



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

MANOEL ANTÔNIO GARCEZ COSTA

**EFEITO DA FERTILIZAÇÃO VIA SOLO E FOLIAR COM O MICRONUTRIENTE
BORO EM CULTIVARES DE SOJA EM SOLOS ARENOSOS**

Presidente Prudente – SP

2025



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

MANOEL ANTÔNIO GARCEZ COSTA

**EFEITO DA FERTILIZAÇÃO VIA SOLO E FOLIAR COM O MICRONUTRIENTE B
EM CULTIVARES DE SOJA EM SOLOS ARENOSOS**

Dissertação apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. – Área de concentração: Produção vegetal.

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Jessica Pigatto Barcelos Putti

Presidente Prudente - SP

2025

Catálogo Internacional de Publicação (CPI)

633.34
C837e

Costa, Manoel Antônio Garcez.

Efeito da fertilização via solo e foliar com o micronutriente B em cultivares de soja em solos arenosos. / Manoel Antônio Garcez. -- Presidente Prudente, 2025.
41 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2025.

Bibliografia.

Orientador: Jéssica Pigatto Barcelos Putti

1. Nutrição de plantas. 2. Eficiência no uso dos nutrientes. 3. Qualidade da fibra. I. Título.

Bibliotecária: Sofia da Cunha Gonçalves – CRB 8\10943

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “EFEITO DA FERTILIZAÇÃO VIA SOLO E FOLIAR COM O MICRONUTRIENTE B EM CULTIVARES DE SOJA EM SOLOS ARENOSOS”

AUTOR(A): MANOEL ANTÔNIO GARCEZ COSTA

ORIENTADOR(A): Profa. Dra. JÉSSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

PROFA. DRA. JÉSSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI (orientadora)

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

PROF. DR. CARLOS SÉRGIO TIRITAN

UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

PROFA. DRA. ISABÔ MELINA PASCOALOTO

UNIMAR - Universidade de Marília (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 29 de maio de 2025.

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 30/05/2025 16:06
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 3
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6141685)

Signatários do documento

JESSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI (FUNCIONÁRIO)

jessica.pqb@gmail.com
Recebido em 30/05/2025 16:06
Assinado em 30/05/2025 16:07
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 2804:18:1941:baa0:1e7d:a26e:fd07:8e7f
ID da assinatura: 4915623

CARLOS SÉRGIO TIRITAN (COORDENADOR DE CURSO)

tiritan@unoeste.br
Recebido em 30/05/2025 16:06
Assinado em 02/06/2025 13:01
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.131.33.2
ID da assinatura: 4915624

ISABÔ MELINA PASCOALOTO (SIGNATÁRIO EXTERNO)

isabomelina@gmail.com
Recebido em 30/05/2025 16:06
Assinado em 02/06/2025 12:54
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 191.241.23.30
ID da assinatura: 4915625

URL do documento: <https://www.unoeste.br/ca/d0897a88>

Assinatura digital do documento: 380f85e31eec0c7e829908d17cd550846edfbce2503f2aa507957880f17701d3

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:



DEDICATÓRIA

A elaboração deste trabalho só foi possível graças ao apoio e incentivo de várias pessoas. Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me dar forças e sabedoria para seguir em frente.

Gostaria de expressar minha gratidão a minha orientadora, Jéssica Pigatto Barcelos Putti, por sua orientação, paciência e valiosas contribuições ao longo deste processo. Sua dedicação e conhecimentos foram fundamentais para a realização deste trabalho.

A minha mãe, Audenir Gomes Garcez, por todo o amor, apoio e compreensão durante todos esses anos de estudo. Sem o suporte de vocês, esta conquista não seria possível.

Um agradecimento especial à minha namorada, Ully D'Avila de Oliveira e Silva, pelo amor, paciência e apoio constantes. Sua presença e incentivo foram essenciais durante todo o processo, me ajudando a superar os desafios e a manter o foco.

Aos meus colegas de estudo, Pedro Heinrich Panzner e Gabriel Santana Marques pelos momentos de convivência, motivação e apoio mútuo. Compartilhar esta jornada com vocês tornou tudo mais leve e enriquecedor.

À todos os professores e funcionários da UNOESTE, pelo apoio e ensino de qualidade, aos profissionais dos laboratórios de análises.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. A todos, meu sincero agradecimento.

"A vida precisa ser reinventada todos os dias. Não há caminho único, nem fórmula mágica. O segredo está em seguir com coragem, aprender com os tropeços e celebrar cada pequena conquista. O importante é nunca deixar de sonhar e acreditar que o amanhã pode ser ainda melhor."
(Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

Efeito da fertilização via solo e foliar com o micronutriente B em cultivares de soja em solos arenosos

As funções desempenhadas pelo micronutriente boro (B) impactam diretamente o potencial produtivo das plantas, logo, seu manejo adequado via adubação é uma tecnologia viável e sustentável para potencializar a produtividade dos sistemas de cultivo de soja em solos arenosos. O projeto de pesquisa investigou o efeito dos métodos de aplicação do micronutriente B na resposta dos componentes produtivos de cultivares de soja cultivados em solo arenoso. Em casa de vegetação, três métodos de aplicação de B – sem aplicação, nomeadamente de controle, adubação via solo e pulverização foliar, foram testados em cinco cultivares de soja. Dessa forma, totalizando quinze tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As plantas foram cultivadas em vasos preenchidos com solo de característica arenosa e com baixos teores disponíveis de B. No final do ciclo, os componentes de produção das plantas de soja foram avaliados, bem como os teores disponíveis de B nos grãos e no solo. Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). É notável no presente trabalho que a aplicação de Boro utilizada seguindo a recomendação da Embrapa Cerrado não obteve um aumento esperado em suas avaliações propostas nem na aplicação via solo nem na aplicação foliar apresentando uma possível toxidez, com poucas diferenças significativas entre os tratamentos e as diferenças entre as cultivares podendo ser levado em consideração a característica de cada uma. A cultivar 64ho114ipro apresentou maior produtividade entre as cultivares para o tratamento controle. Concluímos que a resposta aos métodos de aplicação de B varia entre as cultivares. Mais estudos devem ser realizados a fim de entender melhor a interação entre os métodos de aplicação e novas cultivares de soja.

Palavras-chave: Boro; solos arenosos; micronutrientes; métodos de aplicação.

ABSTRACT

Effect of soil and foliar fertilization with micronutrient B in soybean cultivars in sandy soils

The functions performed by the micronutrient boron (B) have a direct impact on the productive potential of plants. Therefore, its proper management through fertilization is a viable and sustainable technology to enhance the productivity of soybean cropping systems in sandy soils. This research project investigated the effect of different B application methods on the yield components of soybean cultivars grown in sandy soil. In a greenhouse setting, three B application methods — no application (control), soil fertilization, and foliar spraying — were tested across five soybean cultivars, totaling fifteen treatments arranged in a completely randomized design with four replications. The plants were grown in pots filled with sandy soil characterized by low available B content. At the end of the crop cycle, the yield components of the soybean plants were evaluated, as well as the B concentrations in the grains and soil. The data were subjected to normality tests and analysis of variance, and when significant, means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). In this study, it was observed that B application, following the recommendation of Embrapa Cerrado, did not result in the expected improvements in the evaluated parameters — neither through soil application nor foliar spraying — suggesting a possible toxicity, with few significant differences between treatments. The variation among cultivars may be attributed to their genetic characteristics. The cultivar 64HO114 IPRO showed the highest productivity among the cultivars under the control treatment. We conclude that the response to B application methods varies among cultivars. Further studies are needed to better understand the interaction between application methods and newly developed soybean cultivars.

Keywords: Boron; sandy soils; micronutrients; application methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 —	Esquema ilustrativo do experimento em casa de vegetação demonstrando os três métodos de aplicação do micronutriente B a serem testados nas plantas de soja.....	20
Figura 2 —	Número de vagens por planta após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	25
Figura 3 —	Número de grãos por planta após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	28
Figura 4 —	Produtividade da soja (g planta ⁻¹) após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	29
Figura 5 —	Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Classes de interpretação da disponibilidade do micronutriente B em solos tropicais nos manuais de recomendação de calagem e adubação utilizados no Estado de São Paulo.....	15
Tabela 2 —	Cultivares com suas características conforme o tipo de crescimento e seu grupo de maturação.....	20
Tabela 3 —	Dados da Análise Química e Física do Solo utilizado no experimento...	21
Tabela 4 —	Tabela de p valores para as variáveis analisadas ao nível de 5 % de significância para o teste F, após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	24
Tabela 5 —	Número médio de grãos por vagem após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.....	26
Tabela 6 —	Número vagens com um, dois ou três grãos por vagem após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.....	26
Tabela 7 —	Concentração de B nos grãos após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	30
Tabela 8 —	Exportação de B nos grãos após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.....	30
Tabela 9 —	Concentração de B no solo ao final do experimento após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Cultivo da soja em solos tropicais.....	13
2.2	Recomendação da adubação de boro para a soja.....	14
2.3	Micronutriente boro.....	15
2.3.1	Planta.....	15
2.3.2	Solo.....	15
2.4	Ácido Bórico.....	16
3	OBJETIVO.....	18
3.1	Objetivo geral.....	18
3.2	Objetivo específico.....	48
4	METODOLOGIA.....	19
4.1	Delineamento experimental.....	19
4.2	Condução do experimento.....	21
4.3	Parâmetros avaliados.....	22
4.3.1	Componentes de produtividade.....	22
4.3.2	Concentração e exportação de B nos grãos.....	22
4.3.3	Teores de B no solo.....	23
4.4	Análise dos resultados.....	23
5	RESULTADOS.....	24
6	DISCUSSÃO.....	33
7	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem se consolidado como o maior produtor de soja do mundo, posição que manteve durante a safra 23/24, com produção estimada de 153 milhões de toneladas conforme dados da USDA. Os Estados Unidos e a Argentina seguem como os principais concorrentes, com produções estimadas de 113.27 milhões e 48.21 milhões de toneladas respectivamente (USDA, 2023).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra 2023/2024, o Brasil produziu 147.718,7 milhões de toneladas do grão da soja, com uma expectativa para esta safra 2024/2025 um aumento de 12,6% na produção com o levantamento feito na primeira semana de janeiro de 2025 totalizando 166.328,4 milhões de toneladas, e uma produtividade média esperada de 3.509 kg/há, ou seja, 58.48 sacas de soja por hectare (CONAB, 2023).

Dentre os nutrientes necessários para garantir boas produtividades na cultura da soja, destaca-se o micronutriente boro (B), o B vem sendo muito utilizado em pesquisas devido à sua importância para a cultura da soja, especialmente em solos arenosos, onde sua mobilidade pode resultar em perdas por lixiviação (Berti *et al.*, 2019). A sua função no metabolismo da planta, sendo importante para um aumento de produção e a qualidade das sementes, tendo a soja como uma das culturas mais exigentes neste micronutriente com a fase reprodutiva a fase mais importante pois é no período de desenvolvimento de novos órgãos de reserva (Berti *et al.* 2019). A soja é uma cultura particularmente exigente nesse micronutriente, principalmente na fase reprodutiva, período crítico para a formação de novos órgãos de reserva (Furlani *et al.*, 2001). O B desempenha funções essenciais no metabolismo das plantas, sendo fundamental para o crescimento, estando envolvido na divisão e na elongação celular, na germinação do pólen, elongação do tubo polínico e fecundação garantindo a formação da semente incrementando a produção (Furlani *et al.*, 2001).

O manejo do boro tem se tornado cada vez mais relevante, especialmente com o desenvolvimento de cultivares mais exigentes em nutrição mineral, a aplicação desse micronutriente pode ser realizada tanto via solo quanto via foliar, sendo que cada método apresenta vantagens e desafios (Gomes 2016). Enquanto a aplicação no solo permite a disponibilidade contínua do nutriente, a aplicação foliar proporciona uma absorção mais rápida e pode corrigir deficiências pontuais de forma mais eficiente, entretanto doses excessivas de boro podem ser tóxicas para a planta,

resultando em reduções significativas na produtividade ou até mesmo na morte da cultura (Meneghette *et al.*, 2023). As dosagens foliares de micronutrientes geralmente são bem abaixo de aplicações feito via solo, a distribuição é uniforme e mais fácil com uma resposta maior da planta a aplicação, podendo ter uma correção mais rápida de uma possível deficiência da planta deste micronutriente (Calonego *et al.*, 2010).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivo da soja em solos tropicais

A soja (*Glycine max* [L.] Merr) é a leguminosa cultivada de maior relevância global. O alto teor de proteína de seus grãos – cerca de 40 % – representa parte nutricional importante da dieta de humanos e animais, além de suas amplas aplicações industriais (Reenberg; Fenger, 2011).

A introdução de cultivares de soja adaptados às condições tropicais de baixa latitude fizeram parte do programa brasileiro de incentivo ao cultivo de soja na década de 1960 e disseminaram seu cultivo nacionalmente. Eficiência da colheita mecanizada, resistência a doenças e pragas, bem como tolerância a solos de baixa fertilidade foram os objetivos desse programa (Cattelan; Dall'Agnol, 2018). Nesse contexto deve-se destacar as tecnologias de manejo nutricional adotadas na cultura da soja, uma vez que os fertilizantes impactam significativamente o custo de produção e proporcionam efeitos diretos na produtividade, logo, na rentabilidade e na sustentabilidade dos sistemas de cultivo com essa leguminosa. Atualmente, a recomendação de adubação para soja é realizada com a interpretação da análise do solo visando a aplicação de quantidades adequadas dos nutrientes, logo, proporcionando maior eficiência de uso pelas plantas (Seixas *et al.*, 2020). Práticas como calagem, gessagem, inoculação com bactérias fixadoras para suprimento de nitrogênio (N), adubação com os macronutrientes fósforo (P) e potássio (K), bem como do micronutriente boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo) e, do elemento benéfico cobalto (Co), são amplamente adotadas no cultivo sojícola (Seixas *et al.*, 2020).

No entanto, com o surgimento de cultivares modernos de soja cada vez mais produtivos e mais exigentes em nutrientes, surge uma preocupação em termos da recomendação de adubação vigente não suprir a demanda nutricional das plantas, consequentemente, o máximo potencial produtivo dessas cultivares provavelmente não está sendo expresso (Bruin; Pedersen, 2009). Ademais o cultivo desses cultivares em solos tropicais, usualmente de baixa fertilidade natural, associado a características arenosas pode potencializar esse problema, ou seja, as limitações nutricionais podem estar afetando negativamente os índices produtivos (Hellal; Abdelhamid, 2013). Os solos de granulometria grosseira e pouco reativos favorecem a mobilidade dos

nutrientes no perfil e causam perdas por lixiviação, logo, reduzindo a disponibilidade dos nutrientes as plantas (Huang; Hartemink, 2020).

Nesse cenário, o micronutriente B pode ser o aliado ideal para potencializar a produtividade das novas cultivares de soja cultivados em solos arenosos, uma vez que esse micronutriente desempenha funções diretamente relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, impactando as respostas produtivas. Para tal, faz-se necessário melhor compreender a resposta desses novos cultivares a fertilização boratada quando cultivados em solos arenosos.

2.2 Recomendação da adubação de boro para a soja

Atualmente a recomendação de adubação do B é baseada nos teores disponíveis desse micronutriente no solo com determinação pelo método de extração em água quente (Raij *et al.*, 2001). Na Tabela 1 são apresentadas as classes de interpretação dos teores disponíveis adotadas para recomendação da fertilização desse micronutriente. Segundo Manual de Recomendação de Adubação e Calagem do Estado Paulista a deficiência de B em soja é pouco comum, mas em caso de deficiência, recomenda-se realizar adubação de semeadura com a dose de 1 kg de B ha⁻¹ (Cantarella *et al.*, 2022). O manual do Cerrado, recomenda quando os teores se encontram na classe baixo aplicar a lanço 2 kg de B ha⁻¹ ou parcelar a dose em três partes iguais e aplicar no sulco de semeadura em três cultivos sucessivos. Para o nível médio de disponibilidade, deve-se aplicar no sulco 1/4 da dose recomendada de 2 kg ha⁻¹. No nível alto recomenda-se não fazer nenhuma aplicação. Em caso de sintomas de deficiência durante o cultivo aplicar solução com 0,5% de bórax ou 0,3% de ácido bórico (Sousa; Lobato, 2004). Tais manuais sugerem o parcelamento da adubação boratada em solos arenoso, devido sua alta lixiviação no perfil do solo.

As principais fontes de fertilizantes utilizadas para fornecimento do B são ácido bórico, octaborato de sódio, bórax, pentaborato de sódio, ulexita, colemanita e hidroboracita (Cantarella *et al.*, 2022).

Tabela 1 — Classes de interpretação da disponibilidade do micronutriente B em solos tropicais nos manuais de recomendação de calagem e adubação utilizados no Estado de São Paulo.

Classes	Cerrado
Baixo	0,0 – 0,2
Médio	0,3 – 0,5
Alto	> 0,50

Fonte: (Sousa; Lobato, 2004).

Nota: Teores disponíveis determinados pelo método da água quente.

2.3 Micronutriente boro

2.3.1 Planta

O micronutriente B desempenha funções vitais para o desenvolvimento das plantas, promovendo a integridade estrutural e funcional da parede celular e membranas, fluxos de íons, divisão celular e alongamento, atua no metabolismo do N e carboidratos, no transporte de açúcar, nas enzimas ligadas ao plasmalema, ácido nucleico, ácido indolacético, poliaminas, ácido ascórbico e metabolismo fenólico (Shireen *et al.*, 2018; Mousavi; Raiesi, 2022). Ressalta-se que esse micronutriente está envolvido no processo de crescimento e desenvolvimento do tubo polínico, dessa forma, promove maior floração e formação de sementes, reduzindo a incidência de grãos vazios (Holdaway-Clarke, Hepler, 2003), por conseguinte, sua deficiência afetar diretamente os componentes produtivos das plantas (Saleem *et al.*, 2011).

Na soja a concentração adequada de B no tecido vegetal é de 21 a 55 mg kg⁻¹ (Sousa; Lobato, 2004; Cantarella *et al.*, 2022). Segundo Ross *et al.* (2006), Seixas *et al.* (2020) e Cantarella *et al.* (2022) em condições de cultivo a campo em solos tropicais não é comum observar-se sintomas visíveis da deficiência de B na soja. Contudo, em solos de classe textural arenosa e com baixos teores de matéria orgânica a sintomatologia pode ser expressa e caracteriza-se por alterações na anatomia do limbo das folhas novas, morte da gema com perda da dominância apical, superbrotamento de gemas laterais e seca de ponteiros (Shireen *et al.*, 2018), repercutindo negativamente nos índices produtivos (Rerkasem; Jamjod; Pausadee, 2020).

2.3.2 Solo

Nos solos o B é considerado o elemento mais móvel entre os micronutrientes, embora sua fração solúvel em água seja relativamente baixa, com valores entre 3 a 5% dos teores totais. Sua baixa disponibilidade ocorre frequentemente em solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e com valores elevados de pH (Padbhushan; Kumar, 2017). Esse micronutriente encontra-se majoritariamente disponível na forma de ácido bórico, ou seja, não dissociado e com carga neutra, dessa forma, apresenta alta mobilidade no perfil do solo e consequentemente sofre intensas perdas por lixiviação (Padbhushan; Kumar, 2017). Além disso, as condições de déficit hídrico podem acentuar a deficiência de B mesmo em solos com teores adequados, uma vez que sua movimentação até o sistema radicular das plantas é controlada por fluxo de massa e, portanto, a quantidade de B absorvida, depende do volume de solo explorado pelas raízes e da quantidade de água absorvida pelas plantas (Wimmer; Eichert, 2013).

Nesse contexto, um ponto chave para a supressão da deficiência de B no cultivo da soja em solos arenosos a sua fertilização é feita via solo ou com pulverização foliar, muitas vezes prática de manejo negligenciada pelos agricultores (Cirak *et al.*, 2006; Ross *et al.*, 2006; Fujiyama *et al.*, 2019; Traspadini *et al.*, 2022).

2.4 Ácido bórico

O aumento da produtividade de soja por meio da adubação com boro ainda requer muita eficiência na sua aplicação. A escolha da fonte adequada, o modo de aplicação (seja via solo ou foliar), e a dose correta são fatores cruciais para otimizar os resultados. Apesar de frequentemente ser aplicado em quantidades menores, o custo da adubação boratada permanece elevado para os produtores, exigindo um manejo criterioso (Meneghette, 2023).

O ácido bórico (H_3BO_3) é principal a fonte de boro utilizada na agricultura, sendo importada principalmente do Chile e da Argentina (Rodrigues *et al.*, 2019). Os principais métodos de fornecimento deste micronutriente incluem aplicação via solo e via foliar. Entretanto, ambos apresentam desvantagens a serem consideradas (Meneghette, 2023). Quando se trata de aplicação via solo, o boro pode ser perdido por lixiviação, especialmente em cultivos em solos arenosos, ou então pode ser acumulado em níveis tóxicos para as plantas. A aplicação foliar, por sua vez, por

causar fitotoxicidade se a dosagem não for corretamente ajustada (Meneghette, 2023).

Embora existam diversos estudos sobre a aplicação de boro em soja, a definição do método mais eficaz ainda é um desafio uma vez que fatores como características do solo, solubilidade da fonte utilizada e condições ambientais afetam diretamente a resposta da planta ao micronutriente. Esse desafio se torna ainda maior quando consideramos diferentes materiais genéticos e suas respostas fenológicas (Rodrigues *et al.*, 2019).

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Investigar o efeito dos métodos de aplicação do micronutriente B na resposta dos componentes produtivos de cultivares de soja cultivados em solo arenoso.

3.2 Objetivo específicos

- Comparar a produtividade das 5 cultivares de soja sob os diferentes tratamentos de adubação com boro (solo, folha, testemunha).
- Analisar a exportação de boro para os grãos de cada cultivar sob os diferentes tratamentos.
- Avaliar a quantidade de vagens por planta em cada cultivar sob os diferentes métodos de adubação com boro.
- Determinar qual método de adubação com boro é mais eficaz para cada cultivar em termos de produtividade e exportação de boro.
- Identificar possíveis interações entre os tratamentos de boro e as características específicas de cada cultivar

4 METODOLOGIA

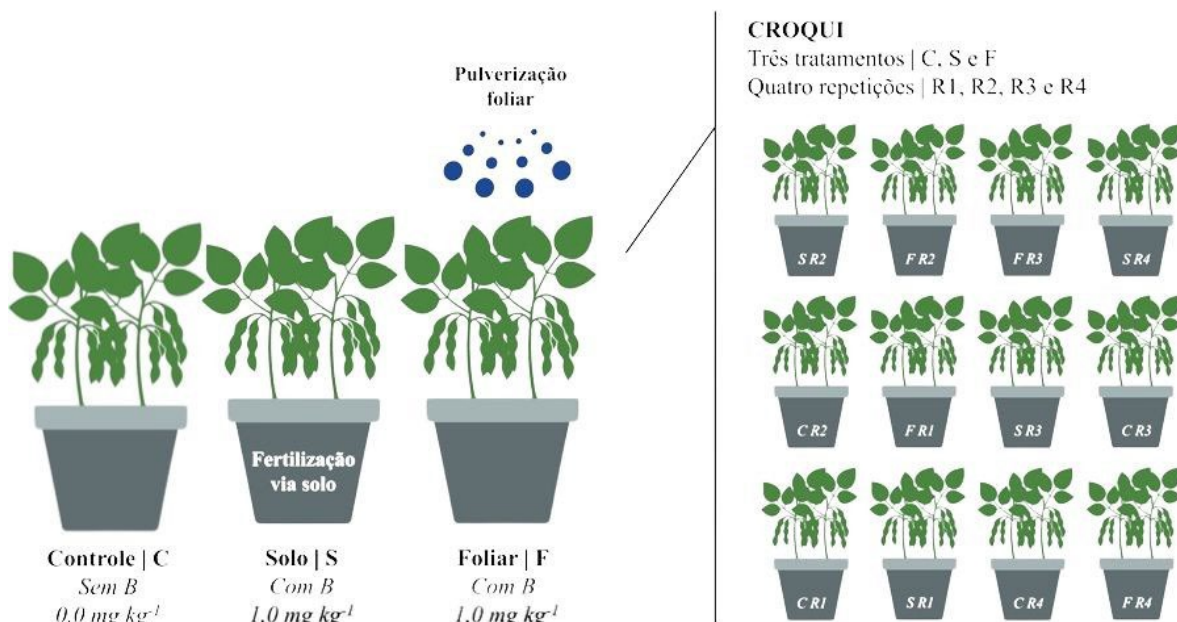
4.1 Delineamento experimental

Foram testados três métodos de aplicação do micronutriente B em plantas de soja, ou seja, três tratamentos: 1) Sem aplicação de B – nomeadamente de Controle, 2) Adubação de B via solo – Solo e 3) Pulverização foliar de B – Foliar em 5 cultivares de soja, compondo um esquema fatorial 5 x 3, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As doses para fertilização de B adotadas nesse estudo seguiram a recomendação de Sousa e Lobato (2004). Portanto, foi adotado para adubação via solo a dose de 1,0 mg de B kg⁻¹ e para pulverização foliar com a mesma dose via solo foi parcelada em distintos estádios de fenológicos das plantas de soja (Figura 1). A fonte utilizada para fornecimento de B foi uma solução de ácido bórico (H₃BO₃) preparada com as doses testadas.

A dose de B utilizada para fertilização da soja segue a recomendação de Sousa e Lobato (2004). Para o fornecimento dos tratamentos de B via solo, uma solução utilizando ácido bórico (H₃BO₃) na dosagem testada foi aplicada concomitantemente com a fertilização dos outros nutrientes juntamente com o manejo e correção da fertilidade do solo, ou seja, incorporada e homogeneizada ao solo na semeadura (Figura 1), totalizando uma dose de 1,0 mg kg⁻¹ de B

Para pulverização foliar de B, a dose de 1,0 mg de B kg⁻¹ foi parcelada em dois estádios fenológicos da soja: 1) V₃/V₄ (dois/três trifólios completamente desenvolvidos) aplicados no dia 09 de dezembro de 2023 e no estágio R₁/R₂ (uma flor aberta em qualquer nó ou em um dos dois nós superiores na haste principal aplicado no dia 15 de janeiro de 2024 (Fehr; Caviness, 1977)). A aplicação via foliar foi feita isolando os vasos de todos os tratamentos via foliar, e lacrando com um papel insulfilm para que não houvesse resquícios desta aplicação no solo, depois de estipulado o volume de calda de aplicação para cada vaso o mesmo foi separado e usando um borrifador aplicado por toda a área foliar da planta.

Figura 1 — Esquema ilustrativo do experimento em casa de vegetação demonstrando os três métodos de aplicação do micronutriente B a serem testados nas plantas de soja.



Fonte: O autor.

Nota: Controle – sem aplicação de B, adubação via solo e pulverização foliar, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando doze parcelas.

A escolha das cultivares de soja utilizadas nesse estudo seguiu os critérios de regionalização, ou seja, cultivares indicados para macrorregião Centro-Sul e regiões edafoclimáticas 201, 202, 203 e 204 dos Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul (Kaster; Farias, 2012), bem como o potencial genético produtivo dos cultivares, serão empregados. As cultivares utilizadas e suas características estão descritas na Tabela 2 e todas foram escolhidas quanto ao seu nível de exigência em fertilidade.

Tabela 2 — Cultivares com suas características conforme o tipo de crescimento e seu grupo de maturação.

Cultivares	Tipo de Crescimento/Grupo de Maturação	Fertilidade do solo	Resistência
64ho114 ipro	Indeterminado - Médio	Média/alta	Cancro da Haste, Pústula Bacteriana, Podridão de Fitóftora

NS 6700 ipro	Indeterminado - Normal	Média/alta	Acamamento, Cranco da Haste
Cz 37b43 ipro	Indeterminado - Normal	Média/alta	Macrophomina
NS 7709 ipro	Indeterminado - Normal	Média/alta	Cancro da haste, fitofora, mancha olho de rã, acamamento,
BRS 1061 ipro	Indeterminado - Médio	Alta	Cancro da haste, podridão radicular fitofora, mosaico comum da soja

Fonte: O autor.

4.2 — Condução do experimento

O presente projeto foi desenvolvido no Campus 2 da Unoeste, Universidade do Oeste Paulista, Rodovia Raposo Tavares, Km 572, Bairro Limoeiro, onde foi executado em casa de vegetação.

O experimento foi realizado em casa de vegetação, as cultivares de soja foram semeadas no dia 09 de novembro de 2023 em vasos com capacidade de 5 L contendo solo de classe textural arenosa. O solo utilizado apresentava baixos teores disponíveis de B, tendo sido previamente selecionado e caracterizado para condução do experimento (Tabela 3).

Tabela 3 — Dados de Análises química e física do solo utilizado no experimento.

P_{resina}	SO_4^{2-}	MO	pH	H^+ Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	K^+	SB
$mg\ dm^{-3}$		$g\ dm^{-3}$	CaCl ₂	----- $mmol_c\ dm^{-3}$ -----					
3,65	49,8	2,7	4,5	1,81	6,15	5,65	2,00	1,05	12,90
Zn	Cu	Mn	Fe	B	Argila	Silte	Areia	CTC efetiva	CTC Total
----- $mg\ dm^{-3}$ -----					----- % -----			$mmol_c\ dm^{-3}$	
0,1	0,15	0,5	9,55	0,25	19,05	7,55	73,4	14,9	31,0

Fonte: O autor.

Antes da semeadura foram feitas as correções de pH do solo, a fertilização com os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Cl, Ni, Mn, Zn, Cu e Mo, bem como do elemento benéfico Co, tendo incorporados via solo e homogeneizados, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004) e Cantarella *et al.* (2022), de acordo com a análise de solo

(Tabela 3). Para aquisição do macronutriente N, antes da semeadura, as sementes de soja foram inoculadas com bactérias fixadoras de N₂ (*Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*).

Foram semeadas 10 sementes por vasos, no dia 26 de novembro de 2023, 17 dias após o plantio foi feito o desbaste deixando apenas duas plantas por vaso.

No manejo do experimento, o controle fitossanitário foi realizado tendo a necessidade do controle de Tripes, aplicando o inseticida Imidacloprid no dia 21 de janeiro de 2024 e as irrigações foram realizadas diariamente com água deionizada mantendo a umidade do solo próximo à capacidade de campo.

A colheita foi iniciada no dia 03 de março de 2024 quando 80% dos vasos estavam no seu estágio de maturação final. As plantas foram desbastadas e armazenadas em envelope pardo individualmente e anotadas quais plantas de cada vaso, o restante da colheita foi progredindo conforme os vasos restantes foram atingindo o final do ciclo.

4.3 — Parâmetros avaliados

4.3.1 Componentes de produtividade

A avaliação dos componentes produtivos das plantas de soja foi realizada no estágio fenológico R8 – final do ciclo com as vagens apresentando umidade inferior a 15%. Para tal, após a colheita, as vagens e grãos foram contados e pesados para determinação do número e peso por planta, bem como do número de grãos por vagem, número de vagens por planta.

Para o cálculo da produtividade, a umidade dos grãos foi determinada pelo método da estufa à 105 ± 3°C por 24 h (Brasil, 2009) e corrigida para 13%, obtendo-se a produtividade em g/planta.

4.3.2 Concentração e exportação de B nos grãos

Após a colheita dos grãos de B e determinação da produtividade, os grãos foram secos em estufa a 65°C por 48h, e posteriormente moídas em moinho tipo

Wiley. As concentrações de B nos grãos foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Os dados de produtividade por planta (g/planta) e a concentração de B nos grãos (mg/kg) foram multiplicados, obtendo-se o valor de B exportado por planta expresso em mg/planta.

4.3.3 Teores de B no solo

Simultaneamente a colheita, amostras de solo foram coletadas e, após processamento, ou seja, secagem e moagem, os teores disponíveis de B foram extraídos pelo método da água quente e determinados colorimetricamente no comprimento de onda de 420 nm, detalhes metodológicos em Raij *et al.* (2001).

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias residuais pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância, e quando significativos a 5% de probabilidade, foram realizadas análise de teste de Tukey ($p < 0,05$). Essas análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

As variáveis foram submetidas a análise de correlação de Pearson, utilizando-se o software R-Studio.

5 RESULTADOS

Os dados de p valor estão apresentados na Tabela 4. Todas as variáveis analisadas apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro no teste F para a interação entre os fatores Cultivar x Aplicação.

Tabela 4 — Tabela de p valores para as variáveis analisadas ao nível de 5 % de significância para o teste F, após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.

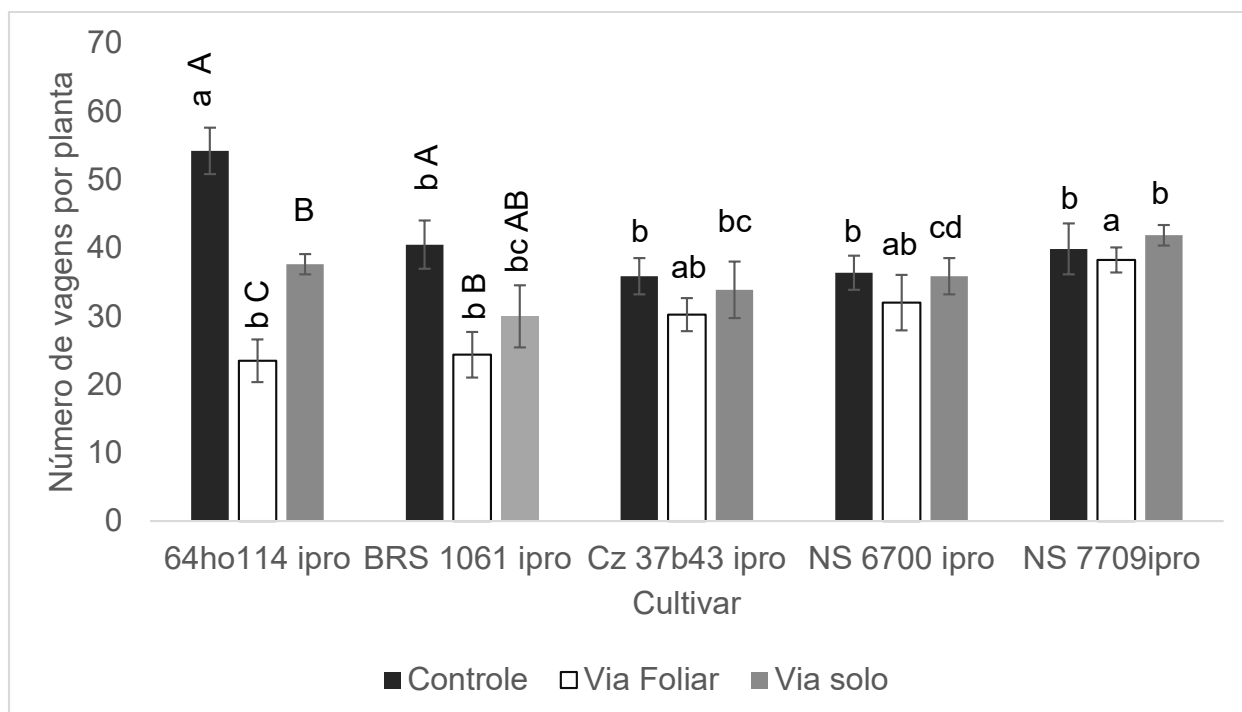
	NVP	NGV	NGP	Produtividade
Cultivar (C)	0,010	<0,001	<0,001	0,012
Aplicação (A)	<0,001	0,028	<0,001	<0,001
C x A	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	17,62	7,04	16,31	17,42
	B Grãos	ExpB	B solo	
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,009	
Aplicação (A)	0,040	0,003	<0,001	
C x A	<0,001	<0,001	<0,001	
CV (%)	9,85	19,51	21,90	
	NV1G	NV2G	NV3G	NV4G
Cultivar (C)	0,215	<0,001	<0,001	0,090
Aplicação (A)	<0,001	<0,001	<0,001	0,742
C x A	<0,001	0,035	<0,001	0,899
CV (%)	23,38	20,76	22,62	22,86

Fonte: O autor.

Legenda: NVP: número de vagens por planta; NGP: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por vagem; NV1G: número de vagens com um grão; NV2G: número de vagens com dois grãos; NV3G: número de vagens com três grãos; NV4G: número de vagens com quatro grãos.

Na figura 2 está demonstrada o desdobramento da interação entre cultivar e aplicação para o número de vagens. De maneira geral, as cultivares apresentaram comportamentos distintos para o número de vagens com diferentes métodos de aplicação de B. As cultivares *Cz 37b43 ipro*, *NS 6700 ipro* e *NS 7709 ipro*, não apresentaram diferença significativa para a aplicação de B, com número médio variando entre 22 e 55 vagens por planta, entre as cultivares. A cultivar *64ho114 ipro* teve o número de vagens reduzido com a aplicação de B na folha, com relação ao controle. A cultivar *BRS1061ipro* também apresentou uma redução no número de vagens para o tratamento foliar, entretanto a aplicação via solo não diferiu nem do controle nem da aplicação via foliar.

Figura 2 — Número de vagens por planta após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.



Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

O número médio de grãos por vagem, de maneira geral, variou entre as cultivares (Tabela 5). Dentre as cinco cultivares estudadas, apenas duas cultivares foram influenciadas pelos métodos de aplicação de B, sendo a cultivar *BRS 1061 ipro*, *NS 6700 ipro*. A cultivar, *BRS 1061 ipro* apresentou menor média de grãos por vagem para aplicação via solo, com relação aos demais métodos, enquanto para a cultivar *NS 6700 ipro* a aplicação via solo foi inferior apenas a aplicação via foliar.

Tabela 5 — Número médio de grãos por vagem após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.

Aplicação	Controle	Via Foliar	Via solo
Cultivares			
64ho114 ipro	2.4±0.02 ab	2.2±0.03 bc	2.4±0.05 c
BRS 1061 ipro	2.4±0.01 ab A	2.2±0.09 bc A	1.8±0.14 c B
Cz 37b43 ipro	2.6±0.02 a	2.5±0.09 a	2.4±0.12 a
NS 6700 ipro	2.2±0.08 bc B	2.5±0.11 ab A	2.0±0.09 bc B
NS 7709ipro	1.9±0.10 c B	2.1±0.05 c AB	2.2±0.01 ab A

Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Na tabela 6 estão demonstradas as quantidades de vagens com um, dois ou três grãos. O número de vagens com quatro grãos foi igual ou menor que uma por planta, e não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3).

As cultivares *BRS 1061 ipro* e *NS 6700 ipro*, embora tenham apresentado diferença no número médio de grãos por vagem, a distribuição de grãos por vagem em porcentagem não auxilia na percepção dessa diferença.

Levando em consideração o número de grãos por vagens, tanto com um, dois ou três grãos por vagem não apresentou muita diferença o mesmo tratamento nas diferentes cultivares, podendo nos dizer que é uma característica de cada cultivar a quantidade de grãos que ela produz, mas ainda tendo um efeito pelo tratamento que cada cultivar recebe, no caso de nosso trabalho o tratamento controle obteve na maiorias das cultivares uma diferença significativa em vagens com três grãos do que os tratamentos com aplicações de B. A cultivar 64ho114 ipro foi a única que apresentou diferença do controle em comparação aos outros tratamentos tanto em vagens com um, dois ou três grãos.

Tabela 6 | Número vagens com um, dois ou três grãos por vagem após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.

Aplicação	Controle	Via Foliar	Via solo
Cultivares	Número de vagens com 1 grão		

64ho114 ipro	5,25±0,54 a A	1,75±0,24 b C	3,50±0,37 b B
BRS 1061 ipro	3,50±0,43 bc	2,50±0,14 ab	3,25±0,35 b
Cz 37b43 ipro	2,00±0,31 c B	3,25±0,31 ab B	5,25±0,62 a A
NS 6700 ipro	3,75±0,20 ab	2,50±0,24 ab	3,50±0,43 b
NS 7709ipro	4,75±0,48 ab A	3,75±0,20 a AB	3,00±0,43 b B
Cultivares	Número de vagens com 2 grãos		
64ho114 ipro	18,25±1,85 a A	9,25±0,46 b B	16,50±1,01 b A
BRS 1061 ipro	16,25±0,48 ab A	8,75±0,98 b B	11,75±1,67 bc AB
Cz 37b43 ipro	11,50±0,75 b	9,00±1,33 b	10,24±1,17 c
NS 6700 ipro	15,25±1,33 ab	14,25±1,65 b	15,75±1,80 bc
NS 7709ipro	21,00±3,22	21,25±1,81 a	25,50±1,39 a
Cultivares	Número de vagens com 3 grãos		
64ho114 ipro	21,75±3,02 a A	10,50±1,27 ab B	18,25±1,71 a A
BRS 1061 ipro	14,00±1,09 b A	7,50±1,13 ab B	8,75±1,18 b B
Cz 37b43 ipro	20,50±2,15 a A	13,00±1,13 a B	13,50±0,94 ab B
NS 6700 ipro	9,50±1,14 bc	10,75±1,24 ab	11,25±0,96 b
NS 7709ipro	5,75±0,79 c B	7,25±0,59 b B	12,25±0,62 b A

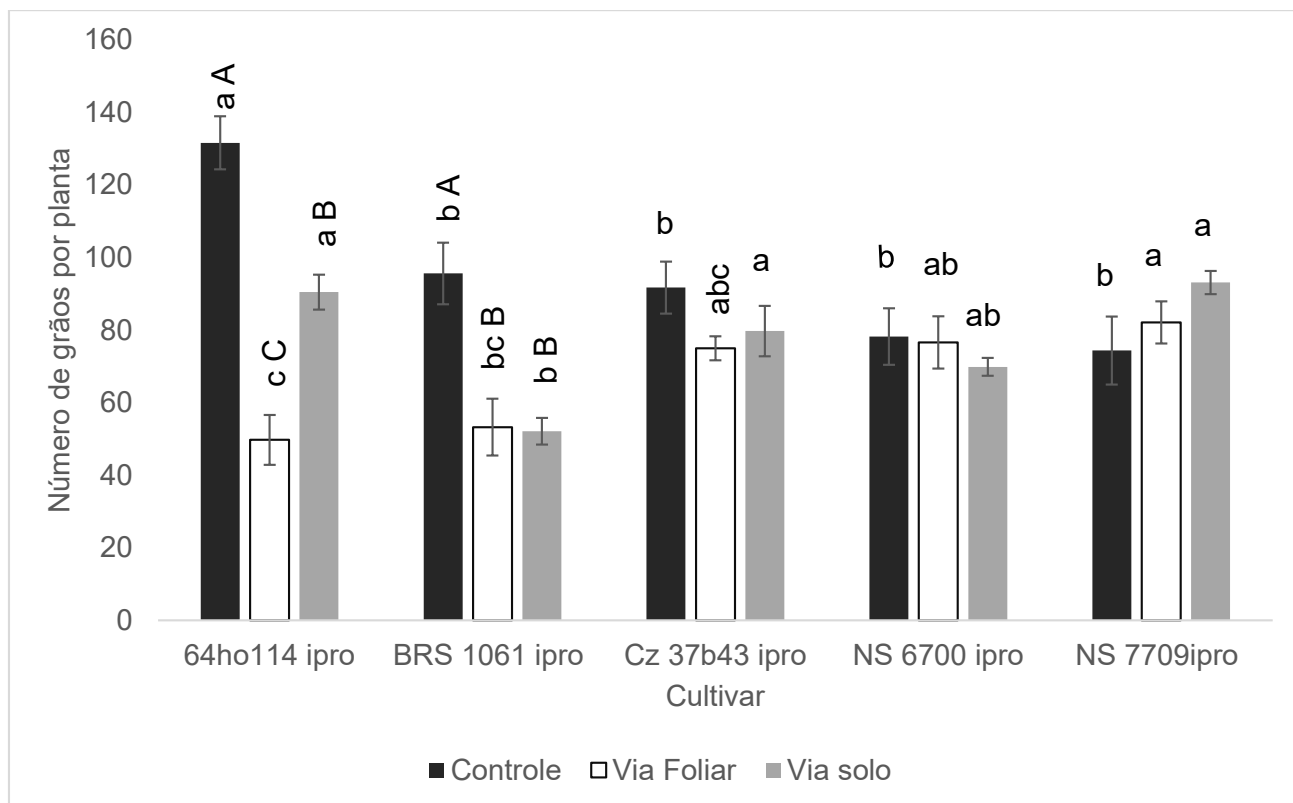
Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

O número de grãos por plantas também variou entre as cultivares (Figura 3), e apresentou resposta similar ao número de vagens por planta (Figura 2). As cultivares, *Cz 37b43 ipro*, *NS 6700 ipro* e *NS 7709 ipro*, não apresentaram diferença significativa para os métodos de aplicação de B.

As cultivares *64ho114 ipro* e *BRS 1061 ipro* apresentaram efeito negativo no número de grãos por planta para a aplicação de B (Figura 3). A primeira teve maior redução no número de grãos por planta para o tratamento foliar do que para a aplicação via solo, com diferenças de 62% e 31%, respectivamente. Já a cultivar BRS 1061 ipro obteve uma redução média de 45% entre a aplicação de B e o controle, independentemente do método.

Figura 3 — Número de grãos por planta após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.

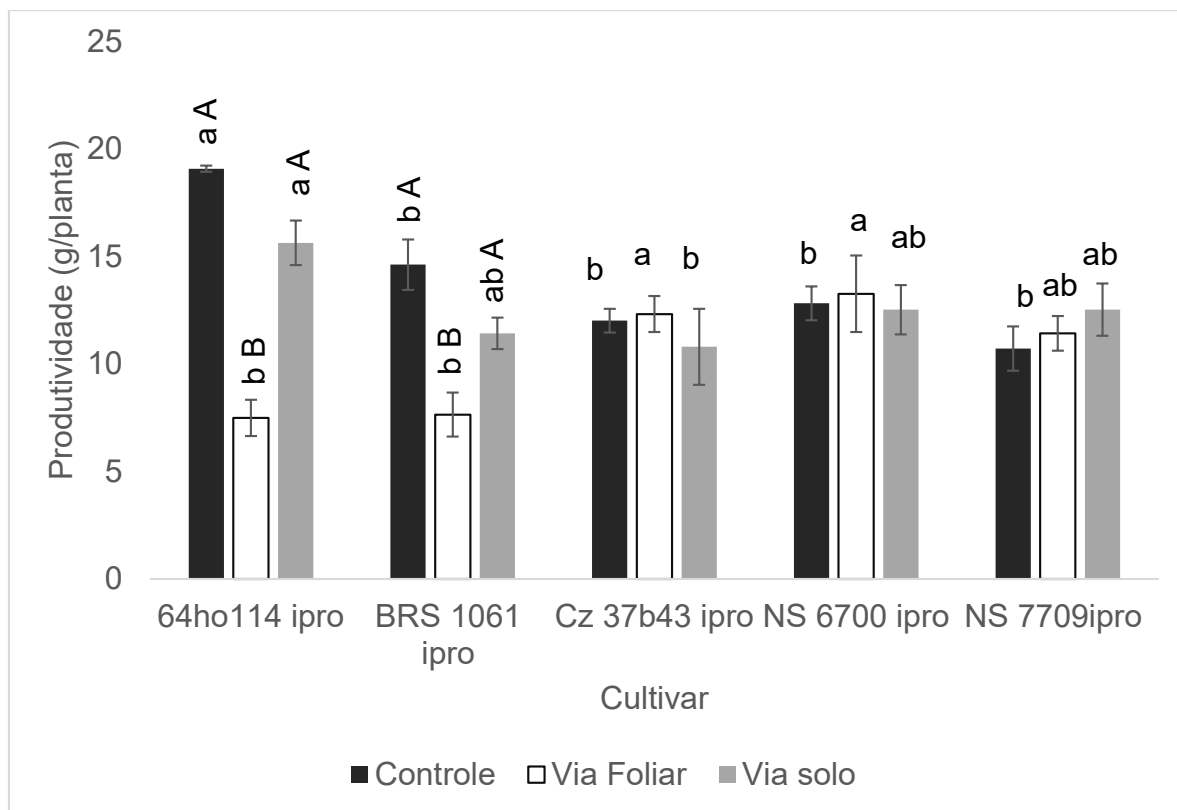


Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Embora as respostas em número de vagens por planta (Figura 2) e número de grãos por planta (Figura 3) tenham apresentado tendências similares, essa similaridade não foi traduzida para todos os cultivares nos resultados de produtividade (Figura 4). As cultivares *Cz 37b43 ipro*, *NS 6700 ipro* e *NS 7709 ipro*, não foram significativamente afetados pelos métodos de aplicação de B. A produtividade dessas cultivares foi de 13 g planta⁻¹. A cultivar *64ho114 ipro* apresentou 56% maior produtividade, para aplicação via solo em comparação com a aplicação foliar. As demais cultivares, embora tenham apresentado efeito significativo para os métodos de aplicação, esses não foram tão destacados dos demais.

Figura 4 — Produtividade da soja (g planta⁻¹) após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.



Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Os teores de B nos grãos variaram entre as cultivares, com médias entre 17,25 e 31,81 mg kg⁻¹ (Tabela 7), e seguiram tendências distintas das apresentadas pelas variáveis biométricas. As cultivares *BRS 1061 ipro*, e *NS 7709 ipro*, não foram significativamente afetados pelos métodos de aplicação de B. A cultivar *64ho114 ipro* teve maior concentração B nos grãos para a aplicação via foliar, com relação ao controle, mas esses tratamentos não foram diferentes da aplicação via solo. Já a cultivar *NS 6700 ipro* apresentou maior concentração de B nos grãos para a aplicação via solo com relação ao tratamento controle, sem apresentarem diferenças com o tratamento foliar. Por fim, a cultivar *Cz 37b43 ipro* obteve maior teor de B nos grãos para o tratamento controle, em comparação com a aplicação via solo, porém esses não foram diferentes da aplicação foliar de B.

Tabela 7 — Concentração de B nos grãos após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.

Aplicação	Controle	Via Foliar	Via solo
Cultivares	(mg kg ⁻¹)		
64ho114 ipro	19.92±0.32 b B	27.05±0.73 a A	25.02±1.57 b A
BRS 1061 ipro	24.17±0.41 ab	26.62±0.59 a	23.41±0.95 b
Cz 37b43 ipro	23.50±1.07 ab A	21.12±1.03 b AB	17.25±0.95 c B
NS 6700 ipro	21.97±0.72 ab C	27.44±2.42 a B	31.81±1.59 a A
NS 7709ipro	26.25±0.74 a	23.12±1.44 ab	25.56±1.50 b

Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Os teores de B exportados nos grãos variaram de 0,18 a 0,39 mg g⁻¹ de grãos de soja produzidos (Tabela 8). De maneira, as cultivares variaram na resposta quanto a exportação de B. Apenas as cultivares NS 7709ipro e a Cz 37b43 ipro não apresentaram diferenças significativas entre os métodos de aplicação de B.

Tabela 8 | Exportação de B nos grãos após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.

Aplicação	Controle	Via Foliar	Via solo
Cultivares	mg g ⁻¹		
64ho114 ipro	0.379±0.005 A	0.202±0.020 b B	0.395±0.048 a A
BRS 1061 ipro	0.354±0.032 A	0.205±0.032 b B	0.268±0.023 bc AB
Cz 37b43 ipro	0.282±0.019	0.261±0.024 ab	0.186±0.035 c
NS 6700 ipro	0.280±0.009 B	0.356±0.034 a AB	0.393±0.021 a A
NS 7709ipro	0.283±0.035	0.263±0.018 a	0.322±0.040 ab

Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Os teores de B no solo após a colheita da soja estão descritos na Tabela 9. Os maiores teores de B, ao final do experimento, foi de 0,26 mg dm⁻³, para a cultivar BRS

1061 ipro, encontrados para os tratamentos em que o B foi aplicado via solo, sendo esses teores estatisticamente maiores que os teores encontrados para o controle e aplicação foliar na cultivar. O tratamento controle apresentou a menor concentração de B no solo, em comparação com os dois métodos de aplicação de B apenas para a cultivar 64ho114 ipro.

Tabela 9 | Concentração de B no solo ao final do experimento após aplicação de B via foliar ou via solo em diferentes cultivares de soja.

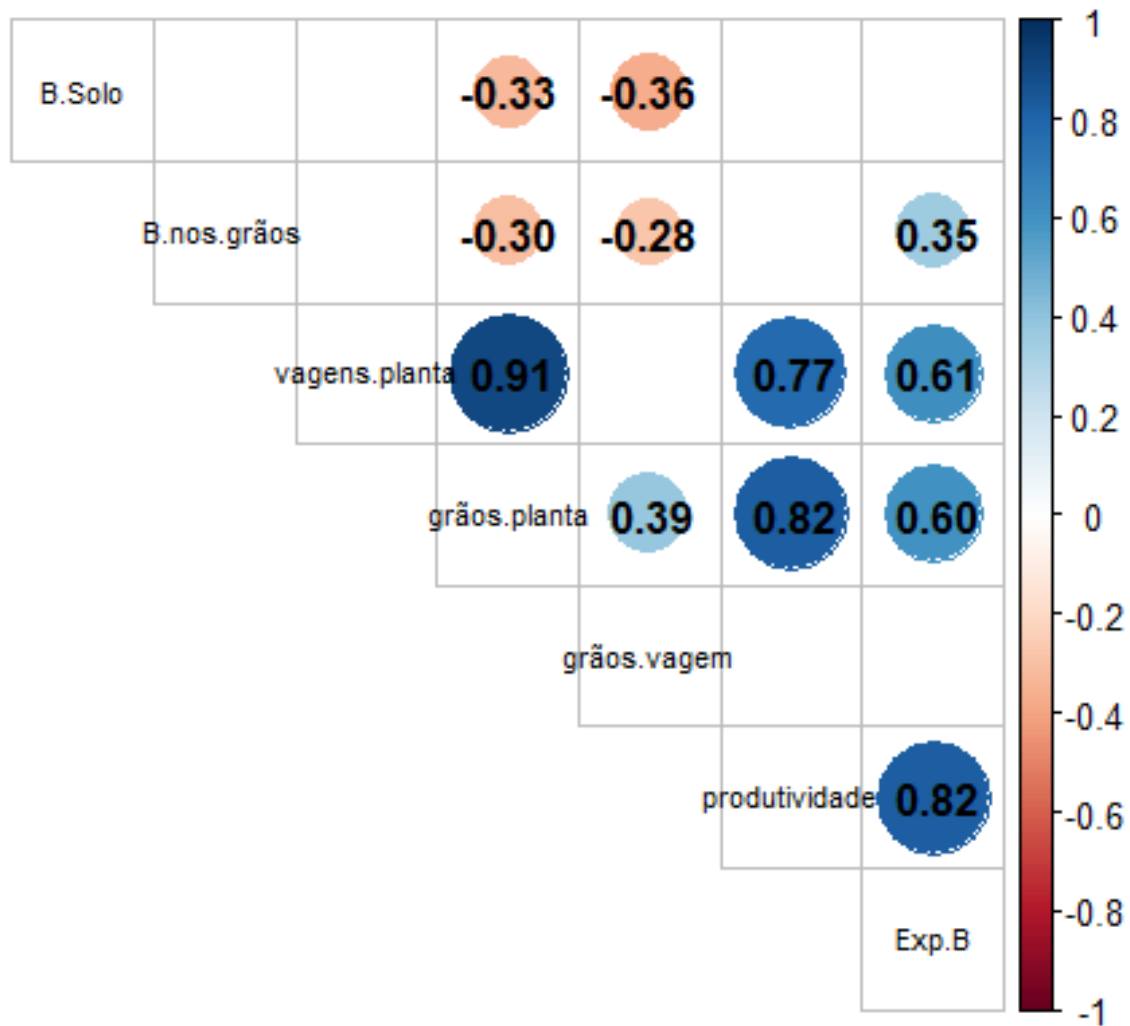
Aplicação	Controle	Via Foliar	Via solo
Cultivares	(mg kg ⁻¹)		
64ho114 ipro	0.053±0.005 b C	0.141±0.006 a B	0.188±0.015 b A
BRS 1061 ipro	0.060±0,00 b B	0.058±0.007 b B	0.257±0.033 a A
Cz 37b43 ipro	0.127±0.013 a A	0.050±0.007 b B	0.131±0.014 cd A
NS 6700 ipro	0.118±0.009 a B	0.146±0.009 a AB	0.167±0.016 bc A
NS 7709ipro	0.105±0.009 ab AB	0.150±0.016 a A	0.090±0.008 d B

Fonte: O autor.

Nota: Diferentes letras minúsculas comparam diferenças entre as cultivares para cada modo de aplicação de Boro ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey; diferentes letras maiúsculas comparam os diferentes modos de aplicação de Boro para cada cultivar ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey.

Os teores de B no solo e nos grãos apresentou correlação negativa levando em consideração o número de grãos por planta quanto por vagem (Figura 5). Por outro lado, os componentes de produtividade, número de vagens por planta e número de grãos por planta apresentaram correlação positiva entre si maior que 0,82.

Figura 5 — Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas após aplicação de B via foliar ou via solo e diferentes cultivares de soja.



Fonte: O autor.

Legenda: B.Solo = Teor de B no solo; B.nos.grãos = Teor de B nos grãos; vagens.planta = número de vagens por planta; grãos.planta = número de grãos por planta; grãos.vagem = quantidade de grãos por vagem; produtividade = produtividade em g planta⁻¹; Exp.B = Exportação de B nos grãos.

6 DISCUSSÃO

Os resultados levando em consideração o número de vagens por planta (Figura 2) comparando os métodos de aplicação de B, apenas as cultivares, Cz 37b43 IPRO e NS 6700 Ipro apresentaram menos vagens por planta para a aplicação de B via foliar. Para as demais cultivares, não houve efeito significativo para os métodos de aplicação. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Gomes (2016), que em um trabalho com diferentes doses B aplicadas via foliar em diferentes estádios fenológicos na soja, notou apenas diferença no número de vagens com o fator cultivar.

No tratamento via solo foi aplicado uma dose de $1,0 \text{ mg/dm}^3$ de B, seguindo a recomendação Embrapa Cerrado, com dose equivalente a 2 kg/ha de B. Silva Junior (2016), observaram aumento significativo no número de vagens por planta aplicando até $2,0 \text{ mg/dm}^3$ de B no solo. Por outro lado, testando diferentes doses de B via foliar, Kappes, Golo e Carvalho (2008) não obteve diferenças para doses, tendo notado melhor resposta no número de vagens por planta quando aplicado na fase vegetativa V5, não diferindo quando as plantas estavam no estágio V9.

De maneira geral, as cultivares não apresentaram diferenças para o número de vagens por planta quanto ao método de aplicação de B. Apenas as cultivares 64ho114 ipro e BRS 1061 ipro foram afetadas pelos métodos de aplicação. A cultivar 64ho114 ipro apresentou maior número de vagens por planta para o tratamento controle. Já, a cultivar BRS 1061 ipro obteve menor número de vagens por planta para a aplicação via foliar, em comparação com o tratamento controle, sem que esses tratamentos diferissem da aplicação via solo.

Os resultados do número médio de grãos por vagem (Figura 3) apresentou resultado similar ao número de vagens por planta, sendo que os métodos de aplicação apresentaram diferenças significativas apenas para duas cultivares. Silva (2017), testando diferentes dosagens de B, também não observaram diferenças significativas com o número médio de grãos por vagem, podendo esta ser uma característica intrínseca de algumas cultivares. Já quanto aos métodos de aplicação, apenas 2 cultivares se diferiram. A cultivar BRS 1061 ipro apresentou o tratamento controle e o tratamento via foliar com diferença significativa do tratamento via solo e a cultivar NS 6700 ipro obteve o tratamento controle sem a diferença do tratamento via foliar e via solo, entretanto os dois modos de aplicação apresentaram diferença.

O número de grãos por planta (figura 3) apresentou diferenças significativas em duas cultivares avaliadas. A cultivar 64HO114 IPRO mostrou diferença entre os tratamentos, com destaque para o controle, que apresentou o maior número de grãos por planta em relação às aplicações via foliar e via solo. De forma semelhante, a cultivar BRS 1061 IPRO também registrou maior número de grãos no tratamento controle, diferindo significativamente dos tratamentos com aplicação foliar e via solo, os quais, entre si, não apresentaram diferença significativa. Conforme Souza *et al.* (2022), plantas com hábito de crescimento indeterminado, como as utilizadas neste estudo, continuam seu desenvolvimento até o início do enchimento de grãos. O autor destaca que a aplicação de Boro nos estádios R1 e R3 contribui para o suprimento de órgãos vegetativos formados após o início da floração.

A maior produtividade foi observada na cultivar 64HO114 IPRO, também no tratamento controle, que apresentou maior peso de grãos por planta, maior número de vagens e, conseqüentemente, maior produtividade. No entanto, essa produtividade não diferiu significativamente da obtida com o tratamento via solo, diferindo apenas do tratamento via foliar. Segundo Gomes (2016), a aplicação de Boro na soja aumentou a produtividade até a dose de $3,51 \text{ kg ha}^{-1}$, ponto após o qual a produção começou a decrescer. Buzatto (2023) também observou resposta máxima à dose de $3,5 \text{ kg ha}^{-1}$, superior à dose recomendada por Sousa e Lobato (2004), que é de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ - dose utilizada neste experimento na aplicação via solo. A cultivar 64HO114 IPRO não diferiu da BRS 1061 IPRO no tratamento controle.

Bevilaqua, Silva Filho e Possenti (2002) relatam que os melhores resultados de aplicação de Boro ocorrem entre os estádios R1 e R5, em pleno florescimento, o que está de acordo com o presente estudo, uma vez que o tratamento foliar foi aplicado em R2 e não apresentou diferença significativa. Essa constatação diverge dos achados de Kappes, Golo e Carvalho (2008), que concluíram que a época e a dose de aplicação não influenciam significativamente a produtividade. No tratamento via solo, a 64HO114 IPRO também se destacou, embora sem diferenças significativas em relação à maioria das demais cultivares.

De acordo com Calonego *et al.* (2010), os parâmetros de produtividade e número de grãos por vagem não aumentaram significativamente com a aplicação foliar de Boro, mesmo em diferentes épocas e dosagens, inclusive com doses inferiores às utilizadas neste estudo. Raimundi, Moreira e Turri (2013) também não

observaram diferenças significativas de produtividade associadas aos modos de aplicação de B na cultura da soja. Esses resultados indicam que a linha entre uma dose eficaz e uma dose fitotóxica de Boro é estreita, e reforçam a necessidade de mais estudos com variação de doses aplicadas, tanto via solo quanto via foliar, especialmente considerando novas cultivares com maior exigência nutricional.

Na quantificação de Boro nos grãos, observando-se os tratamentos dentro de cada cultivar, a NS6700 IPRO apresentou maior teor de B no tratamento via solo, diferindo do controle, mas não da aplicação via foliar. Já a 64HO114 IPRO apresentou maior concentração no tratamento via foliar, diferindo do controle, mas não da aplicação via solo. Por fim, a cultivar CZ 37B43 IPRO destacou-se no tratamento controle, que apresentou maior teor de B em relação ao tratamento via solo, mas sem diferença significativa em relação à via foliar. Esses resultados sugerem que, quando a aplicação via solo não resulta em aumento da concentração de B nos grãos, a via foliar pode ser uma estratégia complementar eficiente.

Ao comparar os tratamentos entre as cultivares, tanto o controle quanto o tratamento via foliar apresentaram sete cultivares sem diferenças significativas entre si. Já o tratamento via solo mostrou maior disparidade, com cinco cultivares sem diferença significativa, indicando maior variabilidade na resposta à aplicação de B no solo e reflexo disso na concentração do nutriente nos grãos.

Segundo Calonego *et al.* (2010), a concentração de B nas folhas nem sempre se correlaciona com a produtividade, já que o nutriente pode ficar retido na cutícula foliar ou na parede celular, sem desempenhar suas funções metabólicas. Isso pode explicar casos em que se observam maiores teores de B nos grãos, sem, no entanto, reflexos positivos na produtividade da cultura.

De forma geral, não foi observada uma relação direta entre a aplicação de B e o aumento de produtividade nas doses estudadas, sendo evidente que as cultivares respondem de maneira distinta conforme o modo de aplicação. Apenas duas cultivares — 64HO114 IPRO e BRS 1061 IPRO — apresentaram diferença significativa na produtividade entre os métodos de aplicação, com destaque para a aplicação via solo em comparação a foliar.

Para essas duas cultivares, observou-se correlação entre os maiores valores de produtividade e os parâmetros “número de vagens por planta” e “número de grãos

por planta”, sendo o tratamento controle aquele com os maiores resultados, diferindo significativamente da aplicação via foliar.

Na análise da concentração de Boro nos grãos, foi constatada maior variação entre as cultivares no tratamento via solo. Entre os tratamentos, as cultivares NS6700 IPRO e 64HO114 IPRO apresentaram maior acúmulo de B nos grãos nas aplicações com o nutriente, em comparação ao controle.

Quanto à exportação de Boro nos grãos, observou-se diferença significativa nos tratamentos com aplicação (solo e foliar), em função das cultivares. Nos tratamentos sem aplicação, essa diferença não foi evidenciada. A maioria das cultivares apresentou maior exportação de B no tratamento via solo, com três delas registrando valores superiores ou semelhantes aos demais tratamentos.

7 CONCLUSÃO

A resposta aos métodos de aplicação de B varia entre as cultivares.

As cultivares 64HO114 IPRO e BRS 1061 IPRO responderam negativamente a aplicação de B, com maior produtividade para o tratamento controle, demonstrando possível efeito fitotóxico para a aplicação foliar de B.

As demais cultivares de soja avaliadas nesse estudo, embora se caracterizem por nível de exigência de fertilidade médio a alto, não apresentaram diferença significativa para a aplicação de B.

REFERÊNCIAS

- BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA FILHO, P. M.; POSSENTI, J. C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. **Ciência Rural**, v. 32, p. 31-34, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000100006>.
- BERTI, M. P. S.; SÁ, M. E.; BENETT, C. G. S.; ROCHA, E. C.; BERTI, C. L. F.; Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Revista Cultura Agronômica**, v. 28, n. 2, p. 123, 2019. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n2p123-137>.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.
- BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean cultivars. **Agronomy journal**, v. 101, n. 1, p. 124-130, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0187>.
- BUZATTO, J. V. L. **Efeito da aplicação de boro na nutrição e na produtividade da soja**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/6144>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; SANTOS, C. H. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 2, p. 20–26, 2011.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, A. E.; VAN RAIJ, B. **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 2022.
- CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. D102, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>.
- CIRAK, C.; ODABAS, M. S.; KEVSEROGLU, K.; KARACA, E.; GULUMSER, A. Response of soybean (*Glycine max*) to soil and foliar applied boron at different rates. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 76, n. 10, p. 603, 2006.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2022/23**: sétimo levantamento. Brasília: CONAB, 2023.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Iowa: Iowa State University Cooperative Extension Service, 1977.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: um sistema computacional de análise estatística**. Lavras MG: Universidade Federal de Lavras, 2011.
- FUJIYAMA, B. S.; SILVA, A. R. B. E.; SILVA JÚNIOR, M. L. D.; CARDOSO, N. R. P.; FONSECA, A. B. D.; VIANA, R. G.; SAMPAIO, L. S. Boron fertilization enhances

photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. **Journal of plant nutrition**, v. 42, n. 19, p. 2498-2506, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659326>.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M. VERDIAL M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 929-937, 2001.

GOMES, I. S. **Aplicação de boro em diferentes estádios da cultura da soja**. 2016. 38 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, 2016. Disponível em: <http://www.bdt.d.ueg.br/handle/tede/442>. Acesso em: 23 abr. 2023.

HELLAL, F. A.; ABDELHAMID, M. T. Nutrient management practices for enhancing soybean (*Glycine max L.*) production. **Acta Biológica Colombiana**, v. 18, n. 2, p. 239-250, 2013.

HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208, p. 103295, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008.

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja: terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. (Embrapa Soja. Documentos, 330).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.

MENEGHETTE, H. H. A. **Modos e fontes de fertilização boratada: efeitos na fixação biológica de nitrogênio e produção da soja**. 2023. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2023.tde-04102023-105144>.

MOUSAVI, S. M.; RAIESI, T. Essentiality of boron in higher plants. In: AFTAB, T.; LANDI, M.; PAPADAKIS, I. E.; ARANITI, F.; BROWN, P. H. (eds.). **Boron in plants and agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 1-28. DOI: 10.1016/b978-0-323-90857-3.00008-4.

PADBHUSHAN, R.; KUMAR, D. Fractions of soil boron: a review. **The Journal of Agricultural Science**, v. 155, n. 7, p. 1023-1032, 2017. DOI: 10.1017/S0021859617000181.

RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 2, p. 112-121, 2013.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

REENBERG, A.; FENGER, N. A. Globalizing land use transitions: the soybean acceleration. **Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography**, v. 111, n. 1, p. 85-92, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/00167223.2011.10669524>.

RERKASEM, B.; JAMJOD, S.; PUSADEE, T. Productivity limiting impacts of boron deficiency, a review. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1, p. 23-40, 2020. DOI: <https://doi-org.ez259.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11104-020-04676-0>.

ROSS, J. R.; SLATON, N. A.; BRYE, K. R.; DELONG, R. E. Boron fertilization influences on soybean yield and leaf and seed boron concentrations. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 1, p. 198-205, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005-0131>.

RODRIGUES, L. U.; NASCIMENTO, V. L.; PELUZIO, J. M.; SANTOS A. C. M., SILVA, R. R. Morphophysiological and grain yield responses to foliar and soil application of boric acid on soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 13, p. 1640-1651, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1631331>

SALEEM, M.; KHANIF, Y. M.; ISHAK, Fauziah; SAMSURI, A. W.; HAFEEZ, B. Importance of boron for agriculture productivity: a review. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 1, n. 8, p. 293–300, 2011.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123928>. Acesso em: 22 abr. 2023.

SILVA JUNIOR, G. A. **Adubação boratada no cultivo de soja**. 2016. 30 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde – UniRV, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2016.

SILVA, R. C. D. **Nutrição com boro na soja em função de doses, modos, épocas de aplicação e disponibilidade de água no solo**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, 2017.

SHIREEN F, NAWAZ M, CHEN C, ZHANG Q, ZHENG Z, SOHAIL H., SUN J, CAO H, HUANG Y, BIE Z. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 7, p. 1856, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. Acesso em: 22 abr. 2023

SOUZA, E. S.; ROMAM, M. S.; SCHEDENFFELDT, B. F.; MEDEIROS, E. S.; SILVA, P. V.; MAUAD, M. A aplicação de boro em diferentes estádios da cultura da soja afetam sua produtividade? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 2022.

TRASPADINI, E. I. F.; WADT, P. G. S.; MELLO-PRADO, R. D.; GARCIA-ROQUE, C.; ROBERTO-WASSOLOWSKI C.; VIDAL-PEREZ, D. Efficiency of critical level and compositional nutrient diagnosis methods to evaluate boron nutritional status in soybean. **Chilean journal of agricultural research**, v. 82, n. 2, p. 309-319, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000200309>.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soybean explorer. 2023. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>. Acesso em: 22 abr. 2023.

WIMMER, M. A.; EICHERT, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant science**, v. 203, p. 25-32, 2013. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.12.012.