capacidade de parasitismo do sistema radicular.

A presença de nematoides fitoparasitas em áreas cultivadas com soja pode comprometer o desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a capacidade das plantas em absorver água e nutrientes. Como consequência, podem ocorrer limitações fisiológicas que afetam o crescimento vegetativo, o desenvolvimento reprodutivo e o rendimento final da cultura. Segundo Dias-Arieira et al. (2010), ataques de nematoides estão frequentemente associados à redução do vigor das plantas, diminuição da eficiência nutricional e perdas significativas de produtividade.

No presente estudo, a população de *Meloidogyne incognita* foi de 848 indivíduos em 100 cm³ de solo, 9.760 indivíduos em 10 g de raízes e 10.220 ovos em 10 g de raízes. Quando os valores observados nas raízes são convertidos para base unitária, obtêm-se aproximadamente 976 indivíduos g⁻¹ de raiz e 1.022 ovos g⁻¹ de raiz, indicando elevada colonização radicular e intensa atividade reprodutiva do nematoide na área experimental. Embora não exista um limite único e fixo de dano para *Meloidogyne* spp. em soja, pois a severidade depende da cultivar, densidade populacional, textura do solo, umidade e condições ambientais, populações elevadas associadas a sintomas visuais, como redução de vigor, desuniformidade e folhas com aspecto carijó, indicam condição de pressão biótica relevante (DIAS et al., 2010).

Como referência de comparação, Emerson e Faske (2019), em área de soja infestada por *Meloidogyne incognita*, classificaram populações entre 154 e 4.192 juvenis de segundo estágio por 100 cm³ de solo como condição de infestação moderada a severa. Dessa forma, o valor de 848 indivíduos em 100 cm³ de solo observado neste trabalho encontra-se dentro de uma faixa considerada

agronomicamente preocupante em estudos com nematoide-das-galhas. Além disso, perdas de produtividade causadas por nematoides-das-galhas em soja podem variar de 10% a mais de 50% em cultivares suscetíveis cultivadas em áreas com alta densidade populacional do patógeno, podendo superar 70% em situações severas e com cultivares suscetíveis (CROP PROTECTION NETWORK, 2026; EMERSON; FASKE, 2019).

Portanto, a população observada neste experimento pode ser considerada agronomicamente relevante, principalmente pela elevada ocorrência nas raízes e pela presença expressiva de ovos. Entretanto, por se tratar de uma amostra composta da área experimental, não é possível quantificar a perda de produtividade causada pelos nematoides nem associar a infestação a tratamentos específicos. Assim, a presença desses organismos deve ser interpretada como um fator adicional de estresse e variabilidade, capaz de contribuir para diferenças entre parcelas e blocos.

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram efeito significativo dos blocos para as variáveis número de nós produtivos, número de vagens e produtividade. Esse comportamento sugere a existência de variabilidade ambiental dentro da área experimental, indicando que fatores externos aos tratamentos avaliados influenciaram o desempenho da cultura. Considerando a confirmação da ocorrência de nematoides e a distribuição normalmente irregular desses organismos no campo, é possível que diferentes níveis de infestação tenham contribuído para parte da variabilidade observada entre os blocos experimentais.

Embora não seja possível estabelecer relação direta de causa e efeito entre a presença dos nematoides e a ausência de resposta aos tratamentos com boro, a ocorrência desses organismos durante o ciclo da cultura pode ter limitado parcialmente a expressão do potencial produtivo da soja. Além disso, por se tratar de

uma amostra composta da área experimental, os resultados da análise nematológica confirmam a presença dos nematoides na área, mas não permitem associar a infestação a tratamentos específicos.

Diante disso, considera-se que a ocorrência de nematoides constituiu um fator adicional presente durante a condução do experimento, podendo ter contribuído para a variabilidade observada entre parcelas e blocos. Novos estudos conduzidos em áreas com menor pressão desses patógenos, ou com quantificação nematológica por parcela, seriam necessários para determinar com maior precisão a influência das diferentes fontes e doses de boro sobre o desempenho agrônomo da cultura da soja.

Tabela 3. Resultado da análise nematológica realizada em amostra composta de solo e raízes coletada na área experimental.

Nematoide identificado	Solo	Raízes	Ovos em raízes
<i>Meloidogyne incognita</i>	848	9.760	10.220
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	0	160	0
<i>Helicotylenchus dihystra</i>	76	40	-
<i>Criconemoides sp.</i>	12	0	-

Solo: valores obtidos em 100 cm³ de solo; raízes: valores obtidos em 10 g de raízes. Fonte: Laboratório de Nematologia da UNESP/FCAV.

5. CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, as diferentes fontes e doses de boro aplicadas via foliar não promoveram alterações significativas no número de nós produtivos, número de hastes, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade da cultura da soja.

Foi observado efeito significativo dos blocos para número de nós produtivos, número de vagens e produtividade, evidenciando a influência da variabilidade ambiental presente na área experimental.

Assim, os resultados indicam que o fornecimento foliar adicional de boro não constituiu fator determinante para o desempenho produtivo da cultura nas condições avaliadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Effect of boron foliar application on vegetative and reproductive growth of sunflower. *Annals of Botany*, Oxford, v. 92, n. 4, p. 565–570, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg170>.
- ÁVILA, C. J.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA, M. C. N.; SILVA, A. P.; PERES, C. A. S. Manejo de pragas na cultura da soja. In: ZUFFO, A. M. (org.). *Tecnologia de produção de soja*. Maracaju: UFGD/UFMS/IFMS, 2018. p. 61–82.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2008. 112 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Agronegócio brasileiro fecha 2025 com recorde em exportações de US\$ 169 bilhões e superávit de US\$ 149,07 bilhões. Brasília: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: maio 2025.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (ed.). *Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2024/25 – sétimo levantamento*, abril 2025.
- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. Ghent: State Agricultural Research Centre, 1972. 77 p.
- CROP PROTECTION NETWORK. An overview of root-knot nematodes. Crop Protection Network, 2026. Disponível em: <https://cropprotectionnetwork.org/publications/an-overview-of-root-knot-nematodes>. Acesso em: 1 jul. 2026.
- DAMETO, L. S.; MORAES, M. F.; OLIVEIRA, R. M.; SANTOS, J. R.; FERREIRA, M. R. Effects of boron sources and rates on grain yield, yield components,

nutritional status, and changes in the soil chemical attributes of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, v. 45, n. 20, p. 3130–3142, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2043591>.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (org.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327–354.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERREIRA, J. C.; DEMUNER, A. J.; FREITAS, L. G. *Nematoides fitoparasitas associados à cultura da soja: aspectos biológicos e manejo*. Maringá: Eduem, 2010.

EMERSON, M.; FASKE, T. Field performance of selected soybean varieties in a southern root-knot nematode infested field, 2019. University of Arkansas System Division of Agriculture, 2019. Disponível em: https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/pest-management/plant-disease/2019%20field%20performance%20of%20selected%20soybean%20in%20ORKN%20field_Faske.pdf. Acesso em: 1 jul. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2014*. Londrina: Embrapa Soja, 2013. (Sistemas de Produção, 16).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Tecnologias de produção de soja para a região central do Brasil 2021*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Sistemas de Produção, 17).

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. Manaus: Norma Editora, 2016.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; PIMENTA, C. B.; BORGES, E. P. *Doenças da soja e seu manejo*. Londrina: Embrapa Soja, 2016.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma species: opportunistic, avirulent plant symbionts*. *Nature Reviews Microbiology*, London, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.

- HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2013. 528 p.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica de nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, Beltsville, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.
- KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. Micronutrient uptake and mobility in relation to plant growth and root development. In: *Proceedings of the International Symposium on Micronutrients*. Wuhan, China, 2007.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MASCARENHAS, H. A. A.; SOUZA, K. R. D.; SANTOS, G. A. Micronutrientes: funções e sintomas de deficiência nas plantas. In: CANTARELLA, H. et al. (org.). *Nutrição e adubação de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 215–238.
- OLIVEIRA, Paulo José Desiderio de. Integridade dos dados meteorológicos obtidos por duas estações meteorológicas automatizadas. 2014. vi, 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia — Ciência do Solo) — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.
- PRADO, R. M. Micronutrientes na fisiologia de plantas cultivadas. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2017. 180 p.
- PRADO, R. M. Nutrição de plantas: diagnose foliar em plantas cultivadas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016. 403 p.
- SALDANHA, E. C. M. Fertilização boratada aumenta produtividade da soja em solo argiloso. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 37, n. 1, p. 15–18, 2024.
- SEDIYAMA, T. Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina: Mecenass, 2016.
- SFREDO, G. J. Elementos de nutrição mineral da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 128 p. (Documentos, 232).

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. Boro na nutrição da soja. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 106, p. 1–5, 2004.

SHELP, B. J. Physiological functions of boron in plants. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 155–156, p. 117–121, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOMICIOLI, R. J.; TAVARES, R. C.; SOUZA, R. P.; SANTOS, G. L. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à toxicidade por boro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2019, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: SBCS, 2019.

UNESP/FCAV. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias — Câmpus de Jaboticabal. Estação Agroclimatológica da FCAV/UNESP: dados meteorológicos. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2026. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/>. Acesso em: 1 jul. 2026.