

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

BRUNO EDUARDO CAETANO CAMPOS DA SILVA PINHEIRO

FONTES DE BORO NO METABOLISMO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

MONTE CARMELO

2023

BRUNO EDUARDO CAETANO CAMPOS DA SILVA PINHEIRO

FONTES DE BORO NO METABOLISMO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Agronomia da Universidade
Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo
- MG, como requisito necessário para a
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Marques

MONTE CARMELO

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder saúde e permitir chegar nesta reta final do curso de agronomia. Em segundo agradeço aos meus pais por terem investido em minha educação, dando impulso para que eu confirmasse minha aptidão. Agradeço ao meu pai por me fazer tomar gosto pela agricultura, ensinar a trabalhar, fazer tudo o mais bem feito possível e por ensinar a ser insistente quando se almeja algo e curioso quando se quer entender e aprender, além de toda a base agrônômica construída com muito suor, amor e determinação nas montanhas cafeeiras do sul de minas, presente nas redondezas do distrito de Santa Cruz da Prata – MG.

Mãe, o meu muito obrigado por tranquilizar nas horas difíceis e por todas orações, você foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo – MG pela qualidade de ensino, oportunidades oferecidas e por todo conhecimento adquirido, permitindo enorme evolução durante esse período de graduação.

Agradeço a todos professores que de alguma forma participaram e determinaram meu progresso social e profissional.

Agradeço aos amigos que se dispuseram em me ajudar em algumas tarefas requeridas durante a execução do experimento, em especial ao João Rodolfo Viana Pereira, Antônio Soares Neto e Mariana Eiko.

Agradeço ao Prof. Dr. Douglas José Marques por me orientar nesta presente pesquisa.

Agradeço ao Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga e ao Dr. Renan Zampiroli por auxiliar na parte de tecnologia de aplicação requerida nesta presente pesquisa.

Agradeço aos professores Enio Tarso de Souza Costa e Andressa Giovannini Costa por aceitarem constituir minha banca examinadora desta presente defesa de trabalho de conclusão de curso.

E meus mais sinceros agradecimentos a República Rancho Fundo, situada em Monte Carmelo – MG e todos que de alguma forma fazem parte da mesma, por todo companheirismo durante todos esses anos vividos como universitários.

RESUMO

O boro (B) é essencial para a soja em função dos benefícios no metabolismo e produtividade da cultura. Geralmente seu teor é baixo em solo tropical, o que pode causar deficiências e redução da produtividade. Desta forma, cada cultura necessita de suprimento adequado de boro. A hipótese da pesquisa é que aplicação de boro melhora a eficiência no uso da água e incrementa na produtividade da soja. Sendo assim, a pesquisa tem como objetivo avaliar diferentes fontes de B aplicados via foliar, seus efeitos no uso da água e produtividade da soja. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado sobre as folhas da soja, com cinco repetições. Em todo experimento foi conduzida somente uma planta por vaso, de volume igual à 8 dm³. Durante a pesquisa foram avaliados o número de legumes, grãos por legume, classificação dos grãos, massa de 1.000 grãos, produtividade por planta, número de nós presentes na haste principal, fotossíntese, transpiração, eficiência no uso da água, massa seca da raiz, caule e folha. Conclui-se que aplicação foliar utilizando as fontes Boro Mix, UltraB e ácido bórico possibilitou incremento na produtividade da soja além do aumento da eficiência no uso da água pela planta.

Palavras-chave: Aplicação Foliar; Metabolismo; Fotossíntese; Produtividade.

ABSTRACT

Boron (B) is essential for soybeans due to its benefits in the metabolism and yield of the crop. Generally, its content is low in tropical soil, which can cause deficiencies and reduced yield. Therefore, each crop needs an adequate supply of boron. The research hypothesis is that boron sources applied via foliar can increase water use efficiency and soybean yield. Therefore, the research aims to evaluate different sources of B applied via foliar and their effects on gas exchange, water use efficiency, and yield. The experimental design used was a completely randomized plot with five sources of boron (1 = control, 2 = boron Mix, 3 = UltraB, 4 = octaborate, and 5 = boric acid) applied to soybean leaves, with five replications. In the experiment, only one plant was used per pot, with a plot volume of 8 dm³. In this research, the number of pods per plant, grains per pod, grain classification, number of nodes present on the main stem, mass of 1.000 grains, yield per plant, photosynthesis, transpiration, water use efficiency, and the dry mass of the stem and leaves. We conclude that foliar application using Boro Mix, UltraB, and boric acid increased the efficiency of soybean yield and water use.

Keywords: Foliar application; metabolism; photosynthesis; yield.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	6
3	REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1	Importância econômica da soja.....	6
3.2	Boro na nutrição da soja	7
3.9	Textura do solo na dinâmica do boro.....	8
3.4	Aplicação foliar do boro	9
4	METODOLOGIA.....	10
4.1	Local da pesquisa.....	10
4.2	Análise química e física do solo	11
4.3	Manejo da Irrigação	13
4.4	Manejo da adubação	16
4.5	Aplicação foliar do boro	16
4.6	Manejo fitossanitário	18
4.7	Delineamento experimental	18
4.8	Avaliação Agronômica	18
4.8.1	Massa seca da raiz, caule e folha.....	18
4.8.2	Volume raiz.....	19
4.8.3	Desenvolvimento e produção	20
4.8.4	Avaliação fisiológica.....	21
4.8.4.1	Determinação das trocas gasosas nas folhas da soja	21
4.8.6	Produtividade da soja	21
4.9	Análise dos dados	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
6	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

O B é um elemento essencial para as plantas, possui baixa mobilidade no floema e sua deficiência é muito comum em solo tropical. É um micronutriente limitante na maioria das regiões brasileiras, principalmente em solo arenoso e com baixo teor de matéria orgânica (Placido, 2021). O B é muito importante durante as fases vegetativa e reprodutiva da planta, sua carência afeta trocas gasosas e eficiência fotossintética, podendo reduzir a produtividade da cultura (Fujiyama, 2019).

Além das funções já descritas, o B também é responsável pelo armazenamento de energia e por atuar junto ao cálcio (Ca) na integridade de estruturas e constituição das paredes celulares (Santoro, 2019). Tem sido também relatado a relação do B com o alongamento de células, metabolismo de ácidos nucleicos, lignificação e crescimento do tubo polínico, evitando abortamento de racemos e vagens (Salles, 2023).

O B contribui para a fixação biológica do nitrogênio, assegurando a manutenção da integridade do sistema vascular da planta, facilitando o transporte de nutrientes para os nódulos presentes em suas raízes, atuando na atividade da nitrogenase (Veloso, 2023). A aplicação de B na soja promove aumento em sua produtividade, auxiliando no enchimento dos grãos e diminuindo a formação de vagens mal granadas, fator primordial na redução da produtividade em até 60% (Rerkasem et al., 1997).

A aplicação de B na cultura da soja pode ser realizada através de fertilizantes com misturas de grânulos e através da aplicação via foliar (Asad et al., 2003). Dentre as diferentes fontes de B para as plantas, tem-se o ácido bórico e octaborato (Byers et al., 2001).

A deficiência de B afeta as propriedades funcionais dos estômatos, promovendo danos estruturais permanentes às células de proteção resultando em estômatos não funcionais (Wimmer; Eichert, 2013). Plantas sob déficit hídrico e suprimento inadequado de B reduzem os teores de clorofila, promovendo efeitos negativos nos parâmetros da fase fotoquímica da fotossíntese (Hajiboland; Bastani, 2012).

Conforme já descrito, solos de textura arenosa e com baixo teor de matéria orgânica, podem apresentar baixa disponibilidade de B. A ocorrência desse fato é especialmente importante em áreas com alto índice pluviométrico, fazendo com que o B possa ser lixiviado (Communar; Keren, 2006).

Sendo assim, a hipótese da pesquisa é que aplicação de boro melhora a eficiência no uso da água e incrementa na produtividade da soja.

2 OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo avaliar diferentes fontes de B aplicados via foliar, seus efeitos no uso da água e produtividade da soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância econômica da soja

Atualmente, o Brasil ocupa a primeira posição de maior produtor do mundo de soja, possuindo 44.062,6 milhões de hectares cultivados, e uma produção total de 154.566,3 milhões de toneladas, de acordo com levantamento realizado em junho de 2023 (CONAB, 2023). A soja desde os anos de 1970, é considerada a principal cultura da agricultura brasileira, sendo responsável pela expansão da indústria de óleo juntamente ao desenvolvimento de novas tecnologias, impulsionando ainda mais o seu cultivo.

O Brasil como maior produtor e exportador mundial de soja, mostra que o país é responsável pelo abastecimento alimentar de vários países de forma sustentável, cumprindo determinações ambientais e sanitárias (Cruz; Siqueira, 2021), possuindo a China como maior comprador da commodity. Em 2022 foram exportados 78,004 milhões de toneladas de soja e 20,552 milhões de toneladas de farelo de soja (ANEC, 2023).

A expressiva produção de soja no cenário brasileiro se deve ao retorno econômico e versatilidade do grão, que é utilizado pela indústria, como fonte de proteína para alimentação animal, produção de óleo vegetal, biocombustível, indústria cosmética, entre outros. Com isso, a sojicultura é uma das atividades agrícolas mais difundidas no mundo, responsável por alavancar o agronegócio brasileiro (APROSOJA, 2023).

No ano de 2022, a cadeia produtiva da soja e do biodiesel registrou um giro em torno de R\$ 637,7 bilhões, cerca de 27% de todo agronegócio brasileiro. Há 12 anos, a participação era menor, aproximadamente 9%. De 2010 a 2022, o PIB do complexo da soja expandiu 58%, o agronegócio aumentou 8% e a economia cresceu 12%. Os valores de crescimento apontam uma disponibilização estável de produtos ao consumidor final de soja e biodiesel (ABIOVE, 2023). Ainda, segundos dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2022), a cadeia da soja e do biodiesel gerou 2,05 milhões de empregos, 80% a mais do que há dez anos. Com isso, a participação do complexo da soja na geração de empregos no agronegócio ampliou de 5,8% para 10,8% (ABIOVE, 2023). O papel social que a cadeia produtiva da soja

desempenha no Brasil é importantíssimo, empregando milhares de pessoas, contribuindo com a economia local e regional, possibilitando o desenvolvimento e crescimento do país. A estimativa é que haja 243 mil produtores de soja, e um mercado de 7,5 milhões de empregos (FPA, 2023).

As cidades onde se produz soja apresenta um melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e os Estados produtores tem uma arrecadação maior que a média nacional. Por exemplo, na cidade de Sorriso presente no estado do Mato Grosso, em 1991 possuía IDH igual a 0,517, sendo esse valor considerado baixo. Com o aumento na produção da soja, a cidade apresentou aumento em seu IDH, cujo índice em 2010 subiu para 0,744, sendo esse valor considerado alto (FPA, 2023).

Portanto, a soja é uma importante cultura para a economia brasileira, visto que é uma commodity agrícola com significância nas exportações de produtos do país. Além disso, a leguminosa possui diversos usos na alimentação humana e animal, produção de biodiesel entre outros. O cultivo do grão em muitas regiões do país, colabora com a economia e distribuição da riqueza fora dos grandes centros.

3.2 Boro na nutrição da soja

A soja é uma cultura exigente em termos nutricionais, eficiente na absorção e utilização dos nutrientes presentes no solo, principalmente potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Pollnow et al., 2020). A planta de soja possui uma alta demanda por B (Souza et al., 2022), elemento deficiente na maioria dos solos tropicais presentes no país (Malavolta et al., 1997). Os efeitos de carência do elemento afeta o transporte de açúcares, metabolismo de carboidratos, respiração, produção e estruturação de células guarda, lignificação e metabolismo de RNA, fenóis e ácido indolacético (AIA), (Marschner, 1995). Tal elemento atua na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, assim, sua deficiência afeta o pegamento das flores e formação dos grãos, influenciando diretamente em sua produtividade (Silva; Nuñez, 2023).

Os sintomas de deficiência de boro na cultura da soja podem ser observados nas folhas mais jovens da planta e nos meristemas apicais. As folhas apresentam engrossamento, clorose internerval e enrugamento. As pontas ficam enroladas voltadas para baixo e os internódios mais encurtados. O desenvolvimento dos pontos de crescimento é prejudicado, ficando mais lento. Os folíolos ficam menores, deformados e com cor verde azulado. Há também baixa fecundação de flores e acentuada queda de vagens (STOLLER, 2020).

A pulverização complementar de B e Ca é recomendada por conta do florescimento da cultura. A adubação com esses nutrientes favorece melhor fecundação das flores e formação de grãos pelo efeito do B e maior retenção das vagens, devido à presença de Ca (Resende, 2004). Existem no mercado diversos produtos comerciais e diferentes fontes de B para a adubação. A diferença que contém de um produto para outro está no nível de solubilidade dos mesmos (Santoro, 2020). Devida a restrita mobilidade na planta, a taxa de redistribuição dos tecidos mais velhos para as regiões de crescimento é baixa (Malavolta et al., 1997).

O monitoramento da disponibilidade de B no solo, deve ser realizada com frequência, já que a sua ocorrência como molécula neutra (H_3BO_3) pode facilitar sua perda por lixiviação. O efeito de adubações sucessivas na elevação dos teores de B no solo é menos evidente do que em micronutrientes como o zinco (Zn) e cobre (Cu), (Resende, 2004). O teor de B nos grãos é um melhor indicador do estado nutricional das lavouras do que o teor em folhas (Hitsuda et al., 2001). A concentração ideal de B nos grãos seria de 20 a 27 mg kg^{-1} , e quando a concentração for menor do que 10 mg kg^{-1} , a produção será comprometida (Resende, 2004).

3.9 Textura do solo na dinâmica do boro

A quantidade de B adsorvida pelo solo, depende de alguns fatores, como a concentração do micronutriente na solução de equilíbrio, textura do solo, composição mineralógica pH, teor de matéria orgânica e tempo de contato (AZEVEDO et al., 2001). Teores de argila e areia, calagem e pH, são os três fatores que mais influenciam na adsorção e lixiviação do B (Saltali et al., 2005)

Devido ao seu maior potencial de lixiviação, solos arenosos com boa drenagem provavelmente terão maior deficiência de B principalmente em época de chuvas intensas. Tais solos necessitam de uma maior frequência nas fertilizações com o micronutriente. Já em solos argilosos, o total de B presente é mais alto, no entanto a disponibilidade para as plantas poderá ser menor devido a maior força de retenção do B pela fase sólida (Pinheiro, 1999).

Em Latossolo Vermelho Eutroférico, de textura arenosa, a aplicação com doses crescentes de B até 2 mg dm^{-3} , com teor inicial de 0,32 mg dm^{-3} , interferiram de forma negativa no desenvolvimento do sistema radicular e não influenciou no desenvolvimento da parte aérea na cultura da soja (Trautmann et al., 2014).

O micronutriente apresenta alta adsorção em solo corrigido com calcário, principalmente no ano de realização da correção, diminuindo com o tempo. A lixiviação de B

possui relação com os teores de nutrientes no solo e com a dose aplicada, mas apresenta pouca influência devido a calagem (Rosolem; Biscaro, 2007).

A matéria orgânica após a mineralização pelos microrganismos presentes no solo, fornece B para as culturas, onde apresenta maior deficiência em solos arenosos, devido ao baixo teor de matéria orgânica (Silva et al., 2019). No Bioma Cerrado, é mais comum a deficiência de B, pois sua disponibilidade é influenciada pelo déficit hídrico, uma vez que a umidade do solo é importante para o transporte do nutriente até as raízes (Silveira; Malavolta, 2000; Barretto et al. 2007; Mattiello, 2009).

A mobilidade do B no solo é influenciada por fatores que podem facilitar ou dificultar o seu acesso pelas plantas. Solos não corrigidos e com textura mais argilosa apresentam um alto poder de retenção do B, que se liga por determinado tempo às partículas específicas do solo, como os argilominerais, os hidróxidos de alumínio e ferro (Sousa, 2023). Contudo, essa condição não é desejável, já que o B quando adsorvido na superfície das partículas do solo apresenta baixa disponibilidade para as plantas.

A falta de água no solo é outro fator que restringe a mobilidade de B no solo. Um dos mecanismos que governam a absorção e o acúmulo de B nas plantas é o mecanismo de fluxo de massa, que é grandemente dependente da água. Sendo assim, culturas que receberam aplicação de B podem não responder adequadamente a adubação, caso a disponibilidade de água no solo seja baixa (Sousa, 2023).

3.4 Aplicação foliar do boro

A dessecação em pré-colheita da soja, com utilização de herbicida, é uma prática comum objetivando a uniformização da lavoura de soja prestes a ser colhida. Essa prática também controla plantas invasoras que poderão interferir na qualidade e rendimento da colheita. Além disso, tem-se o benefício do adiantamento da colheita, já que o produtor obtém uma antecipação média de cinco dias para o plantio da segunda safra, aumentando o aproveitamento das chuvas. (COMAS, 2018). Recomenda-se que a dessecação em pré-colheita de soja seja realizada quando atingida a maturação fisiológica da planta, período esse em que ocorre o máximo acúmulo de matéria seca nos grãos, evitando prejuízos no rendimento final (Zanon et al., 2018).

O glifosato e o glifosato potássico, podem ser aplicados associados ao ácido bórico (H_3BO_3), que contém 17% de B, ou com o octaborato dissódico ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$), com 20,5% de B. No entanto se faz necessário atentar-se quanto a solubilidade da fonte de B para que

problemas de insolubilização seja evitado. Tem sido recomendado diluir até 4,0 kg de ácido bórico por 100 L de calda (Oliveira Junior et al., 2020).

A aplicação de B junto ao dessecante na pré-semeadura da soja, favorece ganhos na altura e diâmetro do colmo da cultura. Os números de racemos, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade quando o B foi aplicado em dessecação, não apresentou diferenças em relação a sua aplicação de forma individualizada (Ecco et al., 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 Local da pesquisa

O experimento foi conduzido em casa de vegetação estruturada em aço galvanizado e cobertura de plástico filme de polietileno de baixa densidade (200 micras), com 21 m de comprimento, 7 m de largura e 5,5 m de altura, orientada em direção Noroeste-Sudoeste ($18^{\circ}43'36.56''\text{S}$, $47^{\circ}31'29.46''\text{O}$), instalada no Campo Demonstrativo e Experimental (CADEX) da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. O local apresenta altitude de 908 m em relação ao nível do mar, e no interior da casa de vegetação todos os vasos foram acondicionados sobre blocos de alvenaria, com o intuito de evitar o contato do mesmo diretamente com o solo, evitando maior troca de umidade (Figura 1).



Figura 1. Imagem via satélite indicando em vermelho a casa de vegetação utilizada. Fonte: Imagem extraída do *Software* Google Earth (2023)

A execução do experimento desde a incorporação do calcário até a coleta das raízes das respectivas plantas de soja, se iniciou no dia 13/02/2023 e estendeu até o dia 06/10/2023, resultando em 245 dias, prosseguindo após isso para avaliações em laboratório (LAFIT – Laboratório de Fitotecnia), como produtividade, classificação dos grãos, peso de matéria seca da parte aérea e raiz da planta.

Como planta teste foi utilizada a cultivar de soja BPS 9906 – Bpseeds. A cultivar apresenta crescimento indeterminado e média alta exigência em fertilidade do solo, grupo de maturação relativa 6.8 e resistência à nematóides *Meloidogyne incognita* e *Javanica*, necrose da haste e ao acamamento. Esta cultivar está inserida nos zoneamentos agroclimáticos 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403 e 405, sendo indicado uma população de 280.000 à 360.000 plantas ha⁻¹.

A semeadura foi realizada no dia 23/05/2023, em vasos com capacidade total de 10 dm³, preenchidos com 8 dm³ do seu volume com solo.

4.2 Análise química e física do solo

Na pesquisa foi utilizado Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd) de textura média, coletado em campo natural (18°29'50"S, 47°29'16"W) equivalente a Inceptissolos (Taxonomia do Solo) (Santos et al., 2018). Os solos foram coletados e amostrados na profundidade de 0 a 20 cm, secos ao ar, passados em peneira de malha de 2,5 cm³ e homogeneizados para determinação de suas características químicas e físicas, antecedendo a correção de sua acidez e adubação de base (Tabela 1). A análise granulométrica foi realizada conforme Donagema et al., (2011). Para a realização das análises foram utilizadas amostras, obtidas por secagem ao ar, destorroamento e peneiramento (< 2 mm).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo (CXbd) antes da adubação do plantio.

Química¹	Unidades	CXbd
pH em H ₂ O		4,99
pH em CaCl ₂		4,27
P	mg dm ⁻³	0,59
K	mg dm ⁻³	27,22
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,33
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,20
Al	cmol _c dm ⁻³	0,41
H+Al	cmol _c dm ⁻³	4,13
SB	cmol _c dm ⁻³	13,00
T	cmol _c dm ⁻³	4,73
t	cmol _c dm ⁻³	1,01
V	%	13,00
m	%	41,00
MO	dag kg ⁻¹	1,66
CO	dag kg ⁻¹	0,96
B	mg dm ⁻³	0,16
Cu	mg dm ⁻³	1,16
Fe	mg dm ⁻³	50,1
Mn	mg dm ⁻³	11,84
Zn	mg dm ⁻³	0,62
Física²		
Argila	%	31
Silte	%	2
Areia	%	67

¹pH em água (1:2,5); ¹pH em CaCl₂ P e K por extração de Mehlich I, Ca, Mg e Al extraíveis por solução de KCl 1 mol L⁻¹; P na solução de equilíbrio (EP); acidez potencial (H+Al); SB = saturação por bases; T = capacidade de troca catiônica em pH 7,0; t = capacidade de troca catiônica efetiva; m = índice de saturação de alumínio; V = Índice de saturação por bases; MO = teor de matéria orgânica; CO = carbono orgânico total; B e Zn através da metodologia da EMBRAPA (2009). A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta.

Os cálculos para correção da acidez do solo seguiram as recomendações de Ribeiro et al. (1999), visando neutralizar Al^{3+} e aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . O calcário dolomítico utilizado para corrigir a acidez do solo possui carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3). Foi utilizado reagente puro ($\text{MgO} = 6$ a 8% , $\text{CaO} = 45$ a 48%), poder de neutralização reativo = $92,5\%$, poder de neutralização = 100% e potência real de neutralização total (PRNT) igual a $92,5\%$, sendo aplicado e misturado ao solo. Após a aplicação em 8 dm^3 de solo presente em cada vaso, o mesmo foi acondicionado em sacos plásticos e umedecidos com $1,5 \text{ L}$ água vaso, visando atingir 100% a condição de campo, executando assim a incubação com a finalidade de favorecer e potencializar a reação corretiva (Figura 2).

As recomendações de adubação para macronutrientes e micronutrientes foram seguidas de acordo com as recomendações de Novais et al.; (1991) e adaptado por Marques et al. (2021).



Figura 2. Imagem da aplicação com $1,5 \text{ L}$ água vaso $^{-1}$ de água para incubação do solo (A), solos em sacos plásticos vedados para incubação (B).

4.3 Manejo da Irrigação

A irrigação utilizada no experimento teve por finalidade suprir a necessidade hídrica da cultura da soja durante todo seu ciclo. O sistema de irrigação foi construído a partir de tubos cegos flexíveis de 16009 de espessura, utilizando gotejadores autocompensantes e antidrenantes com vazão de 2 L h^{-1} acoplados através de conectores adaptadores em microtubos de 06 mm (Figura 3A) e flechas gotejadoras, facilitando o remanejo dos locais de aplicação e fixação no solo (Figura 3B). Todo o sistema foi semiautomatizado a partir de um painel ESP-ME3 - RainBird, possibilitando total acionamento da irrigação, garantindo precisão em relação ao tempo determinado. A quantidade de água necessitada pela cultura foi mensurada a partir de

três tensiômetros referentes marca SondaTerra (Figura 3C), distribuídos igualmente em três vasos distintos dentre o total constituínte. A leitura dos mesmos foram realizadas diariamente por volta das 17 h, com o auxílio de um tensímetro digital de punção SondaTerra, fornecendo valores em milibar (mbar). Após a coleta dos três valores referentes a cada tensiômetro, os dados eram submetidos à uma planilha de irrigação construída com base em estudos à necessidade da cultura, volume de solo, textura de solo e vazão dos gotejadores, indicando o tempo de irrigação necessária.

Para obtenção da curva característica da água do solo foram determinados pontos de baixa tensão (0; 2; 4; 6; 8 e 10 Kpa) e altas tensões (33; 100; 500 e 1500 Kpa). Utilizando-se o programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990), foi gerado uma equação, ajustada segundo modelo proposto por Van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função do potencial matricial. A partir desta equação e dos valores observados, foi gerada a curva de retenção da água no solo para o volume utilizado por vaso.

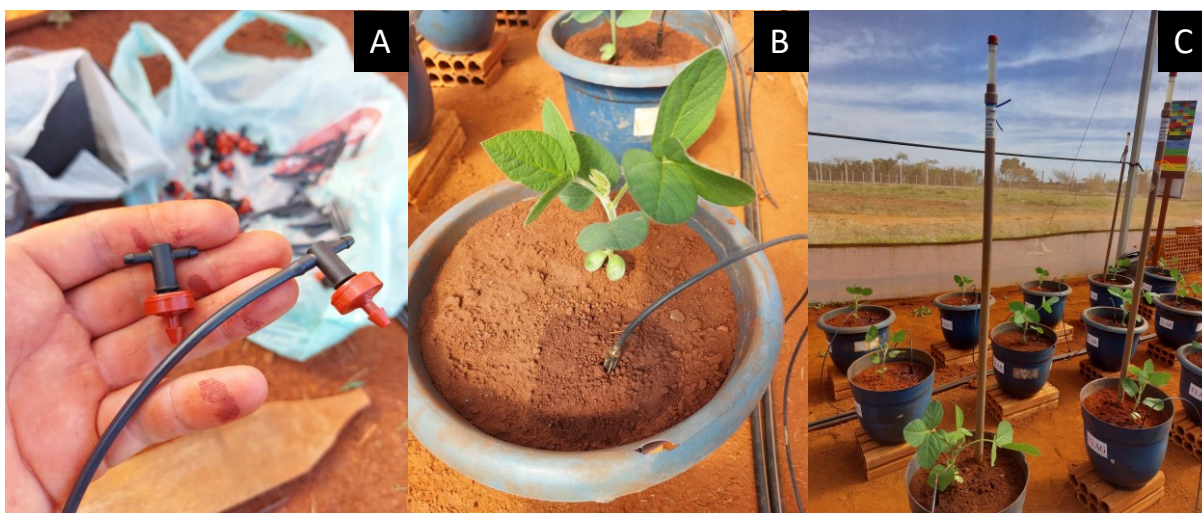


Figura 3. Sistema de irrigação utilizado na pesquisa apresentando os componentes microtubo, conector adaptador e botões gotejadores 2 L h^{-1} (A), flexas gotejadoras fixadas ao solo em pleno funcionamento (B) e tensiômetros instalados (C).

Os resultados do potencial matricial do solo (A), umidade do solo (B) e volume de água aplicado (C) estão apresentados na Figura 4.

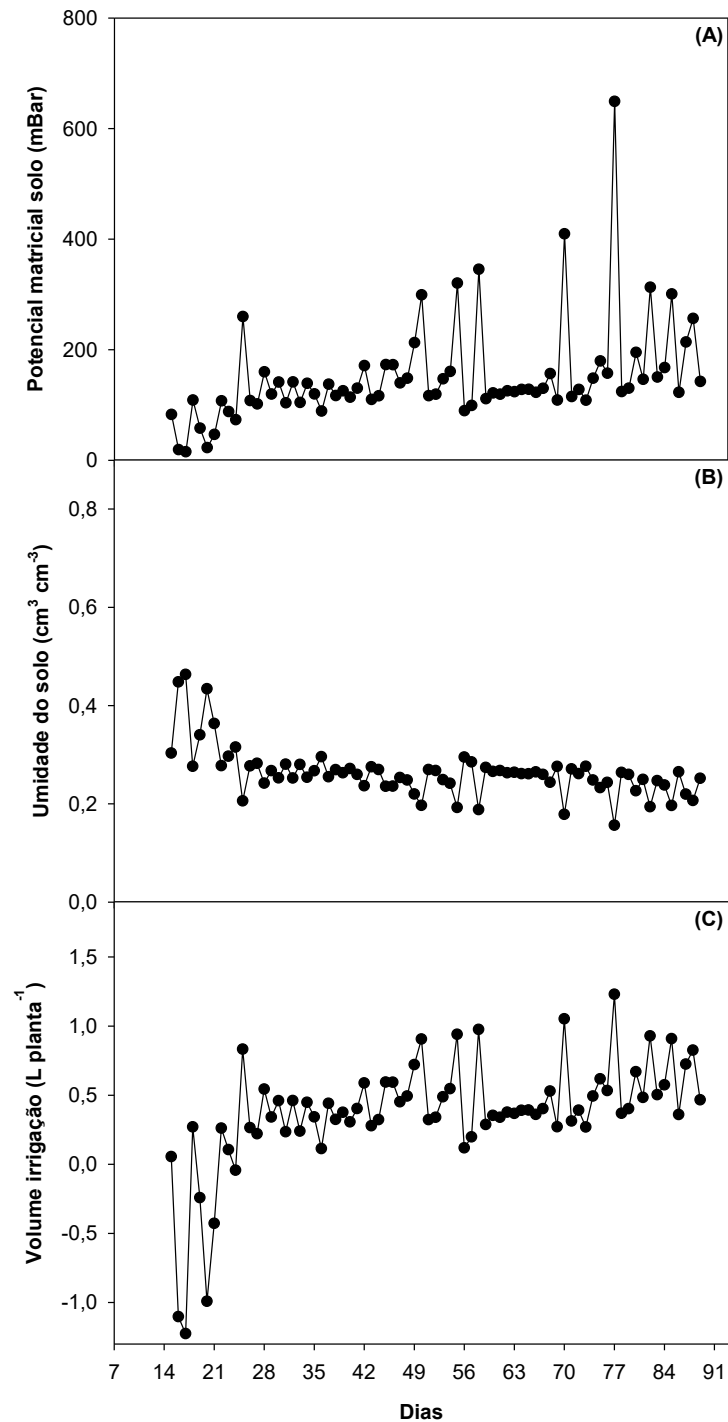


Figura 4. Potencial matricial do solo (A), umidade do solo (B) e volume de água (C) durante o experimento.

4.4 Manejo da adubação

Após o período de incubação do solo, foi determinada a fertilização do solo descrita na Tabela 2, de acordo com a análise de solo e recomendação para a cultura da soja (Novais et al.; 1991 adaptado por Marques et al., 2021).

Tabela 2. Nutrientes, quantidades recomendadas e fontes utilizadas na fertilização do solo no presente estudo

Nutriente	Concentração (mg kg solo ⁻¹)	Fontes
N	5,0	NH ₄ H ₂ PO ₄
P	300	KH ₂ PO ₄
K	200	KH ₂ PO ₄
S	40	K ₂ SO ₄
B	0,81	H ₃ BO ₃
Mg	46	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	3,0	MnSO ₄
Cu	7,5	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Mo	0,5	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4 H ₂ O
Zn	2,5	ZnSO ₄ ·7H ₂ O

4.5 Aplicação do boro

A aplicação do B foi realizada com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado tipo CO₂ de pressão constante. Dotado de barra de aplicação com quatro bicos, instaladas pontas de aplicação do tipo leque simples com indução de ar, modelo AI95015E, marca Teejet, com leque de 95° e vazão nominal de 0,15 L min⁻¹, gerando gotas grossas a extremamente grossas segundo o fabricante. Submetida à uma pressão de 48 psi (3,3 bar), conferindo uma vazão de 0,587 L min⁻¹, necessária para a aplicação de 200 L ha⁻¹ de taxa de aplicação à uma velocidade constante de 4 km h⁻¹ mantendo-se a barra de aplicação à uma altura de 0,5 m do alvo (Figura 5).

A aplicação foi realizada em condição de campo separando os tratamentos experimentais, visando evitar a contaminação por deriva, o que seria difícil evitar no interior da

casa de vegetação. Para isso foram posicionadas os cinco vasos representativos às repetições de cada tratamento experimental, de forma que a faixa de aplicação abrangesse toda área do solo antes da semeadura (Figura 5A). As condições ambientais durante o processo de aplicação foram monitoradas utilizando uma estação meteorológica composta cujo Datalogger refere-se ao modelo CR1000 - Campbell, equipada com medidor de temperatura e umidade relativa do ar modelo CS2015 - Campbell, e medidor de velocidade do vento modelo RM 03002 - Young.

A primeira aplicação com B foi feita sob temperatura média registrada pela estação meteorológica ao longo do dia igual a 19,8 °C, umidade relativa média de 64,68% e velocidade média do vento igual a 1,11 m s⁻¹.

Após 77 dias, momento em que a soja se encontrava no estágio fenológico R1, foi realizada a segunda aplicação em todos os tratamentos (Figura 5B), seguindo a mesma metodologia e dosagens, se diferenciando apenas que para essa aplicação o alvo foi a área foliar da cultura. Tal aplicação foi executada em um dia com temperatura média de 21,4°C, umidade relativa média de 54,5% e velocidade média do vento igual a 1,5 m s⁻¹.



Figura 5. Imagem da primeira aplicação com B no solo (A) e segunda aplicação via foliar com B na planta (B). Ambas aplicações foram executadas com auxílio de um pulverizador costal pressurizado tipo CO₂ de pressão constante.

4.6 Manejo fitossanitário

Visando a redução da interferência de insetos pragas e patógenos foliares, foram realizadas aplicações de complexos de inseticidas e fungicidas durante todo o ciclo da cultura, quando observado necessidade durante o monitoramento diários. Sendo, que para o manejo de insetos pragas recorrentes da cultura, com destaque para o tripses (*Caliothrips brasiliensis*) e a Mosca branca (*Bemisia tabaci*), foram utilizados os inseticidas a base de espiromesifeno (240 g L⁻¹), abamectina (72,0 g L⁻¹), bifentrina (100 g L⁻¹) e lambda-cialotrina (50 g L⁻¹) + clorantraniliprole (100 g L⁻¹) em aplicações individuais em momentos distintos.

Para o manejo das doenças foliares foram realizadas aplicações com fungicidas a base de azoxistrobina (200 g L⁻¹) + ciproconazol (80 g L⁻¹), bixafen (125 g L⁻¹) + protioconazol (175 g L⁻¹) + trifloxistrobina (150 g L⁻¹) e clorotalonil (500 g L⁻¹) em aplicações individuais em momentos distintos.

4.7 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com cinco fontes de boro (1 = controle, 2 = boro Mix, 3 = UltraB, 4 = octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado no solo antes da semeadura e via foliar na folha da soja no estágio R1 (fase reprodutiva), com cinco repetições. Foram conduzidas apenas uma planta por vaso com 8 dm³ preenchidos com solo.

4.8 Avaliação agrônômica

Ao final da pesquisa foram quantificados o número de nós, vagens e grãos por planta de soja, sendo classificados por peneira e peso de 1.000 grãos.

4.8.1 Massa seca da raiz, caule, folha e índice de área foliar

Foram coletadas raízes, caules e folhas para determinação da massa da matéria seca produzida pelas plantas de soja (Figura 6). As raízes foram separadas da parte aérea através de um corte na região do coleto da planta, sendo posteriormente desagregadas do solo retirando todas partículas aderidas existentes e lavadas com água deionizada para retirada do excesso de

terra aderida às raízes. Os componentes foram secos em estufa a 65°C com ventilação forçada até atingir massa constante. Após secagem em estufa, o material vegetal foi pesado em balança digital semianalítica (modelo UX6200H: 6200 g x 0,01 g, Shimadzu, Kyoto, Japão), expressando seu peso em gramas. Para o índice de área foliar, foi utilizado três folhas representativas de cada planta, realizando a medição da largura (parte do limbo foliar com maior largura) e comprimento das mesmas (acompanhando a nervura principal) com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, obtendo-se a média de cada planta, que somada com a média obtida das outras repetições dentro do mesmo tratamento, resultou em um valor médio final, aumentando assim a confiabilidade dos dados obtidos.

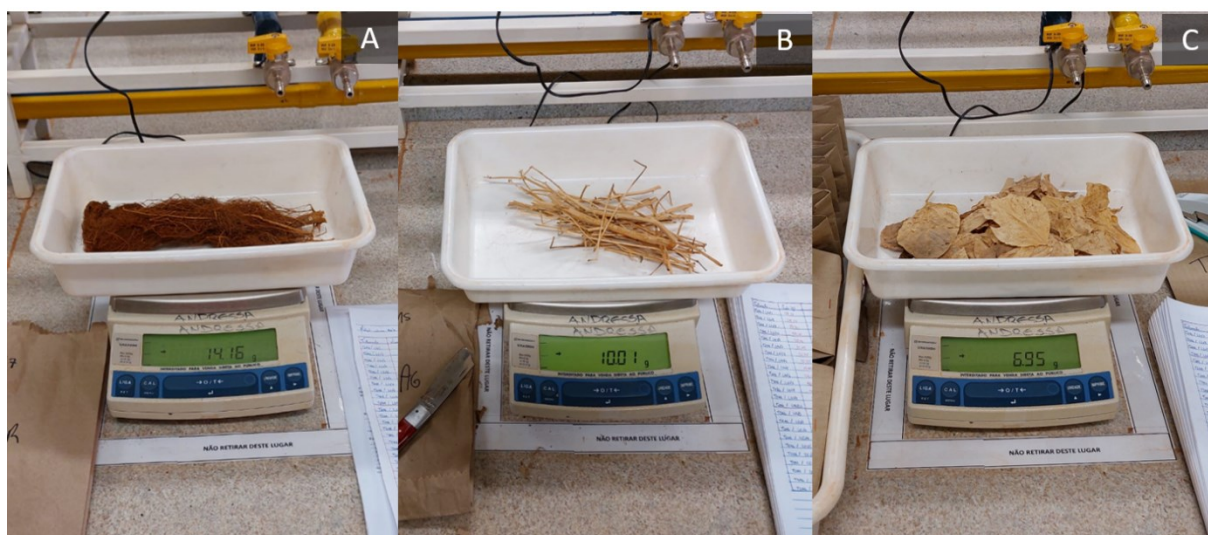


Figura 6. Imagens das diferentes partes da planta: raiz (A), caule (B) e folha (C) na planta de soja durante as análises.

4.8.2 Volume raiz

Após coletado as raízes, o volume das mesmas foi determinado através de uma proveta de vidro borossilicato 3.3, graduada, calibrada a 20°C, com base hexagonal de polietileno com volume igual a 1.000 mL (Figura 7A), onde as raízes da soja foram suspensas em uma bancada por sete dias para secar ao ar, em seguida foram imersas dentro da proveta descrita preenchida com álcool absoluto 70% (Figura 7B), determinando o volume da raiz através do deslocamento do nível do álcool. (Marques et al., 2010).

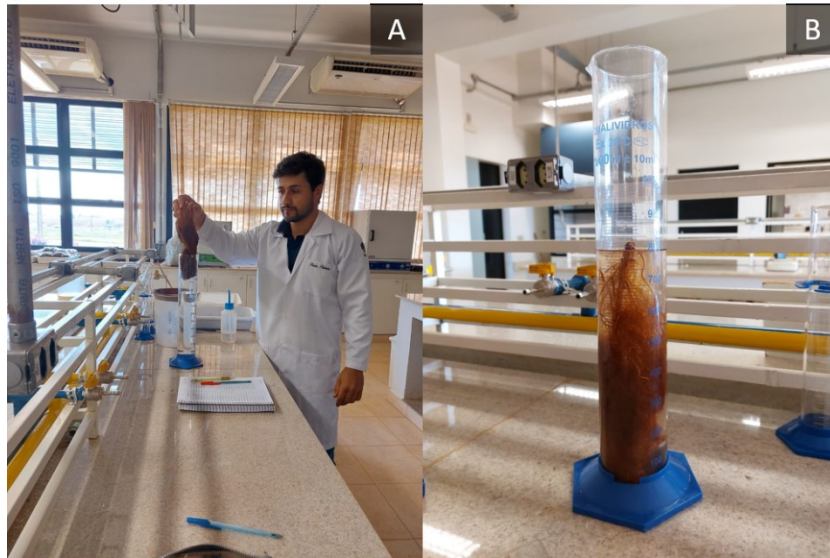


Figura 7. Imagem da análise do volume da raiz das plantas de soja durante as avaliações (A) e proveta preenchida com álcool 70% + raiz em seu interior (B).

4.8.3 Desenvolvimento e produção

Nesta etapa foram avaliados a produtividade e peso de 1.000 grãos (Figura 8A) quantidade de vagens por planta e número de grãos por vagem (Figura 8B).



Figura 8. Imagem da realização da contagem dos grãos (A), classificação das vagens em relação a quantidade de grãos existentes e vagens abortadas (B).

4.8.4 Avaliação fisiológica

4.8.4.1 Determinação das trocas gasosas nas folhas da soja

As avaliações das trocas gasosas foliares foram efetuadas nas plantas em fase reprodutiva denominada R1, padronizando a folha diagnóstica (folha fisiologicamente ativa), utilizando o analisador infravermelho IRGA (modelo LC pro-SD) no período da manhã, entre 8 e 11 h, em dias não nublados. Dessa forma foi medido a taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória foliar (E) e a eficiência no uso da água. As medições foram realizadas utilizando-se a câmara LI-6400-02B com fonte de luz onde a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa será fixada em $600 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, assim como a concentração de CO_2 , um conjunto de bombeamento e condicionamento de ar, controladores de fluxo, tubos e conexões.

4.8.5 Produtividade da soja

No final da pesquisa foram avaliadas a produtividade, massa de 1.000 grãos e diâmetro do grão através de peneiras de classificação (Figura 9).

A produtividade da planta por hectare foi estimada padrozinando a população de 250 mil plantas ha^{-1} , número de legumes por planta, número de grãos por legume e massa 1.000 grãos. Foi usada a equação rendimento de grãos de soja = (plantas m^2) x (legumes planta) x (grãos legume) x (massa 1000 grão).



Figura 9. Imagem das peneiras usadas na classificação do grão da soja.

4.9 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em caso de interação significativa, os efeitos foram desdobrados dentro dos níveis de cada fator. As médias dos fatores serão comparadas pelo teste Tukey. Os termos das equações de regressão serão testados pelo teste t. Todas as análises serão realizadas no software RStudio. Para todas as análises estatísticas, o nível de significância adotado será de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise das raízes da soja em função das fontes de B (Figura 10).

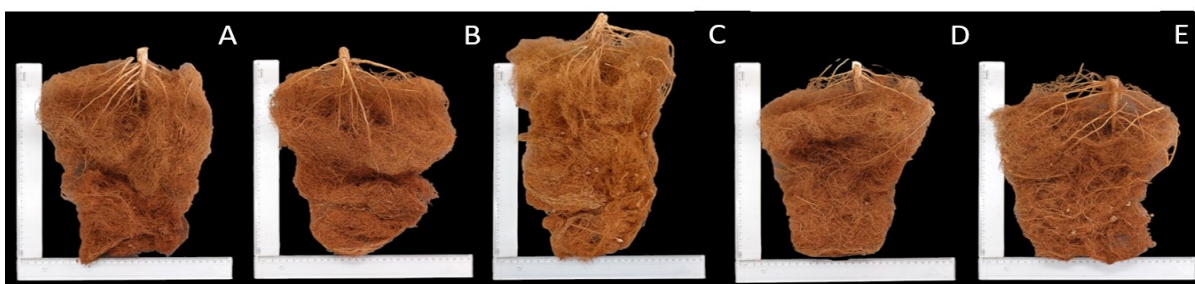


Figura 10. Raiz da soja em função das fontes de boro (A = controle, B = Boro Mix, C = UltraB, D = Octaborato e E = ácido bórico) posicionadas sobre duas régua de 30 cm cada (altura e largura) para melhor observação e distinção dos resultados.

A aplicação com as fontes UltraB e Octaborato, proporcionaram incrementos significativos sobre a massa seca das raízes, apresentando 22% e 23% de superioridade em relação as demais fontes respectivamente. Por outro lado, as fontes Boro Mix e Ácido bórico não apresentaram diferenças significativas em relação ao controle (Figura 11A). Resultados semelhantes foram obtidos para o volume de raiz como a seguir (Figura 11B). Mesquita et al., (2016) verificou que distintas doses de B quando aplicadas em diferentes enxertos no citrus, se comportaram de formas variadas, apresentando resposta positiva e negativa quando analisadas através de características agrônômicas. Em determinado enxerto (Sunki), a aplicação com $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B apresentou resultado significativo na massa seca da raiz, enquanto na dose utilizada igual a 5 mg L^{-1} resultou em toxidez, com inferioridade na massa seca da raiz quando comparadas as outras doses utilizadas. Silva et al., (2017) estudou doses de B em função da capacidade de retenção de água no solo (CRA), observando que quanto maior a CRA, maior foi a massa seca de raiz (MSR), onde analisou dosagens de 0 até $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de B, aumentado $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ em

cada dose e três níveis de CRA (50, 70 e 90%). A partir destes fatores observou diferença significativa em relação ao acúmulo de MSR em todas as dosagens de B na CRA 90%, diferindo de forma positiva em relação as duas outras CRA. Portanto pode-se inferir que a quantidade de água presente no solo, interfere diretamente no desenvolvimento radicular, fazendo com que as dosagens de boro vem a atuar de formas diferenciadas de acordo com a disponibilidade hídrica no solo.

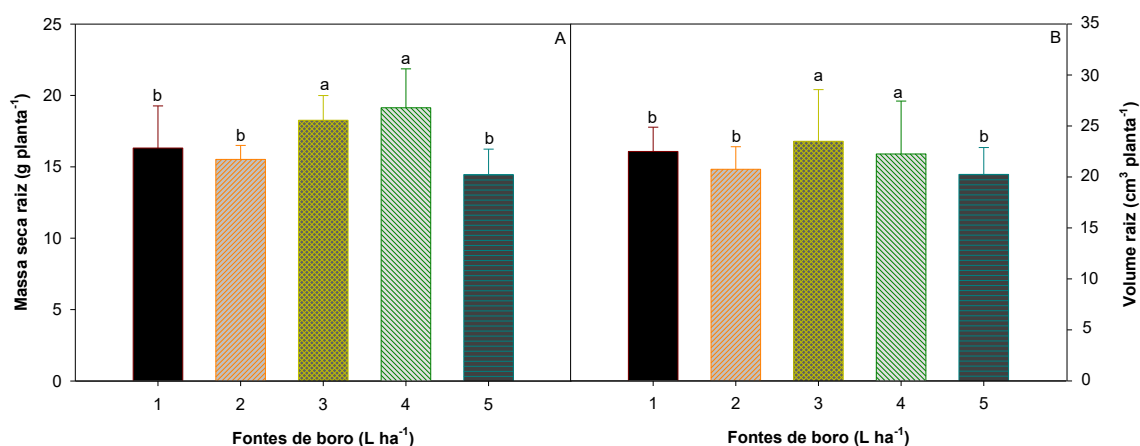


Figura 11. Massa seca raiz (A) e volume da raiz (B) em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). As colunas correspondem às médias de cinco repetições e desvios padrão.

As imagens das plantas de soja no período vegetativo estão apresentadas (Figura 12) a seguir em função dos tratamentos (A = controle, B = Boro Mix, C = UltraB, D = Octaborato e E = ácido bórico).



Figura 12. Plantas de soja no estágio fenológico vegetativo em função das fontes de boro (A = controle, B = Boro Mix, C = UltraB, D = Octaborato e E = ácido bórico).

Para a massa seca do caule (Figura 13A) não houve diferença significativa em função das fontes de boro aplicado via foliar. Já na massa seca da folha (Figura 13B), a fonte de B UltraB apresentou 50% de superioridade em relação as demais fontes, tendo o Octaborato com o menor acúmulo de massa seca nas folhas. No índice de área foliar (Figura 13C), a fonte UltraB se sobressaiu, resultando em 30% de superioridade, enquanto as fontes BoroMix e ácido bórico não se diferenciaram entre si, sendo superiores à testemunha, porém com desempenho inferior à fonte UltraB, e novamente a fonte octaborato apresentou inferioridade quando comparados com as demais fontes. Silva et al., (2017) pesquisando diferentes doses de B utilizando ácido bórico como fonte até a dose máxima de 2 mg dm^{-3} . O padrão de acúmulo de massa seca da planta de soja varia de acordo com o status hídrico da planta em situações de maior disponibilidade hídrica, foi observado um incremento linear; já para plantas com menor disponibilidade hídrica, em doses superiores a $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$, houve uma queda no acúmulo de massa seca, tanto em parte aérea, quanto raiz. Uma hipótese que pode explicar tal comportamento é que com menor disponibilidade hídrica, o B atingiu maiores concentrações na solução do solo, levando a toxidez. Isto ressalta a necessidade de conhecimento e estudo sobre o solo a ser manejado, para que haja ajustes nas quantidades de B a serem aplicadas, uma vez que ele se comporta de diferentes maneiras em diferentes parâmetros de solo (texturas, disponibilidade hídrica, teor de matéria orgânica, pH).

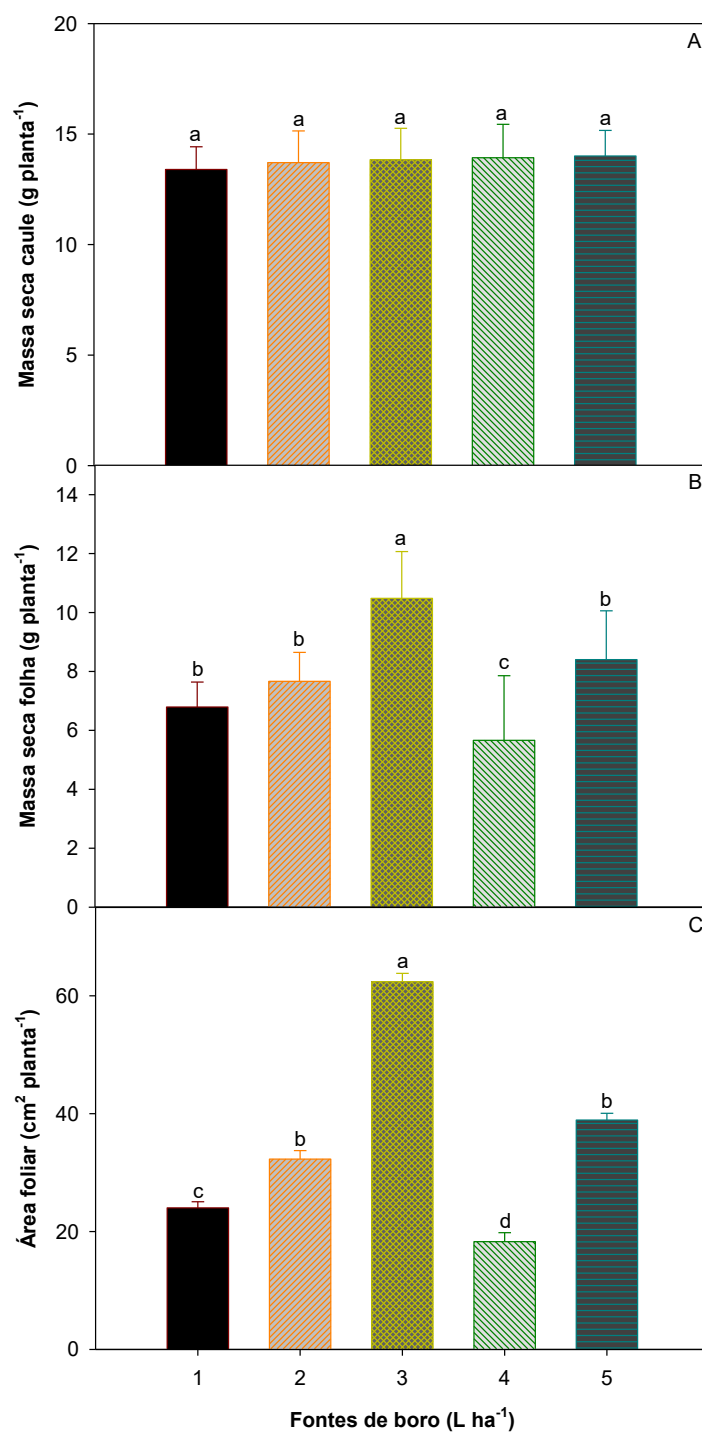


Figura 13. Massa seca referente ao caule (A), folha (B) e índice de área foliar (C) em função das distintas fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na cultura da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) se comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas correspondem às médias de cinco repetições e desvios padrão.

Para a taxa fotossintética da soja (Figura 14A) as fontes referentes ao BoroMix e ácido bórico foram superiores, apresentando 20% e 22% de superioridade respectivamente. Para a transpiração (Figura 14B) observamos que não houve diferença entre os tratamentos referente ao controle, BoroMix e ácido bórico, resultando em aproximadamente 10% de superioridade para BoroMix e controle, e 12% de superioridade para ácido bórico na folha da soja. Já para a eficiência no uso da água (Figura 14C), todas fontes foram eficientes em relação ao controle, resultando em 15% de superioridade. A reposição de B via foliar auxilia manter a taxa fotossintética por mais tempo ajudando na maior produção de grãos de soja (Rezende et al., 2005). O uso de B complexado por monoetanolamina (B-MEA), afim de promover maior e mais rápida absorção, vêm crescendo entre os produtores rurais. Quando aplicado na soja, o ácido bórico tende a aumentar o número e a massa de sementes, a quantidade de vagens e consequentemente a produtividade de grãos (Varanda et al., 2018). As pulverizações foliares são comumente usadas para corrigir pequeno desbalanço nutricional, evitando e corrigindo sintomas de deficiência. Além disso, visam aumentar o aproveitamento dos nutrientes, velocidade de crescimento das plantas, a taxa fotossintética nas folhas e estimular a absorção de nutrientes via radicular. Fornece também, micronutrientes presentes em baixos teores no solo, além de auxiliar a correção de deficiências que não podem ser superadas por aplicações de adubos via solo (Marschner, 2012), além da formação de complexos poliol-B-Poliol nos tecidos fotossintéticos, que são transportados pelo floema até os drenos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (Brown; Bell, 1997). Quando o B apresenta mobilidade no floema, ocorre a formação de complexos contendo B com ligações cis-diol. O ácido bórico reage com álcoois formando complexos de boro ésteres ou neutro, cis-diol, monoborato ésteres ou monoborato com açúcar, os quais desempenham importante papel no transporte do nutriente na planta (Dembitsky et al., 2002). Nas espécies que não produzem quantidades suficientes de polióis, o B, uma vez transportado até a folha pelo fluxo respiratório, tem baixa mobilidade na planta (Brown; Hu, 1998).

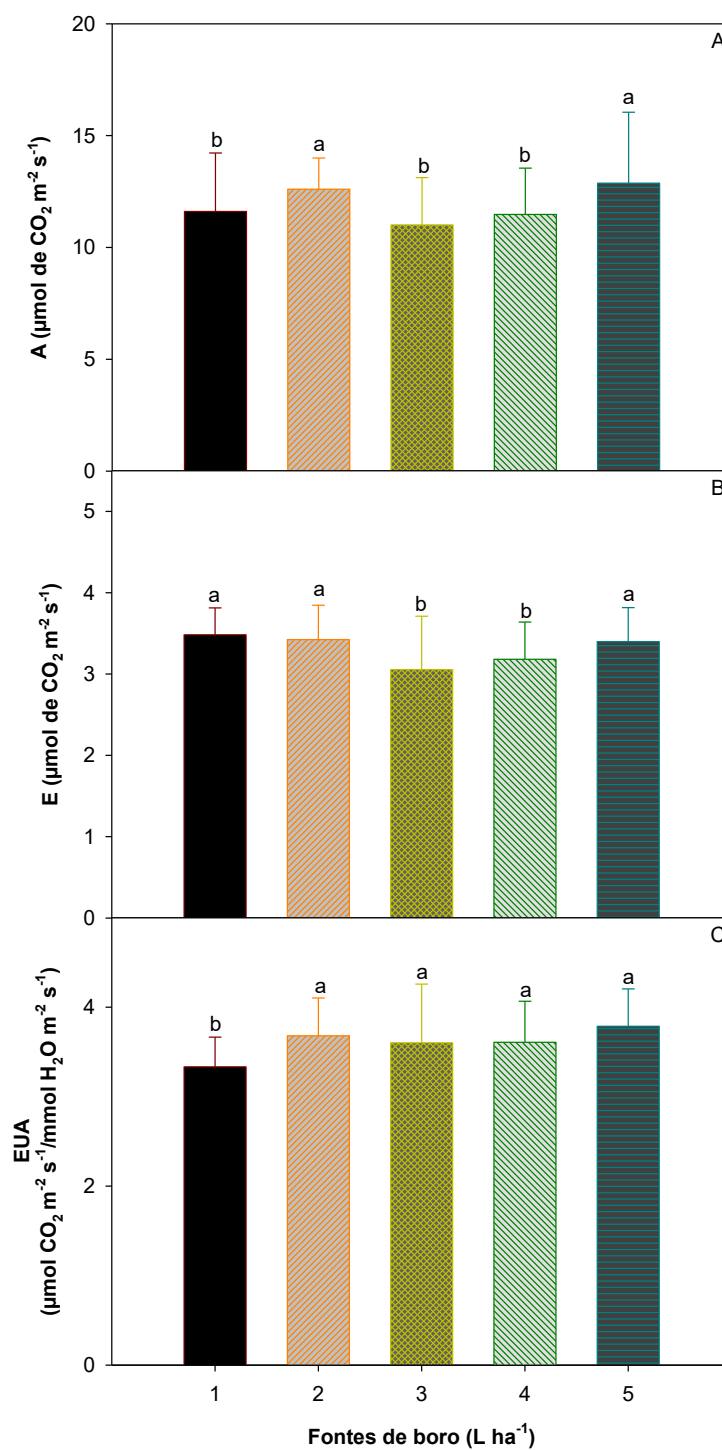


Figura 14. Taxa fotossintética (A), transpiração (B) e eficiência no uso da água (EUA) na folha em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na folha da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para o número de nós haste principal da soja (Figura 15A) o controle e a fonte UltraB foram superiores em 12% em relação as demais. Já para o número de vagens presentes na planta de soja, a aplicação com as fontes Boro Mix, UltraB e ácido bórico incrementou em 15% quando comparadas as demais (Figura 15B). Santos et al., (2019) verificou através de um trabalho realizado, que a melhor dose e estágio para aplicação de B na cultura da soja foi 320 g ha⁻¹ em V6, no qual resultou em 2,43 grãos por legume em média, superior ao tratamento controle com 0 g de B, o que resulta em aproximadamente 11,6% mais grãos por legume. Já o B quando aplicado em R2, a dose que mais se destacou foi 134 g ha⁻¹, obtendo uma produção de 2,31 grãos por legume, o que foi em torno de 1,3% mais grãos por legume quando comparada a testemunha. Quando aplicado na soja, o ácido bórico tende a aumentar o número e a massa de sementes, a quantidade de vagens e consequentemente a produtividade de grãos (Varanda et al., 2018).

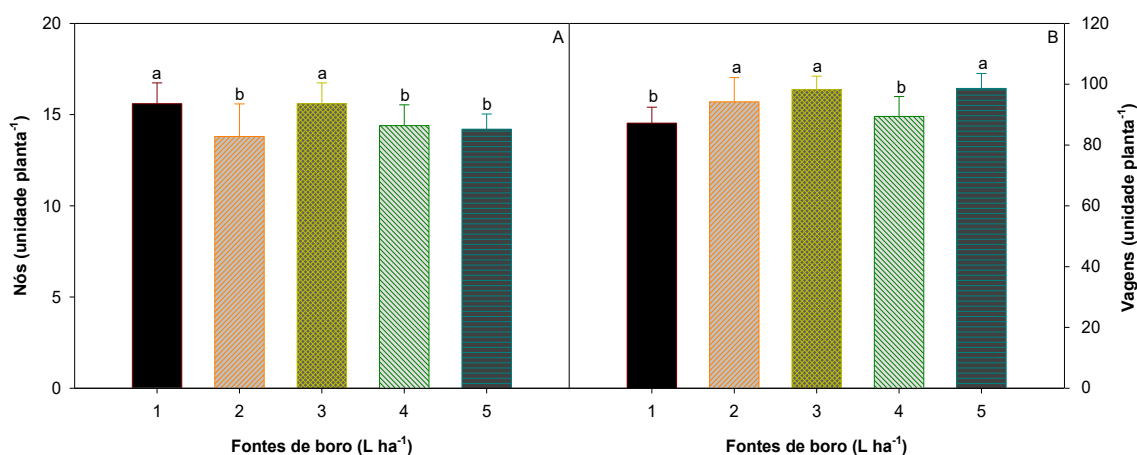


Figura 15. Número nós (A) e vagens (B) na planta de soja em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na folha da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para o número de grãos por vagem, não houve diferença significativa entre as fontes de B para um grão (Figura 16A), dois grãos (Figura 16B) e três grãos (Figura 16C). No entanto, para quatro grãos na vagem, a fonte BoroMix foi superior as demais em 48% (Figura 16D). Os ganhos de produtividade da soja estão atrelados ao um bom manejo nutricional da cultura. A aplicação de boro (B) é essencial entre os estágios R1 e R5, uma vez que, a demanda pelo

micronutriente é maior durante seus estágios reprodutivos responsáveis pela formação e enchimento de grãos (Raimundi et al., 2013). Além disso, atualmente as cultivares de soja de crescimento indeterminado, ou seja, que emitem novos nós após o florescimento, estão ganhando destaque no cultivo brasileiro, tendo uma possível necessidade de aplicações foliares com nutrientes para sustentar a produção de fotoassimilados necessários para o seu bom desenvolvimento (Thomas, 2018). O B também se destaca como essencial para o bom crescimento, desenvolvimento e rendimento das espécies cultivadas, sendo um dos micronutrientes mais importantes para a soja, pois participa de rotas metabólicas e processos fisiológicos importantes na planta, como metabolismo de carboidratos, síntese de proteínas, formação da parede celular, fotossíntese, fixação de nitrogênio, entre outros (Silva et al., 2017). A soja apresenta elevada plasticidade fenotípica, incluindo a capacidade de alterar os componentes de rendimento, como altura, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e, principalmente, a massa dos grãos, em resposta a alterações edafoclimáticas, como em condições de falta ou excesso de nutrientes, a fim de manter elevada produtividade (Balbinot Junior et al., 2018).

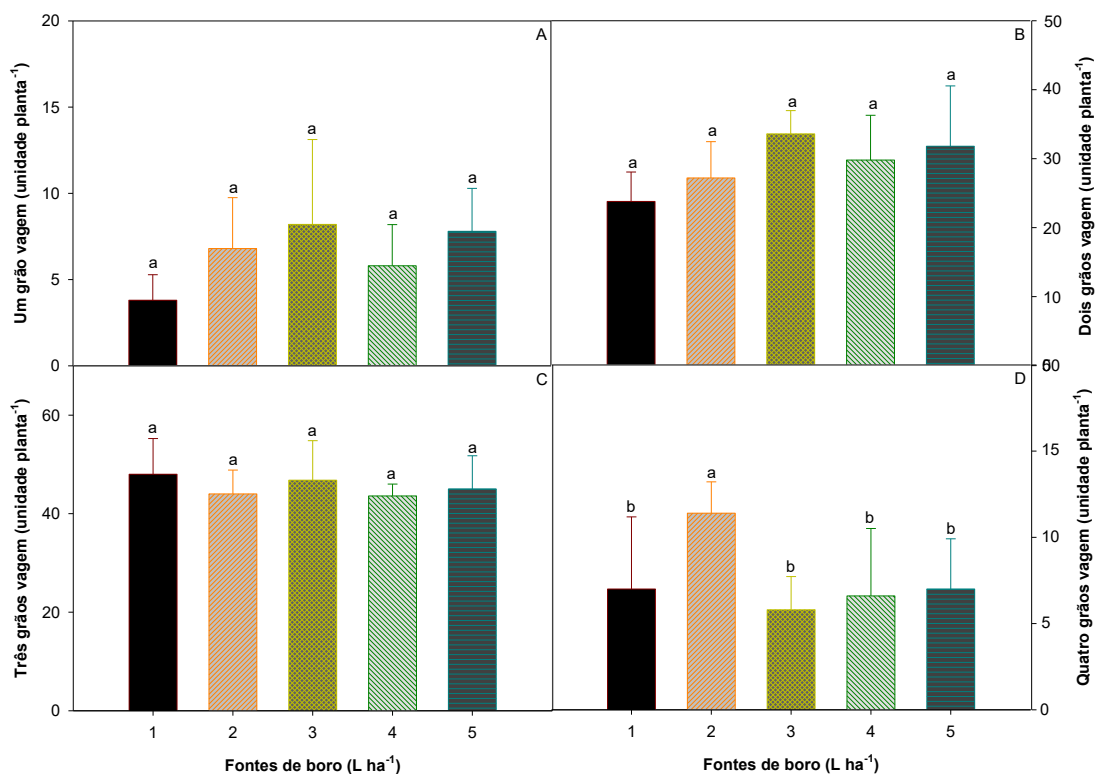


Figura 16. Um grão (A), dois grãos (B), três grãos (C) e quatro grãos (D) por vagem da soja em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 =

ácido bórico) aplicado via foliar na folha da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a classificação do grão, as peneiras (mm) 14 (Figura 17A), 15 (Figura 17B) e 17 (Figura 17D) não diferiram em função da aplicação das fontes boro. Já para a peneira 16 (Figura 17C) as fontes BoroMix e Ácido bórico apresentaram superioridade quando comparadas ao tratamento controle.

Cultivares de soja com característica de crescimento indeterminado, apresenta seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em constante evolução até o início do enchimento dos grãos. Zanon et al., (2015) constatou que ao aplicar B nos estádios R1 e R3 favorece os órgãos vegetativos e reprodutivos formados mesmo após a floração. Porém, pelo fato de o B apresentar baixa mobilidade no floema, há a necessidade de ofertar o micronutriente em questão à cultura nos estádio vegetativo (Calonego et al. 2010) e reprodutivo (Ahamad et al. 2009) da soja, ou seja, o micronutriente precisa ser fornecido mais de uma vez durante o ciclo da soja. Zanon et al., (2015) constatou que não houve diferença significativa ($P < 0,05$) com a aplicação de B em diferentes estádios da cultura da soja, para o número de inflorescências planta⁻¹. Já para época, através de análises, foi identificado diferença significativa ($P < 0,05$).

Portanto podemos inferir que para cultivares com hábito de crescimento indeterminado, o fornecimento de B durante o ciclo da cultura, favorece o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, auxiliando na germinação de grãos de pólen e crescimento do tubo polínico, resultando em maior pegamento de vagens recém-formadas e auxílio no enchimento dos grãos, intensificando seu crescimento e resultando em maior produtividade (Raij 2011, Gupta & Solanki 2013).

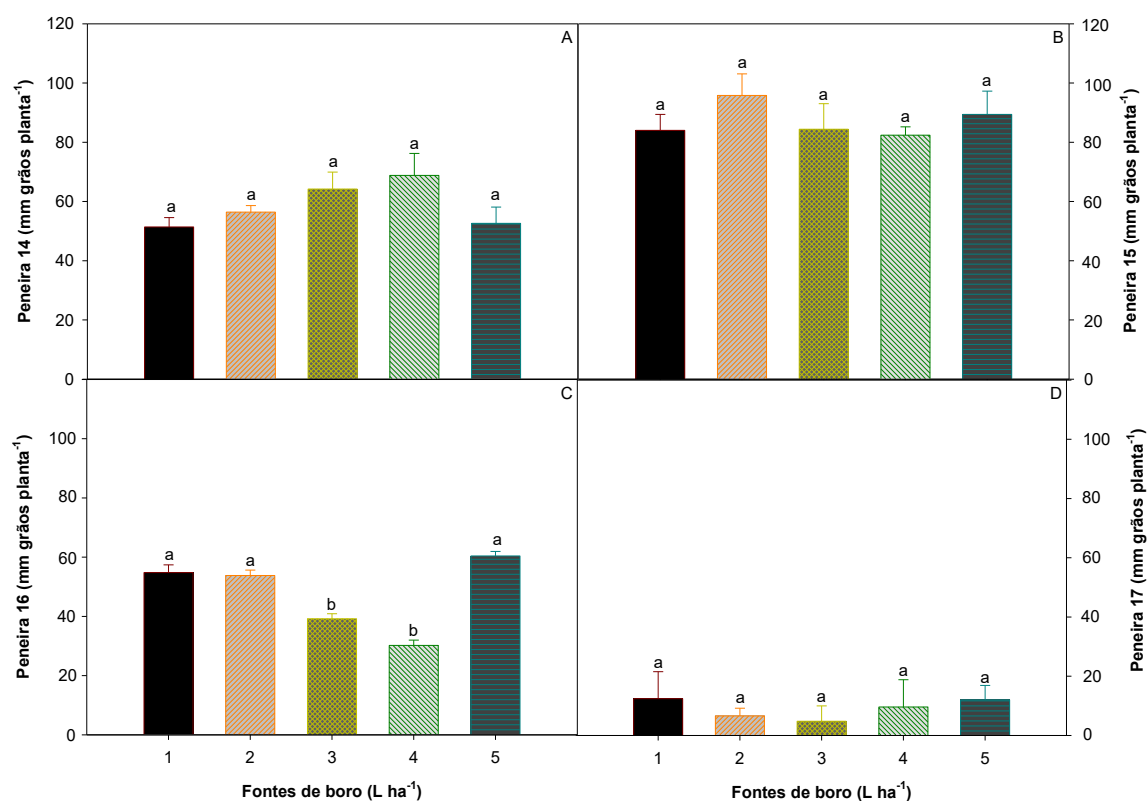


Figura 17. Peneira 14 (A), peneira 15 (B), peneira 16 (C) e peneira 17 (D) na classificação do grão de soja em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na folha da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). As colunas correspondem às médias de cinco repetições e desvios padrão.

A imagem das plantas de soja durante o estágio fenológico R8 antes da colheita, que receberam aplicação foliar com fontes de boro anteriormente, está representada (Figura 18).

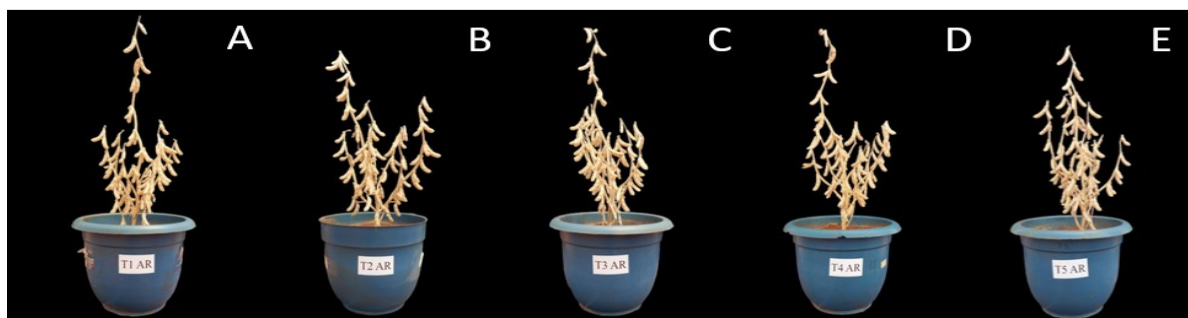


Figura 18. Plantas de soja durante o estágio fenológico R8 em função das fontes de boro (A = controle, B = Boro Mix, C = UltraB, D = Octaborato e E = ácido bórico).

Para a massa de 1.000 grãos (Figura 19A) e produtividade por planta (Figura 19B) não foi observado diferença significativa. Já para a produtividade por hectare através de estimativas de produção (Figura 19C) foi identificado superioridade para BoroMix, UltraB e ácido bórico em 12% quando comparado as demais fontes de B utilizadas. Segundo Zuffo et al., (2018), a variável de maior influência sobre a produtividade na cultura da soja é o número de vagens por planta, apresentando estimativa direta de 0,885, e o número de grãos é o segundo componente de maior influência na produtividade, com estimativa direta de 0,541. Souza et al. (2022) ao avaliar aplicação foliar de B em diferentes estádios fenológicos observou efeito positivo do B para a massa de 1.000 grãos, tendo observado que massa de grãos teve aumento com aplicações nos estádios V4, R1 e R3 isoladamente, enquanto para o número de grãos independente da época, o B não influenciou. Para a produtividade Souza et al. (2022) não verificou incremento com a aplicação de B, explicando que uma possível causa, seja a não alteração do número de vagens por planta e grãos por vagem. Santos et al., (2019) observou que diferentes doses de B, influenciam na massa de mil grãos, inferindo que a aplicação de B em V6 e R2 e com 177 g e 168 g da fonte de B utilizada respectivamente, resultou na maior massa de mil grãos.

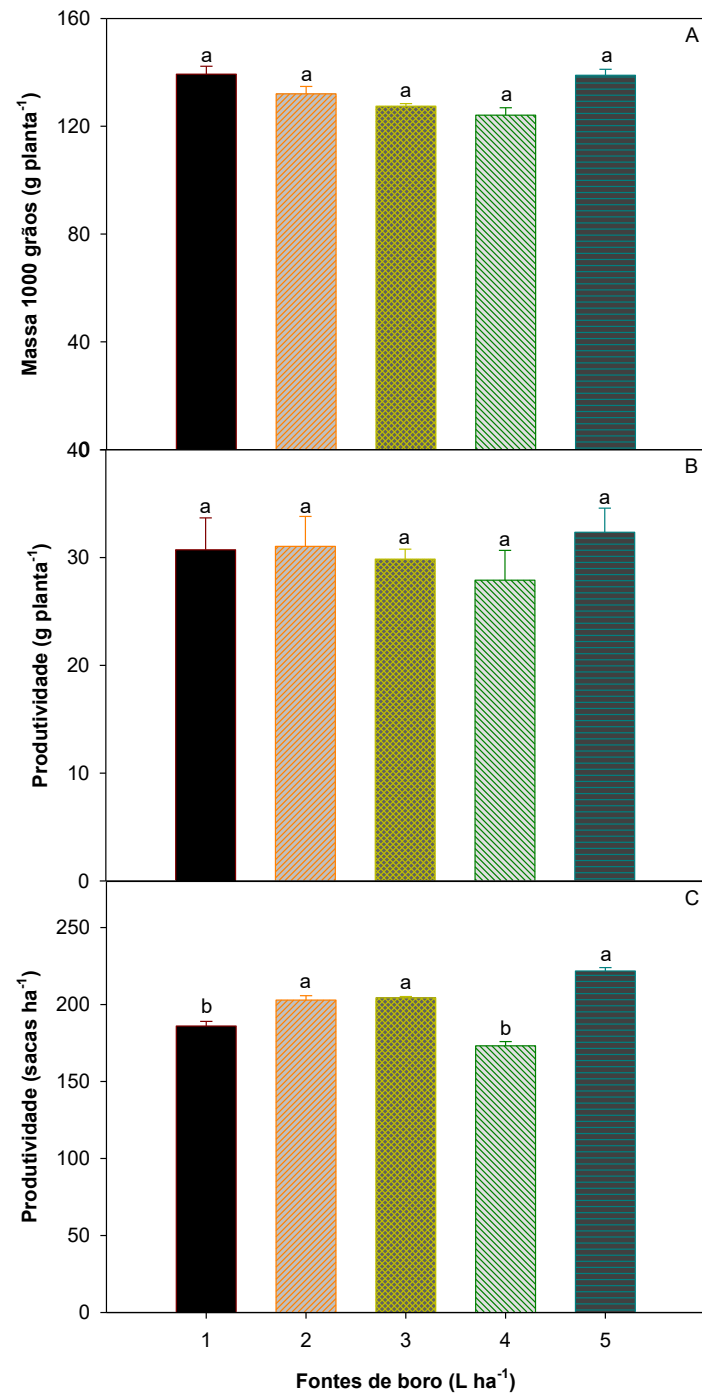


Figura 19. Massa mil grãos (A), produtividade planta (B) e produtividade hectare (C) na soja em função das fontes de boro (1 = controle, 2 = Boro Mix, 3 = UltraB, 4 = Octaborato e 5 = ácido bórico) aplicado via foliar na cultura da soja. Colunas com letras minúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre as fontes de boro, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de cinco repetições e desvios padrão.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de B via foliar promove incremento na produtividade da soja além de melhorar sua eficiência no uso da água. Concluimos que as fontes BoroMix, UltraB e ácido bórico apresentou melhores resultados quando comparadas aos demais tratamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. **Cadeia da soja e do biodiesel representou 27% do PIB do agronegócio e gerou 2 milhões de empregos em 2022**. 2023. Disponível em: <<https://abiove.org.br>> Acesso em: 17 maio 2023.
- AHMAD, W. et al. Papel do boro no crescimento das plantas: uma revisão. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 329-338, 2009.
- ANEC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS. **Soja**. 2023. Disponível em: <<https://anec.com.br>>. Acesso em: 17 maio 2023.
- APROSOJA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA. **A Soja**. 2023. Disponível em: <<https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>>. Acesso em: 17 maio 2023.
- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 565-570, 2003. DOI: 10.1093/aob/mcg179
- AZEVEDO, R.A.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.R. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.957-964, 2001. DOI:10.1590/S0100-204X2001000700005
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1038-1044, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000900007.
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. A; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 76, p. 21-33, 2007., Piracicaba, n. 76, 2007. 21-33 p.
- BROWN, P. H.; BELL, R. W. Boron in Soils and Plants: Reviews. **Dordrecht: Kluwer Academic**, 1997.
- BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron in species dependent: evidence of boron mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, v. 77, n. 5, p. 497–505, 1996.
- BYERS, D.E.; MIKKELSEN, R. L.; COX, F. R. Greenhouse evaluation of four boron fertilizer materials. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 4-5, p. 717-725, 2001.
- CALONEGO, J. C. et al. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, v. 6, p. 20-26, 2010.
- COMAS, C. C. **Dessecação é uma importante estratégia no manejo da soja**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/31835117/dessecao-e-uma-importante-estrategia-no-manejo-da-soja#:~:text=A%20desseca%C3%A7%C3%A3o%20pr%C3%A9%20colheita%20da>>. Acesso em: 23 maio. 2023.

COMMUNAR, G.; KEREN, R. Rate-limited boron transport in soils: The effect of soil texture and solution pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 3, p. 882-892, 2006.

Dados econômicos - **Portal Embrapa**. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 17 maio 2023.

CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2020/21 levantamento**. Brasília, 132 p. 2021.

CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Aumento de 20,6% na produção de soja impulsiona safra de grãos, estimada em 309,9 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 17 maio 2023.

CRUZ, L. F. R.; SIQUEIRA, T. S. A exportação da soja brasileira e sua importância no pib nacional. *In*: XII FATECLOG - gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual, 2021. **Anais [...]**, Mogi das cruzeiras: cps, 2021. P. 1-11.

DEMBITSKY, V. M.; SMOUM, R.; AL-QUNTAR, A. A.; ALI, H. A.; PERGAMENT, I.; SREBNIK, M. Natural occurrence of boron-containing compounds in plants, algae, and microorganisms. **Plant Science**, v. 163, p. 931-942, 2002.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230 p. 2011.

DOURADO NETO, D. et al. **Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de GENUCHTEN**. Engenharia Rural, v. 1, n. 2, p. 92-102, 1990.

ECCO, M.; BACKES, J. C.; REUTER, R. F. Manejo de aplicação de boro no cultivo da soja. **Revista Científica Rural**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 12-24, jan.2022. Even3. DOI:10.29327/246831.24.1-2.

FPA - FRENTE PARLAMENTAR DA AGROPECUÁRIA. **Importância da Soja para o Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://fpagropecuaria.org.br>>. Acesso em: 17 maio 2023.

FUJIYAMA, B. S. **Boro melhora a fotossíntese, alivia os danos da restrição hídrica, promove o crescimento e produtividade em soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 68 f. 2019

GUPTA, U.; SOLANKI, H. Impacto da deficiência de boro no crescimento de plantas. **International Journal of Bioassays**, v. 2, p. 1048-1050, 2013.

HAJIBOLAND, R.; BASTANI, S. Tolerance to water stress in boron-deficient tea () plants. **Folia Horticulturae**, v. 24, n. 1, p. 41-51, 2012.

HITSUDA, K.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D. Capacidade de suprimento de enxofre e micronutrientes em dois solos de cerrado do nordeste do Brasil-diagnose nutricional de enxofre na soja. **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**, v. 23, p. 93-94, 2001.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento**

Sistemático da Produção Agrícola. 2022. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemático-da-produção-agrícola.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 17 maio 2023.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1997. 319 p.

MARQUES, D. J. et al. Morphophysiological Changes Resulting from the Application of Silicon in Corn Plants Under Water Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 2, p. 569–584. 2021. DOI: [10.1007/s00344-021-10322-5](https://doi.org/10.1007/s00344-021-10322-5)

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2. ed. **Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany**, 1995.

MATTIELLO, E. M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1281-1290, 2009.

MESQUITA, G. L. et al. Anatomical and Physiological Responses of Citrus Trees to Varying Boron Availability Are Dependent on Rootstock. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 4 mar. 2016. DOI: [10.3389/fpls.2016.00224](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00224)

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Teste de ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D., LOURENÇO, S. (3º). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo.** Brasília: Embrapa-SEA, 1991.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S. et al., (Ed.) **Tecnologias de Produção de Soja.** EMBRAPA Soja, 2020. p.133-184.

PINHEIRO, A. L. **Reflexos da fertilização mineral de boro na estrutura anatômica, no crescimento e na seca-de-ponteiro de *Eucalyptus citriodora* hook. e *Eucalyptus camaldulensis* dehn. no Cerrado de Minas Gerais, Brasil.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 212. 1999.

PLACIDO, H. **4 Dicas para melhorar manejo de boro nas plantas - Revista Cultivar.** 2021. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/4-dicas-para-melhorar-manejo-de-boro-nas-plantas>>. Acesso em: 15 maio 2023.

POLLNOW, H. E. et al. Manejo da adubação de base em soja no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 6, p.38913-38923, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n6-435.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** 1.ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p. 2011

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

RERKASEM, BENJAMIN. et al. Relação da concentração de boro na semente com a germinação e crescimento da soja (t *Glycine max*). **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v. 48, n. 3, p. 217-223, 1997. DOI: [10.1023/a:1009725311624](https://doi.org/10.1023/a:1009725311624).

RESENDE, A V. **Adubação da soja em áreas de cerrado: micronutrientes**. Planaltina: Embrapa Cerrado, p. 27. 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569152/1/doc115.pdf>> Acesso em: 15 maio 2023.

REZENDE, P. M.; GRIS, C. F.; CARVALHO, J. G.; GOMES, L. L.; BOTTINO, L. Adubação foliar. I. Épocas de aplicação de Fósforo na cultura da soja. **Ciência e Agrotécnica**, v. 29, n. 6, p. 1105-1111, 2005.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

ROSOLEM, C. A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1473-1478, out.2007. DOI:10.1590/s0100-204x2007001000015.

SALLES, J. S. **Qualidade fisiológica de sementes e características agronômicas do feijoeiro em função de boro e zinco via foliar**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista - Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, p. 72. 2023

SALTALI, K.; BILGILI, A.V.; TARAKCIOGLU, C.; DURAK, A. Boron adsorption in soils with different characteristics. **Asian Journal of Chemistry**, v.17, p.2487-2494, 2005.

SANTORO, M. **Deficiência de boro na soja: Como identificar e evitar**. 2019. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/deficiencia-de-boro-na-soja/>>. Acesso em: 24 maio. 2023.

SANTOS, H. G. et al. **Brazilian Soil Classification System**. Brasília: Embrapa Soils, 2018.

SANTOS, M. DOS; CERUTTI, P. H.; WILLE, C. L. ADUBAÇÃO FOLIAR COM BORO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 1, p. 1–11, 20 mar. 2019. DOI: 10.30945/rcr-v21i1.346

SILVA, C. D. et al. NUTRIÇÃO COM BORO NA SOJA EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO. **Scientia Agraria**, v. 18, p. 155–165, 2017.

SILVA, L. D. et al. Sistema de Informações para Planejamento Florestal no Cerrado Brasileiro - "SiFlor Cerrado". In: SILVA, L. D. et al. **Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado**: características dos solos do bioma cerrado. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2019. p. 30-43.

SILVA, R. C. D. et al. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017. DOI: 10.5380/rsa.v18i4.52762.

SILVA, R. P.; NUÑEZ, D. N. C. Manejos sobre fitopatógenos e doses de Boro na cultura da soja. **Brazilian Journal Of Science**, v. 2, n. 5, p. 87-97. 2023. DOI:[10.14295/bjs.v2i5.308](https://doi.org/10.14295/bjs.v2i5.308).

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus. **Informações Agronômicas**, n. 91, 1-12 p. 2000.

SOUZA, E. S. et al. A aplicação de boro em diferentes estádios da cultura da soja afetam sua produtividade? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, p. 395–401, 12 dez. 2022. DOI: 10.5965/223811712142022395

SOUZA, S. **Como funciona a mobilidade do boro no solo?** 2022. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/nutricao-de-plantas/mobilidade-do-boro-no-solo>>. Acesso em: 19 maio. 2023.

STOLLER. **Deficiência de boro na soja: entenda os sintomas.** 2020. Disponível em: <<https://www.stoller.com.br/deficiencia-de-boro-na-soja>>. Acesso em: 19 maio. 2023.

THOMAS, A. L. **Soja: tipos de crescimento da planta.** Porto Alegre: UFRGS, 2018.

TRAUTMANN, R. R. et al. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.240-251, 2014. DOI:10.1590/s0100-06832014000100024.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VELOSO, C. **Boro na soja: saiba qual a importância e confira dicas de manejo.** 2023. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/nutricao-de-plantas/boro-na-soja-importancia-manejo>>. Acesso em: 15 maio 2023.

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

ZANON, A. J. et al. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v. 74, p. 400-411, 2015.

ZANON, A. J. et al. Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades. **Santa Maria: Palloti**, 2018.

ZUFFO, A. M. et al. Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. **Revista Cultura Agronômica**, v. 27, p. 78-90, 2018.