

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JOÃO RODOLFO VIANA PEREIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES DE BORO EM
SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

MONTE CARMELO

2024

JOÃO RODOLFO VIANA PEREIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES DE BORO EM
SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

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

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JOÃO RODOLFO VIANA PEREIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES DE BORO EM
SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

Prof. Dr. Douglas José Marques
Orientador (a)

Prof. Dr. Cinara Xavier de Almeida
Membro 1

Prof. Dr. Flávia Alves
Membro 2

Coordenador do Curso

Monte Carmelo
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir estar próximo da realização de um grande sonho meu e de minha família, que é estar próximo da conclusão do curso de agronomia. Em segundo agradeço aos meus pais Vânia e Jeová e ao meu irmão Jorge pelo apoio desde o início dessa jornada me apoiando sempre a seguir em frente em busca do objetivo, mesmo através das dificuldades encontradas ao longo do caminho. Agradeço a minha namorada Maria Angélica pelo companheirismo, apoio e paciência ao longo dessa jornada. Aos meus amigos de república que foram muitos ao longo desse tempo, porém de maneira mais próxima Danilo Aparecido, Denner Borges, Leandro Júnio, Athirson Miranda, Rainer Novais e Matheus Jorge ao apoiar e me auxiliar durante a pesquisa e também por conceder conselhos positivos ao longo desse percurso. Agradeço também ao meu parceiro de pesquisa e amigo Bruno Pinheiro pela condução da pesquisa e incentivo em busca da excelência acadêmica.

Agradeço a todo o corpo docente e à 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 o apoio do Laboratório de Fitotecnia, e ao técnico Gustavo Moreira pela confiança e auxílio durante a condução do experimento juntamente com o Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga e ao Dr. Renan Zamprioli por auxiliar na parte de tecnologia de aplicação requerida nesta presente pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Douglas José Marques pela confiança e por me orientar nesta pesquisa e não medir esforços visando sempre a excelência nos experimentos conduzidos e resultados que visam enriquecer a trajetória acadêmica dos alunos e orientados, Gratidão.

Agradeço à Professora Dra. Cinara Xavier de Almeida e à pesquisadora Dra. Flávia Alves pela disponibilidade e terem aceitado fazer parte da minha banca examinadora para a defesa deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

As fontes de boro (B) aplicadas via foliar podem ter efeitos diferentes em função textura do solo, e assim afetar o metabolismo e a produtividade da soja pela importância desse elemento para a cultura. Geralmente o seu teor é baixo no solo tropical, o que pode causar deficiências e redução da produtividade da soja. Dessa forma, cada cultura necessita de suprimento adequado de B. A hipótese da pesquisa foram que diferentes fontes de B aplicadas via pulverização no solo e nas folhas da soja são influenciadas pela textura do solo. Sendo assim, a pesquisa teve como objetivo avaliar aplicação foliar de diferentes fontes de B, seus efeitos sobre a produção da raiz, trocas gasosas, índice SPAD, eficiência no uso da água e produtividade da soja. O delineamento experimental utilizado foi fatorial 2×5 com cinco repetições. Duas texturas do solo Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa e Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd) com textura média × cinco fontes de boro (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) aplicado via pulverização no solo, nas folhas em estágio reprodutivo R1 e na dessecação da soja. Durante a pesquisa foram avaliados volume da raiz, massa seca planta (raiz, caule e folha), trocas gasosas, eficiência no uso da água e produtividade. Concluiu-se com a pesquisa que aplicação das fontes de boro promove incremento no volume da raiz, na massa seca da raiz, no índice de área foliar, no índice SPAD, no número de nó e na produtividade da soja para a textura do solo média (CXbd). O solo de textura média respondeu positivamente na aplicação das fontes de B. A produção de grãos na vagem obedeceu a ordem crescente de 50% para 3 grãos>40% para 2 grãos>10% para 1 grãos>10% para 4 grãos. Para a classificação do diâmetro dos grãos nas peneiras em função das fontes de boro e textura do solo obedece a ordem crescente diâmetro dos grãos nas peneiras 15 (5,9 mm)>14 (5,5 mm)>16 (6,3 mm)>17 (6,7 mm). Para massa seca do caule e 1000 grãos a textura do solo argilosa (LVd) foi superior independente das fontes de B utilizadas. O fertilizante foliar *borotec2* promoveu maior produção de folha na soja independente da textura do solo utilizada. A fertilizante foliar *borotec1* promove maior produção de vagem com 4 grãos em ambas as texturas de solo. Para o número de vagens abortadas a fonte de ácido bórico promove maior abortamento independentemente das texturas utilizadas.

Keywords: Aplicação foliar; Metabolismo; Fotossíntese; Produtividade.

ABSTRACT

Sources of boron (B) applied via foliar can have different effects depending on soil texture, thus affecting soybean metabolism and productivity due to the importance of this element for the crop. Generally, its content is low in tropical soil, which can cause deficiencies and reduced soybean productivity. Therefore, each crop needs an adequate supply of B. The research hypothesis was that different sources of B applied via spraying to the soil and soybean leaves are influenced by soil texture. Therefore, the research aimed to evaluate the foliar application of different B sources, and their effects on root production, gas exchange, SPAD index, water use efficiency, and soybean productivity. The experimental design used was a 2×5 factorial with five replications. Two soil textures Dystrophic Red Latosol (LVd) with clayey texture and Dystrophic Tb Haplic Cambisol (CXbd) with medium texture × five boron sources (*control*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborate*, and *boric acid*) applied via spraying on the soil, on the leaves in reproductive stage R1 and soybean desiccation. During the research, root volume, plant dry mass (root, stem, and leaf), gas exchange, water use efficiency, and productivity were evaluated. We conclude with the research that applying boron sources promotes an increase in root volume, root dry mass, leaf area index, SPAD index, node number, and soybean productivity for average soil texture (CXbd). The medium-textured soil responded positively to the application of B sources. The grain production in the pod followed the increasing order of 50% for 3 grains>40% for 2 grains>10% for 1 grain>10% for 4 grains. To classify grain diameter on sieves depending on boron sources and soil texture, the order of grain diameter on sieves was 15 (5.9 mm)>14 (5.5 mm)>16 (6.3 mm)>17 (6.7mm). For the dry mass of the stem and 1000 grains, the clayey soil texture (LVd) was superior regardless of the B sources used. The *borotec2* foliar fertilizer promoted greater leaf production in soybeans regardless of the soil texture used. The *borotec1* foliar fertilizer promoted greater pod production with 4 grains in both soil textures. For the number of aborted pods, the *boric acid* source promoted greater abortion regardless of the textures used.

Keywords: Foliar application; Metabolism; Photosynthesis; Yield.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 Importância econômica da soja	6
2.2 Boro na nutrição da soja	7
2.3 Textura do solo na dinâmica do boro	9
2.4 Aplicação foliar do boro	11
3 METODOLOGIA	12
3.1 Local da pesquisa	12
3.2 Análise química e física do solo	13
3.3 Manejo da Irrigação	14
3.4 Manejo da adubação	19
3.5 Aplicação das fontes boro (borotec1, borotec 2, octaborato e ácido bórico)....	19
3.6 Manejo fitossanitário	21
3.7 Delineamento experimental	21
3.8 Avaliação agronômica	22
3.8.1 Volume raiz	22
3.8.2 Massa seca da raiz, caule, folha	22
3.8.3 Avaliação fisiológica	23
3.8.4 Índice de refletância	23
3.8.5 Determinação das trocas gasosas nas folhas da soja	24
3.8.6 Produtividade da soja	24
3.9 Análise estatística dos dados	24

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÕES	38
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O B é um importante micronutriente que atua no metabolismo da soja (MALAVOLTA et al., 1997) a dependência de umidade no solo pode aumentar a sua eficiência no uso na planta que é imóvel e de grande mobilidade no solo (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). É encontrado nas formas de ácido bórico e, em condições de pH elevado, como borato (DANTAS, 1991; CAMARGO, 1991) e sua deficiência é muito comum em solo tropical.

A adubação foliar, principalmente com micronutrientes, dentre eles o B é muito recomendado, e têm sido uma das ferramentas mais recomendadas por empresas à produtores rurais visando corrigir desbalanços nutricionais nas lavouras e conseqüentemente aumentos na produtividade da cultura da soja (SUZANA et al., 2012). É adotada como forma de incrementar e manter os níveis de nutrientes elevados nas folhas, principalmente na fase de enchimento de grãos (GARCIA; HANWAY; 1976) podendo gerar maiores produções de grãos de soja (REZENDE et al., 2005).

O elemento é um micronutriente limitante na maioria das regiões brasileiras, principalmente em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica devido seu potencial de lixiviação (PLACIDO, 2021) os quais podem apresentar baixa disponibilidade de B (DANTAS, 1991). A ocorrência desse fato é especialmente importante em áreas com alto índice pluviométrico, fazendo com que o B possa ser lixiviado (COMMUNAR; KEREN, 2006).

Durante as fases vegetativa e reprodutiva da planta, sua carência afeta trocas gasosas e a eficiência fotossintética, podendo reduzir a produtividade da cultura (FUJIYAMA, 2019). Suas funções na planta estão associadas ao armazenamento de energia e por atuar junto ao cálcio na integridade de estruturas e constituição das paredes celulares (SANTORO, 2019) o alongamento de células, metabolismo de ácidos nucleicos e crescimento do tubo polínico, evitando abortamento de racemos e vagens (SALLES, 2023).

A aplicação pode ser de diferentes formas, no solo o método mais recomendado e seguido de aplicações foliares de forma parcelada, estágio vegetativo ou reprodutivo da cultura, na soja promove aumento no enchimento de grãos, redução do abortamento das vagens, formação do grão e promover incremento na produtividade em até 60% (RERKASEM et al., 1997).

Aplicações foliares na cultura da soja podem ser mais fáceis por possibilitar sua

aplicação com misturas de tanque (ASAD et al., 2003). Podemos citar que as fontes de B mais utilizadas na adubação são o bórax com 11 % de B e o ácido bórico com 17% de B na sua composição, tendo maior solubilidade (CAMARGO, 1991). Outra possibilidade são diferentes formulações comercializadas por empresas de adubação foliar.

É comum a deficiência do B na planta, em função da textura do solo, no manejo da matéria orgânica e nas áreas irrigadas, essa diminuição no teor afeta as propriedades funcionais dos estômatos, danos estruturais nas células de proteção, diminuindo a atividade da célula por diminuir atividade metabólica dos estômatos (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).

A hipótese da pesquisa foram que diferentes fontes de B aplicadas via pulverização no solo e nas folhas da soja são influenciadas pela textura do solo. Sendo assim, a pesquisa tem como objetivo avaliar aplicação foliar de diferentes fontes de B, seus efeitos sobre a produção de raiz, trocas gasosas, índice SPAD, eficiência no uso da água e produtividade da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da soja

A cultura da soja desde os anos de 1970, é considerada a principal cultura da agricultura brasileira. O país é o maior produtor do mundo de soja, com 44 milhões de hectares, com produção 154 milhões de toneladas (CONAB, 2023). A safra de soja do Brasil em 2023/2024 foi estimada em 151,5 milhões de toneladas, alta de 1,1 milhão de toneladas. O aumento na produção brasileira se deve a perspectivas mais otimistas para o rendimento nos Estados de Goiás, Maranhão, Tocantins, Piauí, Pará e Bahia (STONEX 2024).

Nosso país é o maior produtor e exportador mundial de soja, responsável pelo abastecimento alimentar de vários países de forma sustentável (CRUZ; SIQUEIRA, 2021) foram exportados entre 78 milhões de toneladas de soja e 20 milhões de toneladas de farelo de soja (ANEC, 2023). O centro oeste brasileiro composto por Mato Grosso,

Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal, é responsável por 45,1% de toda a produção do Brasil. Somando o cerrado do Oeste Baiano, Maranhão, Tocantins e Piauí, temos 53,89% da produção nacional. Assim sendo, o cerrado brasileiro é responsável por mais da metade da produção nacional (IBGE, 2022).

A versatilidade de uso do grão da soja pela indústria, como fonte de proteína para alimentação animal, produção de óleo vegetal, biocombustível e indústria cosmética, faz com a cultura seja uma das atividades agrícolas mais difundidas no mundo, sendo responsável por alavancar o agronegócio brasileiro (APROSOJA, 2023). A soja é comumente utilizada na produção de óleo vegetal e de ração animal, mas seu potencial nutricional e o auxílio em doenças crônicas e degenerativas tem feito o seu consumo crescer (LANDGRAF, 2010).

A cadeia produtiva da soja desempenha papel social essencial no Brasil, empregando milhares de pessoas ligadas direta ou indiretamente ao cultivo da soja, contribuindo para o desenvolvimento local, regional e nacional. Os números estimados da cadeia produtiva de soja brasileira são de 243 mil produtores e um mercado de 1,4 milhões de empregos (APROSOJA BRASIL, 2023). O PIB do complexo da soja expandiu 58%, o agronegócio aumentou 8% e a economia cresceu 12% (ABIOVE, 2023) a cadeia da soja e do biodiesel gerou 2,05 milhões de empregos, 80% a mais em 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). A estimativa é que existe em torno de 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 (FPA, 2023).

O mercado da soja reflete diretamente na economia nacional, além disso, um de cada quatro dólares exportados pelo complexo agroindustrial brasileiro provém da soja. Com isso, a exportação é um dos principais destinos da soja brasileira é responsável por boa parte da arrecadação do agronegócio do país (EMBRAPA, 2023).

2.2 Boro na nutrição da soja

O B é um micronutriente essencial no desenvolvimento da soja proporciona maior desenvolvimento radicular, atua na divisão das paredes celulares e contribui no

metabolismo para o aumento da resistência da planta a efeitos adversos (SHELP, 1993).

O aumento no rendimento da soja pela adição do B, principalmente em solos do cerrado brasileiro (GALRÃO, 1990). A cultura soja sob alta dose de calagem (MASCARENHAS et al., 1988) podem afetar a absorção do elemento causando deficiência de B. A interação de nutrientes pode provocar deficiência ou toxidez e, no caso do B, a relação B/Ca é particularmente importante (BATAGLIA, 1988) e a manifestação da deficiência vai depender das condições bióticas e abiótica (GUPTA, 1993)

A adubação ainda é o melhor meio para suprir as necessidades fisiológicas da planta para esse micronutriente (TANAKA et al., 2008). Outro fator a ser analisado, é a fonte a ser utilizada, pois a maioria dos adubos com B possuem alta solubilidade e estão sujeitos a maior intensidade de lixiviação no solo (TRAUTMANN et al., 2014).

Devido a atuação do B no florescimento das plantas a adubação costuma ser realizada no início do estágio reprodutivo contudo, alguns autores defendem a adubação após o florescimento, alegando uma maior produtividade de sementes (SOUZA et al., 2008).

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).

2.3 Textura do solo na dinâmica do boro

É um dos micronutrientes indispensáveis para o desenvolvimento das plantas, quando está com baixo teor no solo e planta impede o alcance da produtividade desejada (SAUERWEIN; TARABUIO, 2021). Solos com baixos teores de argilominerais, com texturas arenosa, em condições de regime de chuvas intenso ou irrigação são mais propícios em alterar a dinâmica do B no solo (SOUSA, 2023).

O elemento é encontrado no solo em sua forma aniônica ou sem carga específica, sendo muito móvel no solo e facilmente carregado para as camadas mais profundas pelo processo de lixiviação em áreas irrigadas ou que durante o ano recebe um grande regime de chuva. As perdas do B por lixiviação podem alcançar 85% de toda aplicação do elemento em solos de textura arenosa em sistema de irrigação artificial (GUPTA, 1993).

É disponibilizado para as plantas como ácido bórico, é encontrado não dissociado no solo, obtendo carga neutra e por isso se caracteriza por ser móvel no meio. Quando em sua forma de ânion $B(OH)_4^-$ pode ser adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (SOARES et al., 2005). A caulinita, argila 1:1, apresenta hidróxidos de alumínio em sua composição, possuindo afinidade com o B e pode retê-lo (SOARES et al., 2005; ROSOLEM; BÍSCARO, 2007).

Solos com baixo teor de matéria orgânica e de textura arenosa apresentam níveis maiores de deficiência do B (ROSOLEM; BÍSCARO, 2007). Solos não corrigidos e com textura mais fina apresentam um poder maior de retenção do B, que se liga a partículas específicas do solo como os argilominerais e os hidróxidos de alumínio e ferro. Contudo, essa não é uma condição desejável já que o elemento é adsorvido na superfície das partículas é considerado o “reservatório” de B mais disponível para as plantas (SOUSA, 2023).

Em textura arenosa do solo, a aplicação com doses crescentes de B até 2 mg dm^{-3} , com teor inicial de $0,32 \text{ mg dm}^{-3}$, 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 elemento 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 (ROSOLEM; BÍSCARO, 2007).

A matéria orgânica após a sua 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 adsorção do B é realizada através de dois fatores, o pH do solo e concentração de B no meio (SAUERWEIN; TARABUIO, 2021). A adsorção de B conduzida pelos oxidróxidos de ferro e alumínio são mais expressivas conforme o pH e a concentração do nutriente em questão aumentam, o que pode levar a perdas por lixiviação (CATANI et al., 1971). Possui carga neutra na forma de ácido bórico, sendo facilmente lixiviado (SOARES et al., 2005).

Os fatores ambientais e a fonte de B que é adicionada ao solo podem influenciar tanto na disponibilidade quanto na perda do nutriente, fontes solúveis de B, o excesso, a lixiviação, as chuvas e irrigação essas condições devem ser levadas em conta na tomada de decisão de qual fonte utilizar de acordo com a necessidade da cultura (FERRANDO; ZAMALVIDE, 2012).

A falta de água no solo é outro fator que restringe a mobilidade de B no solo. Um dos principais mecanismos que governam a absorção e o acúmulo de B nas plantas é o mecanismo de fluxo de massa, que é dependente de água (SOUSA, 2023).

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).

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.

2.4 Aplicação foliar do boro

O fornecimento de B para as plantas pode ser realizado via solo, através de adubos 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 a ulexita, ácido bórico e bórax. A fonte ulexita é composta por borato de sódio e cálcio, sendo o borato de cálcio o mais solúvel dentre os conhecidos, com 10 a 15% de B e 12 a 14% de cálcio. Para o ácido bórico se encontra na forma de cristais, com 17-18% de B, apresentando alta solubilidade em água e baixa reatividade no solo, o que torna essa fonte extremamente suscetível à lixiviação. O bórax consiste em borato de sódio com 11% de B (BYERS et al., 2001). Podem ser aplicados o 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 solubilidade seja evitado. Tem sido recomendado diluir até 4,0 kg de ácido bórico por 100 L de calda (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020).

Em consequência da imobilidade natural do B dentro da planta, não ocorrendo sua redistribuição através dos vasos do floema, esse nutriente deve ser suprido, continuamente, durante todo o período de crescimento da planta (KOHL & OERTLI 1961). Períodos de deficiência de B, tão curtos quanto um dia, podem afetar o desenvolvimento das plantas (KOUCHI & KUMAZAWA 1975).

A quantidade de B disponível no solo para a planta pode ser diminuída sob diversas condições: pH baixo, facilitando as suas perdas por lixiviação (KUBOTA et al., 1948). No Brasil, essas condições são bastante frequentes. Nos solos de cerrados, que ocupam cerca de 25% do território nacional, a escassez de água, o pH baixo e os altos teores de alumínio e ferro predispõem à deficiência de B.

Apesar da aplicação foliar de solução com B pode ser o meio recomendado para corrigir sintomas de deficiência deste nutriente (MALAVOLTA et al., 1974) sua eficiência é uma questão duvidosa, pois, devido à imobilidade natural do boro na planta (KOUCHI & KUMAZAWA 1975), o sistema radicular, primeira parte da planta a ser afetada pela

deficiência (WHITTINGTON 1959), deverá continuar sofrendo as consequências da falta do nutriente, prejudicando a relação água-plantas, a adsorção dos outros íons e, em última análise, a produção.

A aplicação de B junto ao dessecante na pré-semeadura da soja, favorece ganhos na altura e no 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 (ECCO et al., 2022). O efeito do B na composição química das plantas carece de mais pesquisas para entender sua atuação no metabolismo (OHKI, 1975), por exemplo, observou que a deficiência de B reduziu o teor de fósforo, não afetando os teores de cobre, ferro, manganês e zinco nas folhas de algodoeiro.

3 METODOLOGIA

3.1 Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada no Campo Demonstrativo e Experimental da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. Foi conduzida 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°43'36.56"S, 47°31'29.46"O) altitude de 908 m.

Como planta teste foi utilizada a cultivar de soja “Pérola”. Suas características são crescimento indeterminado e média a 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. Essa cultivar está inserida nos zoneamentos agroclimáticos 301, 302, 303, 304, 401, 402, 403 e 405, sendo indicada uma população de 280.000 a 360.000 plantas ha⁻¹.

A semeadura foi realizada em vasos com capacidade total de 10 dm³, preenchidos com 8 dm³ do seu volume com solo. No interior da casa de vegetação todos os vasos foram acondicionados sobre blocos de alvenaria, com o intuito de evitar o contato dele diretamente com o solo.

3.2 Análise química e física do solo

Foi utilizado o solo Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd) de textura média, e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, coletado em campo natural (18°29'50"S, 47°29'16"W) (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, antecedendo a correção de sua acidez e adubação de base (Tabela 1). A análise granulométrica foi também realizada conforme Embrapa (2018). Para a realização das análises foram utilizadas amostras, obtidas por secagem ao ar, destorroamento e peneiramento (< 2 mm).

Tabela 1. Características químicas e físicas das texturas do solo (LVd e CXbd) na profundidade de 0-20 cm antes da adubação do plantio

Química ¹	Unidades	LVd	CXbd
pH CaCl ₂		4,55	4,27
P	mg dm ⁻³	0,35	0,59
K	mg dm ⁻³	21,75	27,22
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,41	0,33
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,13	0,20
Al	cmol _c dm ⁻³	0,10	0,41
H+Al	cmol _c dm ⁻³	2,48	4,13
SB	cmol _c dm ⁻³	0,60	0,60
t	cmol _c dm ⁻³	0,70	1,01
T	cmol _c dm ⁻³	3,08	4,73
V	%	19,00	13,00
m	%	0,00	41,00
MO	dag kg ⁻¹	0,88	1,66
B	mg dm ⁻³	0,1	0,16
Cu	mg dm ⁻³	0,82	1,16
Fe	mg dm ⁻³	28,52	50,10
Mn	mg dm ⁻³	9,27	11,84
Zn	mg dm ⁻³	0,37	0,62

Análise granulométrica			
Areia total	g kg ⁻¹	370	670
Silte	g kg ⁻¹	90	20
Argila	g kg ⁻¹	540	310

¹pH (acidez ativa) - Método: CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹; H+Al (acidez potencial) - Método: pH SMP; Alumínio trocável - Método: Titulometria (1 mol.L⁻¹); Matéria orgânica (MO) - Método: Colorimétrico (IAC); Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio - Método: Resina trocadora de íons; S-SO₄²⁻ (Enxofre) - Método: Turbidimetria (BaCl₂ em pó); Fe, Mn, Cu e Zn - Método: DTPA (Absorção Atômica); Boro: BaCl₂.2H₂O - Método: microondas.²Análise física do solo: Método do densímetro. Embrapa (2018).

Os cálculos para correção da acidez do solo seguiram as recomendações de Ribeiro et al. (1999), visando neutralizar Al³⁺ e aumentar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺. O calcário dolomítico utilizado para corrigir a acidez do solo possui carbonato de cálcio (CaCO₃) e carbonato de magnésio (MgCO₃). Foi utilizado reagente puro (MgO = 6 a 8%, 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 dm³ de solo presente em cada vaso, ele foi acondicionado em sacos plásticos e umedecidos com 1,5 L água vaso⁻¹, visando atingir 100% a condição de campo, executando assim a incubação com a finalidade de favorecer e potencializar a reação corretiva.

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).

3.3 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 m de espessura, utilizando gotejadores autocompensantes e antidrenantes com vazão de 2 L h⁻¹ acoplados através de conectores adaptadores em microtubos de 06 mm e flechas gotejadoras, facilitando o remanejo dos locais de aplicação e fixação no solo (Figura 1). 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 tensiômetros, distribuídos igualmente em quatro

vasos distintos. A leitura deles foi realizada diariamente por volta das 17 h, com o auxílio de um tensímetro digital de punção marca *SondaTerra*, fornecendo valores em milibar (mbar). Após a coleta dos 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.



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

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 gerada 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 dessa equação e dos valores observados, foi gerada a curva de retenção da água no solo para o volume utilizado por vaso.

Para o manejo da irrigação foram utilizados tensiômetros de cápsulas porosas

instalados nos vasos, após foi realizada a leitura utilizando o tensímetro, para estimar a lâmina de água aplicada. Para a transformação da leitura do potencial mátrico do solo em umidade volumétrica, foi elaborado uma planilha para o cálculo da quantidade e volume de água aplicada, utilizando os parâmetros da curva de retenção de água no solo, para as texturas CXbd e LVd utilizando o modelo de van Genuchten apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros usados no manejo da irrigação em vasos de 8 dm³ de solo em diferentes texturas.

Parâmetros de ajuste	Textura do Solo	
	CXbd	LVd
θ_s	0,51449	0,56977
θ_r	0,073141	0,12425
α	0,038183	0,058284
n	1,5193	1,4527
m	0,341802	0,311627

A capacidade de campo, estimada para os vasos foi de 0,31 cm³ cm⁻³ para o solo CXbd e de 0,34 cm³ cm⁻³ para o solo LVd. A leitura dos tensiômetros instalados nos vasos de controle foi utilizada para a estimativa da umidade atual, e posteriormente do volume de água necessário para se voltar o vaso à capacidade de campo de acordo com as equações a seguir.

$$V_i = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * V_u$$

Em que:

V_i = Volume de água necessário para voltar o vaso a capacidade de campo no dia i (L);

θ_{cc} = Umidade do solo na capacidade de campo (cm³ cm⁻³);

θ_{atual} = Umidade atual do solo (cm³ cm⁻³);

V_u = Volume útil de solo no vaso (L).

Os dados de volume de solo necessários para voltar o solo na capacidade de campo foi transformado em tempo de irrigação de acordo com a equação a seguir.

$$T_i = V_i / q$$

Em que:

T_i = tempo de irrigação necessário para se voltar o solo do vaso à capacidade de campo no dia i (h);

V_i = Volume de solo necessário para voltar o vaso a capacidade de campo no dia i (L);

q = vazão do gotejador ($L h^{-1}$).

O coeficiente de uniformidade relativo à vazão de água utilizado neste estudo foi o proposto por Bralts e Kesner (1983). A decisão sobre o momento de irrigação foi realizada via tensiometria. O monitoramento dos tensiômetros foi realizado diariamente, aproximadamente às 17h00. Os resultados do potencial matricial do solo (A), umidade do solo (B) e volume de água aplicado (C) durante a pesquisa estão apresentados na Figura 2.

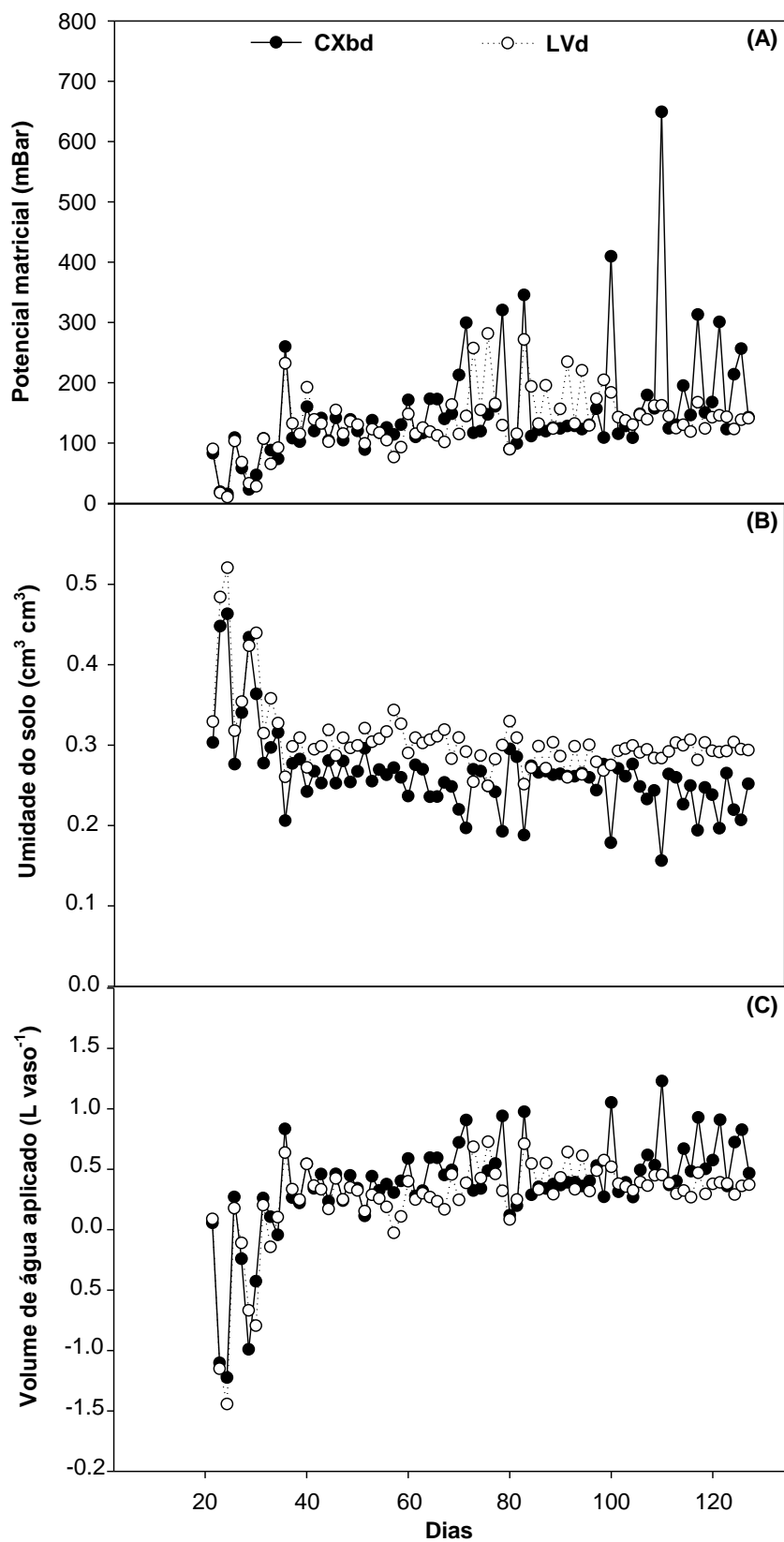


Figura 2. Potencial matricial do solo (A), umidade do solo (B) e volume de água (C) durante o experimento.

Volume de água aplicado diariamente (Figura 3A) e volume total (Figura 3B) no solo com 8 dm^{-3} em cada vaso durante o ciclo da cultura da soja.

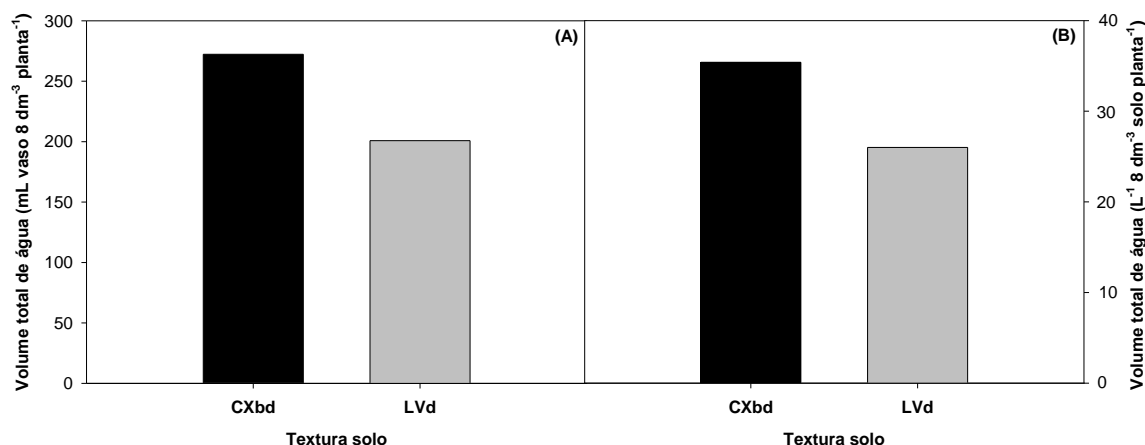


Figura 3. Volume de água aplicado diariamente (A) e volume total de água (B) aplicado em diferentes texturas CXbd e LVd com 8 dm^{-3} solo para cada vaso durante o ciclo da cultura da soja.

3.4 Manejo da adubação

Após o período de incubação do solo, foi realizada 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	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
P	300	KH_2PO_4
K	200	KH_2PO_4
S	40	K_2SO_4
B	0,81	H_3BO_3
Mg	46	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Mn	3,0	MnSO_4
Cu	7,5	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Mo	0,5	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
Zn	2,5	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

3.5 Aplicação das fontes boro

A aplicação das fontes de B (*borotec1*, *borotec 2*, *octaborato* e *ácido bórico*) 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 do B 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 posicionados os tratamentos separadamente com 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 5). As condições ambientais durante o processo de aplicação foram monitoradas utilizando uma estação meteorológica 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 no solo antes da semeadura da cultura 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 e na dessecação da soja (Figura 4), 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 4. Imagem da aplicação com fontes de B na planta e no círculo vermelho presença das gotas via aplicação na foliar. As aplicações foram executadas com auxílio de um pulverizador costal pressurizado tipo CO₂ de pressão constante.

3.6 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 trips (*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) + clorotraniliprole (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.

3.7 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi fatorial 2×5 com cinco repetições, sendo dois solos de diferentes texturas, um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, coletado em mata nativa (18°43'48,3"S, 47°30'16,6"W), Oxisol e um Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd) com textura média, coletado no campo natural

(19°09'03,32''S, 47°39'14,96''W) Inceptissol x cinco fontes de boro (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) aplicado no solo antes da semeadura, nas folhas da no estágio reprodutivo (R1) e na dessecação da soja (Tabela 3). As fontes *borotec1* e *borotec2* são adubos foliares. Já as demais fontes utilizadas foram o *ácido bórico* (peso molecular: 61,83 g mol; teor mínimo 99,5%) e *octaborato* (21% B).

Tabela 3. Apresentação dos tratamentos e concentração das fontes de B aplicados via pulverização.

Tratamentos			
Tratamentos	Produtos	Dose (L kg ha ⁻¹)	Momento de aplicação
1	Controle	-	-
2	Borotec	0,50	R1 e Dessecação
3	Borotec	1,00	R1 e Dessecação
4	Ácido bórico	0,50	R1 e Dessecação
5	Octaborato de Sódio	0,50	R1 e Dessecação

3.8 Avaliação agronômica

3.8.1 Volume raiz

Antes de coletar as amostras do sistema radicular das plantas serem introduzidas na estufa para desidratação e obtenção de matéria seca, foi medido o comprimento das raízes. As raízes foram espalhadas sobre uma bancada por um período de 24 horas após a lavagem. Posteriormente foi realizada análise volumétrica das raízes e calculado o volume utilizando uma proveta graduada (1000 mL), que foi preenchida com uma solução composta por álcool 70% e água 30% até metade de sua capacidade (500 mL), onde as raízes foram imersas, e o volume foi determinado pelo deslocamento da solução e medido em mL (MARQUES et al., 2010).

3.8.2 Massa seca da raiz, caule, folha

Foram coletadas a raiz, o caule e a folha para determinação da massa da matéria seca produzida pelas plantas de soja. As raízes foram separadas da parte aérea através de

um corte na região do coleto da planta, sendo posteriormente desagregadas do solo retirando todas as 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 (Modelo: UX6200H: 6200 g x 0,01 g, Shimadzu, Kyoto, Japão), expressando seu peso em gramas.

3.9 Teor do B na folha e acúmulo

A determinação do teor de B foliar foi realizado no laboratório de Análise Ambientais e Agrícolas (LABRAS) localizado na cidade de Monte Carmelo- MG. A quantificação do acúmulo foi realizada por meio da multiplicação entre a massa seca total (raiz, caule e folha) e o teor do elemento na folha.

3.10 Índice de área foliar

O índice de área foliar foi estimado (R1) após a coleta de amostras de folhas, medindo-se seu comprimento e largura. Foram pesadas individualmente para obtenção do índice de área foliar específico, expresso em centímetros quadrados por grama ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), e transformado em metros quadrados por grama. quilograma ($\text{m}^2 \text{kg}$). Posteriormente, com a coleta de todas as folhas da planta, foi pesado o peso total da matéria seca das folhas e estimado o índice de área foliar por meio da equação IAF: $\text{MSF} \times \text{AFE}/\text{S}$ (Toledo et al., 2010). IAF: índice de área foliar, MSF: massa seca de folhas amostra g, AFE: área foliar específica, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$

3.11 Avaliação fisiológica

3.11.1 3.8.6 Índice de refletância

Para a determinação do índice SPAD foi utilizado um clorofilômetro portátil, SPAD-502 às 8h00 que fornece leituras instantâneas não destrutivas. A quantificação foi realizada no estágio reprodutivo R1, foi padronizado o terço médio das plantas e as leituras foram realizadas no folíolo central das plantas. Seguindo as especificações do aparelho, foram feitas 6 leituras no folíolo central de uma planta, considerando a média

para tabulação dos dados.

3.11.2 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 diagnóstico (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, transpiração, condutância estomática, concentração intercelular CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência no uso da água. As medições foram realizadas utilizando-se fonte de luz onde a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa foi fixada em $600 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, assim como a concentração de CO₂, um conjunto de bombeamento e condicionamento de ar, controladores de fluxo, tubos e conexões.

3.11.3 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. A produtividade da planta por hectare foi estimada padronizando 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 ha⁻¹) x (legumes planta⁻¹) x (grãos legume⁻¹) x (massa 1000 grão⁻¹).

3.12 Análise estatística 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 foram comparadas pelo teste Tukey. Todas as análises foram realizadas no software *RStudio*. Para todas as análises estatísticas, o nível de significância adotado foi de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem da raiz da soja (Figura 5) em função das fontes de B nos tratamentos *controle* (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e *ácido bórico* (E) para a textura do solo média (CXbd) e *controle* (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e para textura do argilosa (LVd).

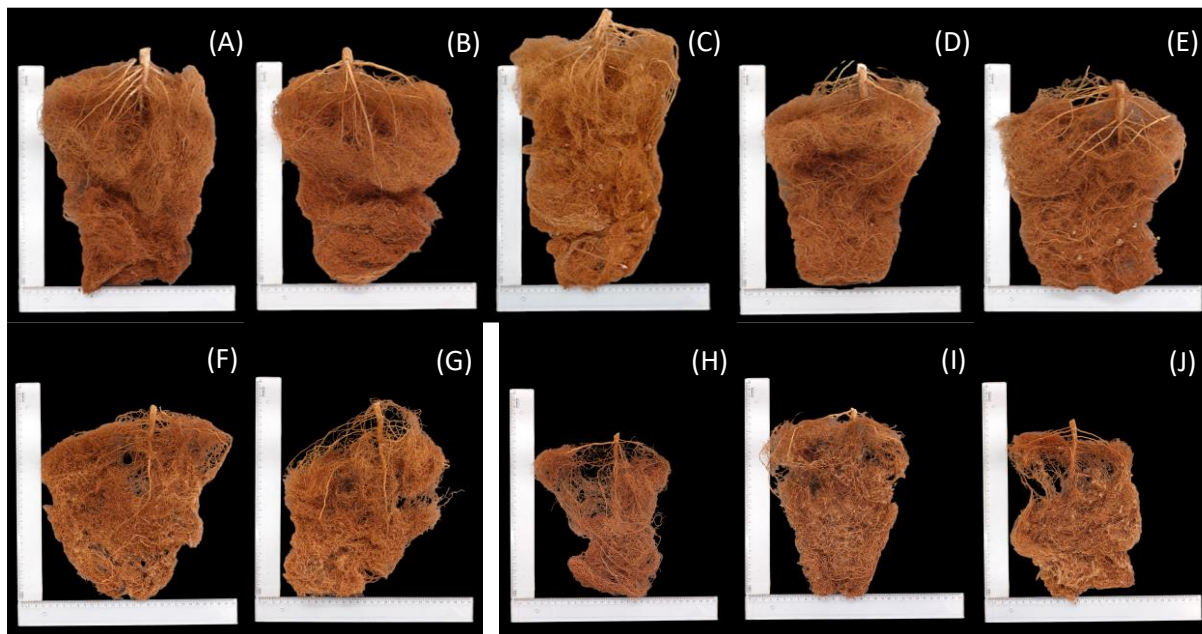


Figura 5. Imagem da raiz da soja em função das fontes de B *controle* (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e *ácido bórico* (E) para textura do solo CXbd e para a textura do solo LVd nos tratamentos *controle* (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e *ácido bórico* (J).

Observamos que houve interação significativa entre as fontes de B sobre as texturas do solo na produção da raiz. Para a textura do solo média (CXbd) a raiz apresentou melhor desenvolvimento em comparação a textura do solo argilosa (LVd). Para a aplicação das fontes de B aumentou em 70 % volume da raiz (Figura 6A) e 84% de aumento para massa seca da raiz (Figura 6B) na soja. Para a textura do solo CXbd as aplicações do *borotec 2* e *ácido bórico* foram superiores (Figura 6A). Para as fontes *borotec1*, *octaborato* e *ácido bórico* foram superiores na textura do solo LVd para a massa seca da raiz (Figura 6B). Para a massa seca do caule (Figura 6C) 84 % de superioridade para a textura do solo CXbd, não havendo diferença significativa para as fontes de B. Já

para a textura do solo LVd houve diferença significativa para as fontes de B nos tratamentos *controle*, *octaborato* e *ácido bórico* na massa seca do caule (Figura 6C). Para a massa seca da folha 70 % superior para o tratamento *borotec2* na textura do solo CXbd. Para a textura do solo LVd não diferiu significativamente para as fontes B (Figura 6D). Concentrações de B quando aplicadas em diferentes enxertos no citrus, se comportaram de formas variadas (MESQUITA et al., 2016) notando que a aplicação de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B apresentou resultado significativo para a massa seca da raiz, enquanto na dose utilizada igual a 5 mg L^{-1} resultou em toxidez na massa seca da raiz. Silva et al., (2017) estudaram doses de B em função da capacidade de retenção de água no solo observando que quanto maior a umidade, maior foi a massa seca de raiz nas concentrações de 0 até $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de B. A função do elemento na planta é desenvolver raiz, metabolizar carboidratos, transportar açúcares, fazer síntese de ácidos nucléicos (DNA e RNA), síntese de hormônios, divisão celular e colabora com o cálcio na formação das paredes celulares (CASTILLO, 2016). Cultivares de soja com característica de crescimento indeterminado, apresentam o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo em constante evolução até o início do enchimento dos grãos. Para Zanon et al. (2015) constataram que ao aplicar B nos estádios R1 e R3 favorece incremento nos órgãos vegetativos, reprodutivos e após a floração. Porém, pelo fato de o B apresentar baixa mobilidade no floema, a necessidade de ofertar o micronutriente em questão à cultura no estágio vegetativo (CALONEGO et al. 2010) reprodutivo (AHAMAD et al. 2009) e mais de uma vez durante o ciclo da soja (ZANON et al., 2015).

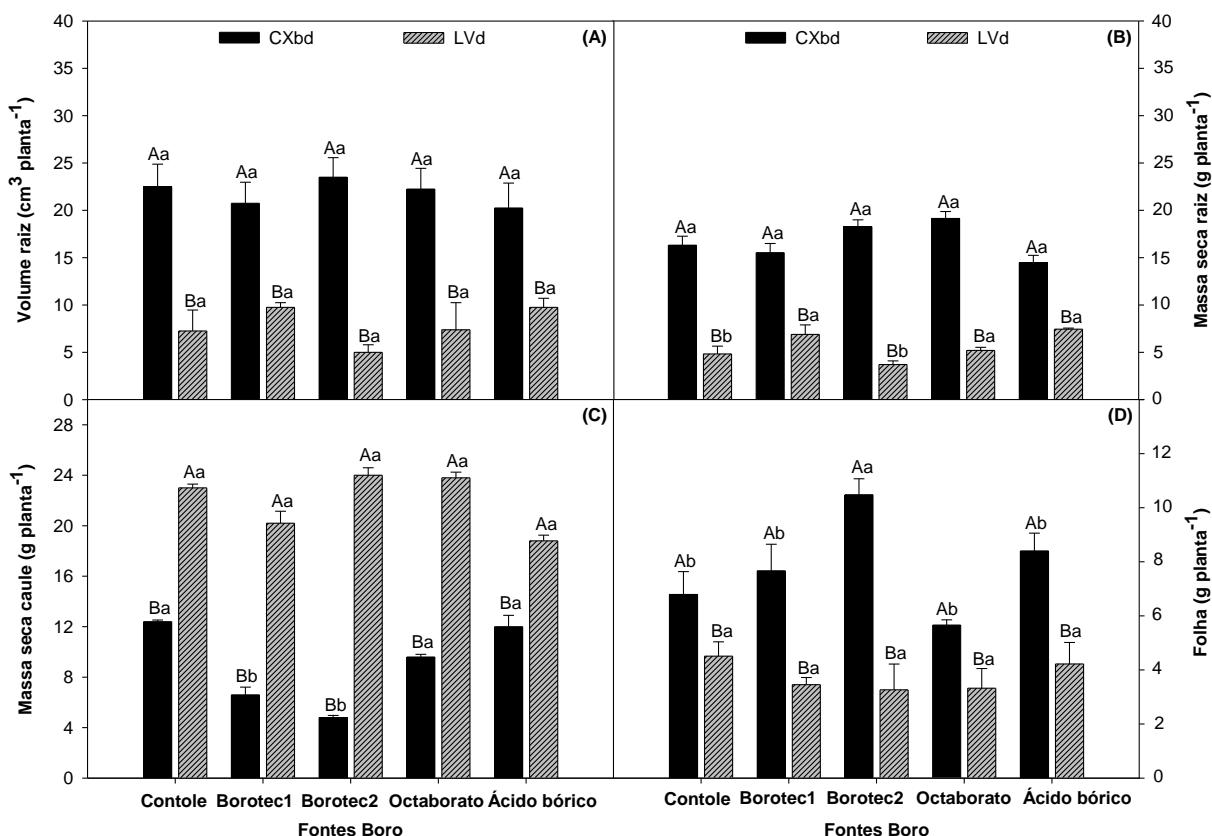


Figura 6. Volume da raiz (A), massa seca raiz (B), massa seca do caule (C) e massa seca folha (D) em função das fontes de B (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Imagens das plantas de soja (Figura 7) em função das fontes de B, *controle* (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e *ácido bórico* (E) para textura do solo média (CXbd) e para textura do solo argilosa (LVd) *controle* (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e *ácido bórico* (J) na soja.

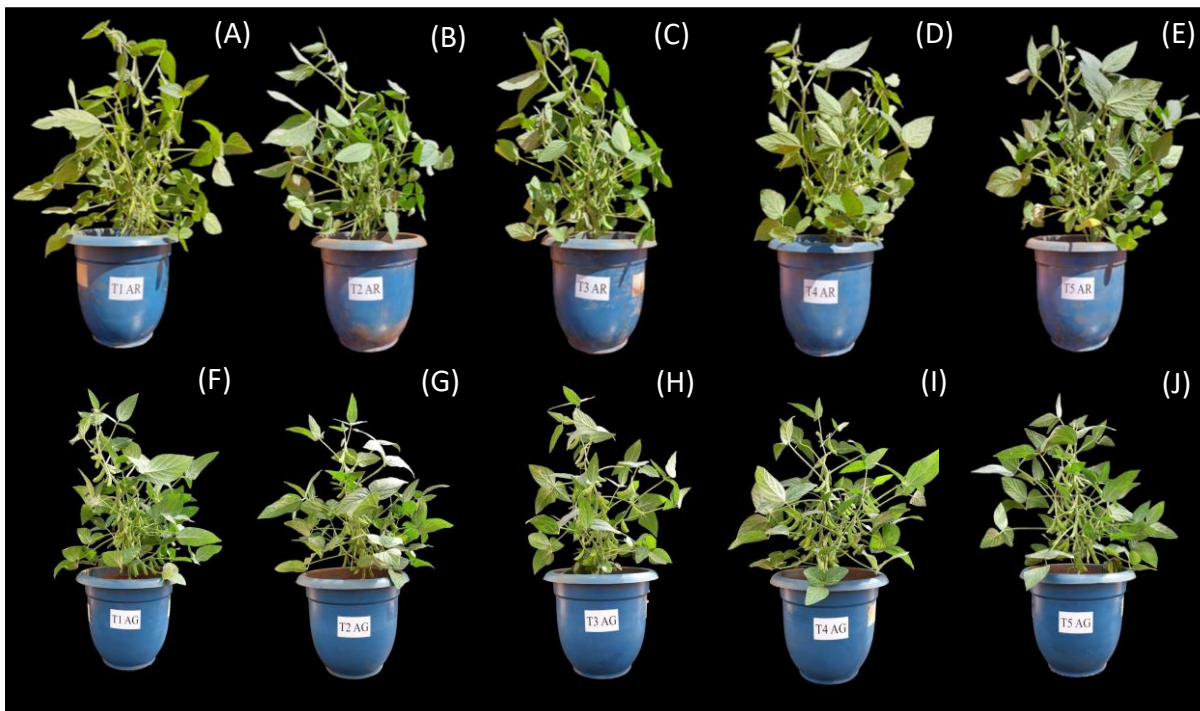


Figura 7. Imagem das plantas de soja via em função das fontes de B nos tratamentos controle (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e ácido bórico (E) para textura do solo média (CXbd) e para a textura do solo argilosa (LVd) nos tratamentos controle (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e ácido bórico (J) na soja.

Para o índice de área foliar 75 % foram superiores para as fontes *borotec2* e ácido bórico para a textura do solo média (CXbd), quando comparado com a textura argilosa (LVd). Para a textura LVd não houve diferença significativa para as fontes (Figura 8A). Já para a unidades SPAD a textura CXbd foi superior para a fonte *borotec2* quando comparado com a textura LVd (Figura 8B). Para aplicação via foliar no solo e folha do B nesta pesquisa teve seu objetivo atingido para adequar os níveis de boro na folha para as texturas do solo (CXbd e LVd) (CASTILLO, 2016).

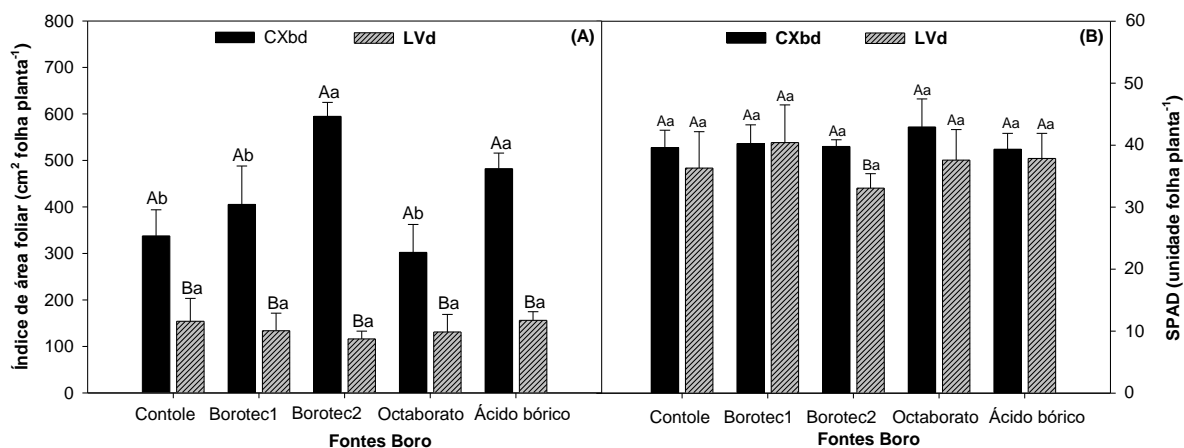


Figura 8. Índice de área foliar (A) e unidades de SPAD (B) nas folhas no estágio reprodutivo R1 na soja em função das fontes de B (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na folha da soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Observamos que para a taxa fotossintética (Figura 9A) e transpiração houve interação significativa entre as fontes de boro (Figura 9B) na folha da soja em torno de 30% de predominância de superioridade para a textura do solo média (CXbd) quando comparado com a textura do solo argilosa (LVd). Para condutância estomática na textura do solo CXbd para as fontes *borotec2* e *ácido bórico* foram 55 % superiores quando comparado com a textura LVd (Figura 9C). Para a concentração intercelular CO₂ as fontes *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico* foram superiores para a textura CXbd (Figura 9D). O ácido bórico desempenha importante papel no transporte do nutriente na planta (DEMBITSKY et al., 2002) o B uma vez transportado até a folha pelo fluxo respiratório, tem baixa mobilidade na planta (BROWN; HU, 1998). 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). Esses efeitos positivos para as trocas gasosas podem estar associados ao índice de área foliar e unidades de SPAD na folha encontrado nesta pesquisa (Figura 8 A e B).

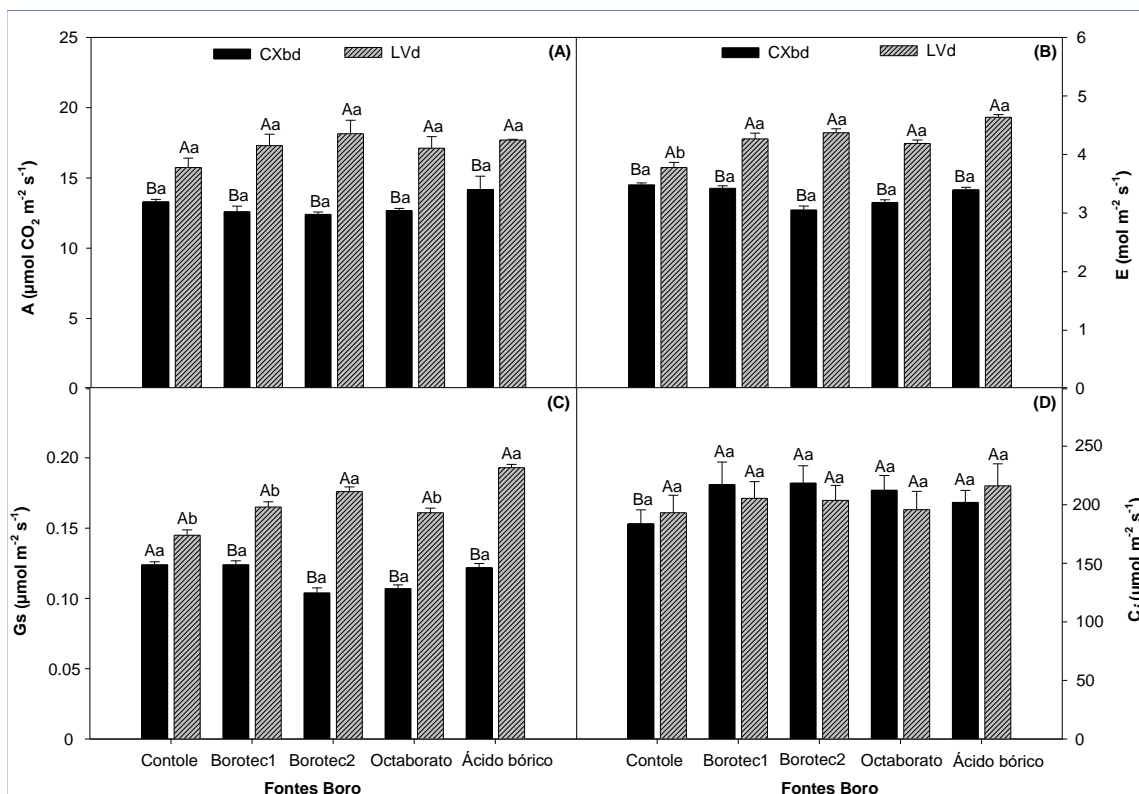


Figura 9. Taxa fotossintética (A), transpiração (B), condutância estômática (C) e concentração intercelular CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (D) na folha em função das fontes de boro (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na folha da soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas comparam 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 eficiência no uso da água (Figura 10) não houve diferença significativa em função das fontes B e textura do solo. Esses resultados comprovam o efeito dos níveis adequados do B na planta melhorando o metabolismo do uso da água na planta. A habilidade das folhas em absorver nutrientes depende diretamente do status nutricional da planta. A absorção do B está relacionada ao estado de hidratação da folha (FAGAN et al., 2015) pois as cutículas bem hidratadas são bastante permeáveis à água e aos hidrossolutos (NASERI et al., 2002) em folhas de macieira (*Malus domestica*) teve uma correlação negativa com o status de B na mesma (ŚWIETLIK; FAUST, 1984) observaram uma relação positiva entre status nutricional em plantas e absorção de nutrientes via folhas (MARSCHNER, 2012).

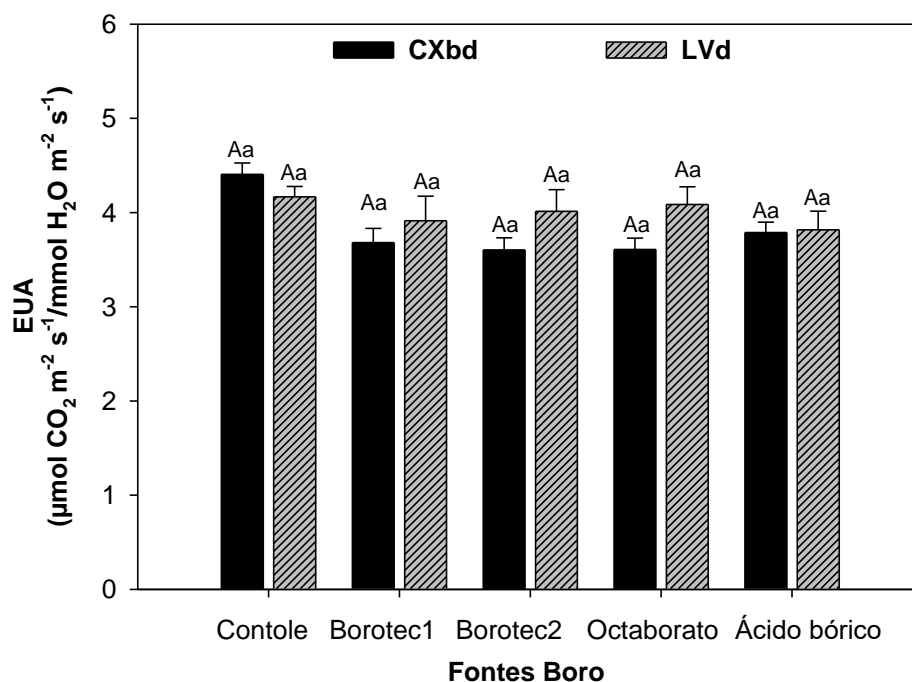


Figura 10. Eficiência no uso da água em função das fontes de boro (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na folha da soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Para o teor de B na folha (Figura 11A) não houve diferença significativa para as fontes. Podemos notar que o teor entre 30% superior para a textura do solo média (CXbd) quando comparado com a textura do solo argilosa (LVd). Para a textura LVd as fontes *borotec1*, *octaborato* e *ácido bórico* foram superiores 15% quando comparado com os tratamentos *controle* e *borotec2*. Os teores de B encontrados na pesquisa estão com nível considerado excessivamente alto segundo Embrapa (2014). Para o acúmulo de B na massa seca da planta 80 % superior para as fontes *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico* para textura CXbd (Figura 11B). Já para a textura LVd nas fontes *borotec1*, *octaborato* e *ácido bórico* foram superiores. Esses resultados encontrados na pesquisa comprovam que a aplicação foliar B promoveu aumento nos teores B na folha, estimulando a produção de massa seca na soja. A exigência nutricional das culturas pelo B, em geral, torna se mais intensa com o início da fase reprodutiva para o desenvolvimento de novos órgãos de reserva (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Com isso diferentes formulações

utilizando boro, é essencial ao desenvolvimento das plantas, pela atuação em diversos processos metabólicos considerados essenciais (CAKMAK; RÖMHELD, 1997), fica indispensável estudos detalhados para cada região produtora, tipo de solos e culturas.

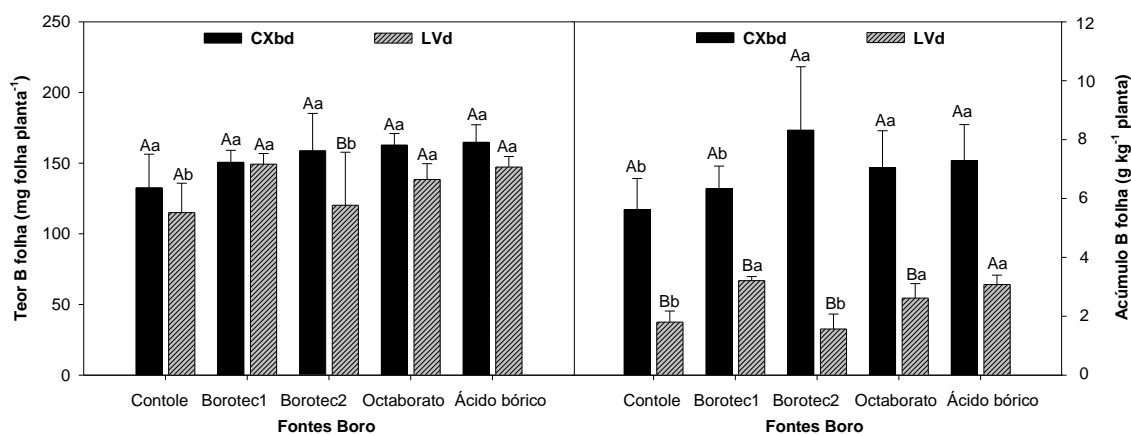


Figura 11. Teor na folha (A) e acúmulo na planta (B) de B em função das fontes (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na folha da soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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 o número de nó caule na planta de soja 15 % superior para a textura do solo média (CXbd) independente das fontes de B usadas (Figura 12A). Para as vagens abortadas 70% superior para a fonte *ácido bórico* na textura CXbd. Já para as fontes *borotec2* e *ácido bórico* foram 50% superior para a textura LVd (Figura 12B). Para a produção de vagens 50 % superior para a textura CXbd independente da fonte de B (Figura 12C). Esses resultados para o número de nó no caule da planta de soja corroboram com VARANDA et al. (2018) aplicando *ácido bórico* tende a aumentar o número e a massa de sementes, a quantidade de vagens e consequentemente a produtividade de grãos. A soja apresenta elevada plasticidade fenotípica em condições de falta ou excesso de nutrientes, a fim de manter elevada produtividade (BALBINOT JUNIOR et al., 2018). Além disso, atualmente as cultivares de soja de crescimento indeterminado, ou seja, que emitem novos nós após o florescimento, tendo uma possível necessidade de aplicações foliares com nutrientes para sustentar a produção de fotoassimilados necessários para o seu bom desenvolvimento (THOMAS, 2018).

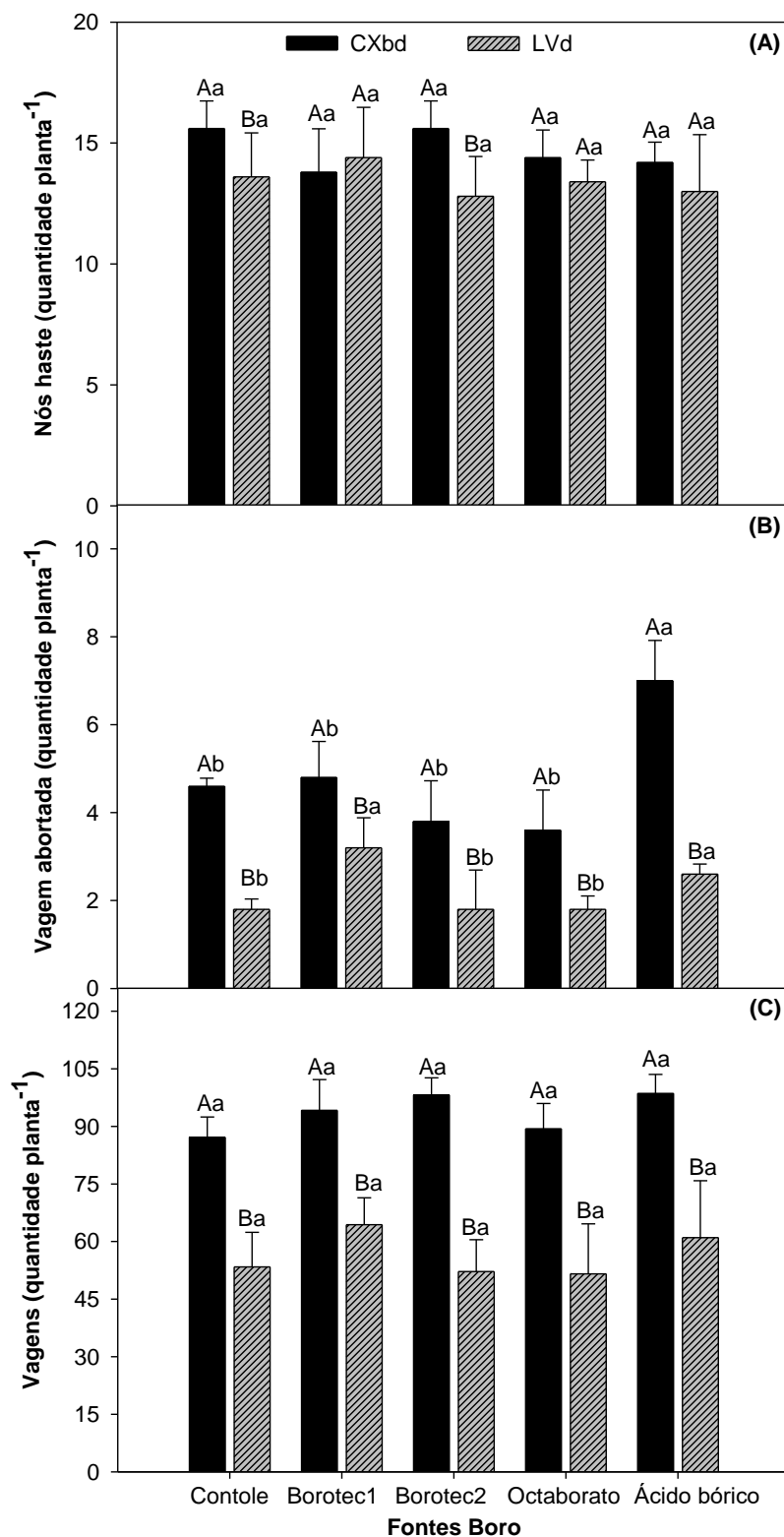


Figura 12. Nó no caule (A), vagem abortada (B) e vagem (C) em função das fontes de B (*controle, borotec1, borotec2, octaborato e ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Para o número de um grão na vagem não diferiu significativamente (Figura 13A) independente das fontes de B e as texturas dos solos. Para a produção de dois grãos na vagem 15% superior para as fontes *borotec2* e *octaborato* na textura CXbd (Figura 13B). Para três grãos na vagem independente da fonte de B a textura CXbd foi 50 % superior (Figura 13C). Já para quatro grãos na vagem 60% superior para a fonte *octaborato1* na textura CXbd (Figura 13D). Para o número de grãos quantificados na pesquisa podemos ordenar que 50% das vagens apresentaram 3 grãos > 40% das vagens com 2 grãos > 10% das vagens com 1 grãos > 10% das vagens com 4 grãos, resultando em 100 na porcentagem final dos grãos. A aplicação de 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). 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* de B o que resulta em aproximadamente 11,6% mais grãos por legume (SANTOS et al., 2019). 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 conseqüentemente a produtividade de grãos (VARANDA et al., 2018).

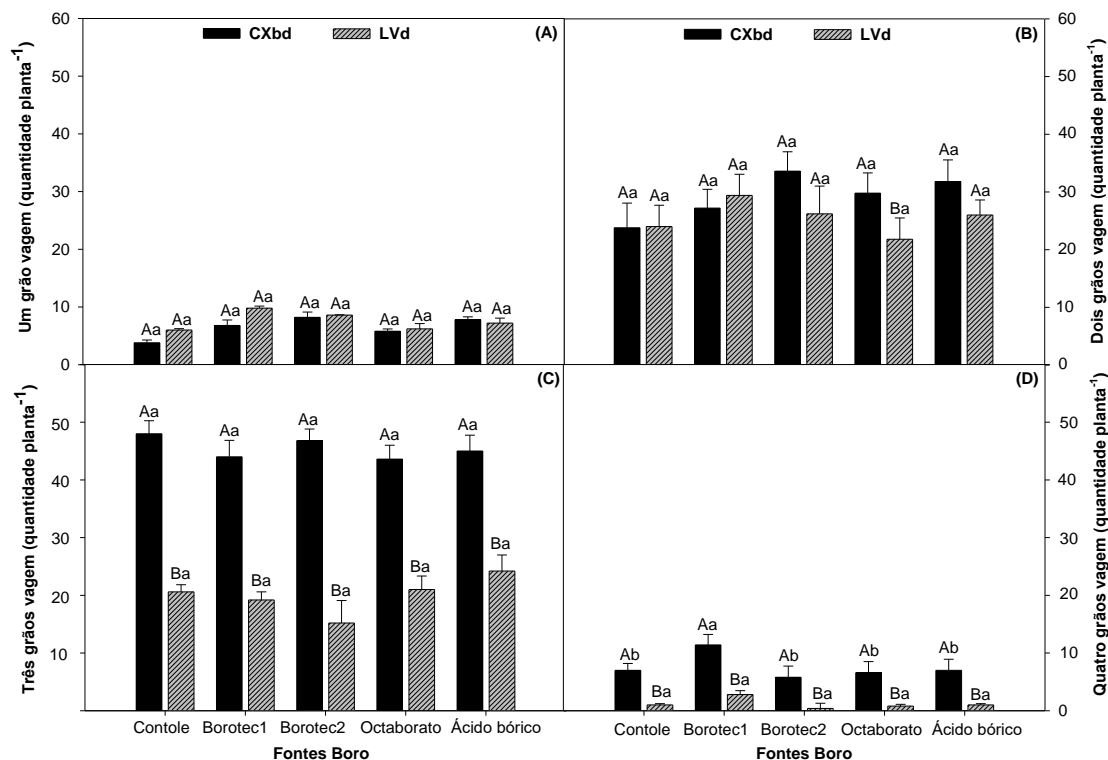


Figura 13. Um grão (A), dois grãos (B), três grãos (C) e quatro grãos (D) na vagem em função das fontes de B (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Para a classificação dos grãos da soja nas peneiras 14 (5,5 mm) e 15 (5,9 mm) independente da fonte 60 % superior para a textura do solo média (CXbd) (Figura 14 A e B). Para a peneira 16 (6,3 mm) para a fonte *octaborato* foi 12% superior na textura LVd (Figura 14C). Já para a peneira 17 (6,7 mm) independente da fonte de B 70% superior para a textura LVd (Figura 14D). Para os grãos que ficaram no fundo da peneira (desclassificados) por serem menores independente da fonte 70% para a textura CXbd (Figura 14E). No entanto, para a maior produtividade de grãos independente da fonte foram 50% superior para a textura CXbd (Figura 14F). Podemos observar a ordem crescente da porcentagem do diâmetro dos grãos nas peneiras 15 (5,9 mm) > 14 (5,5 mm) > 16 (6,3 mm) > 17 (6,7 mm).

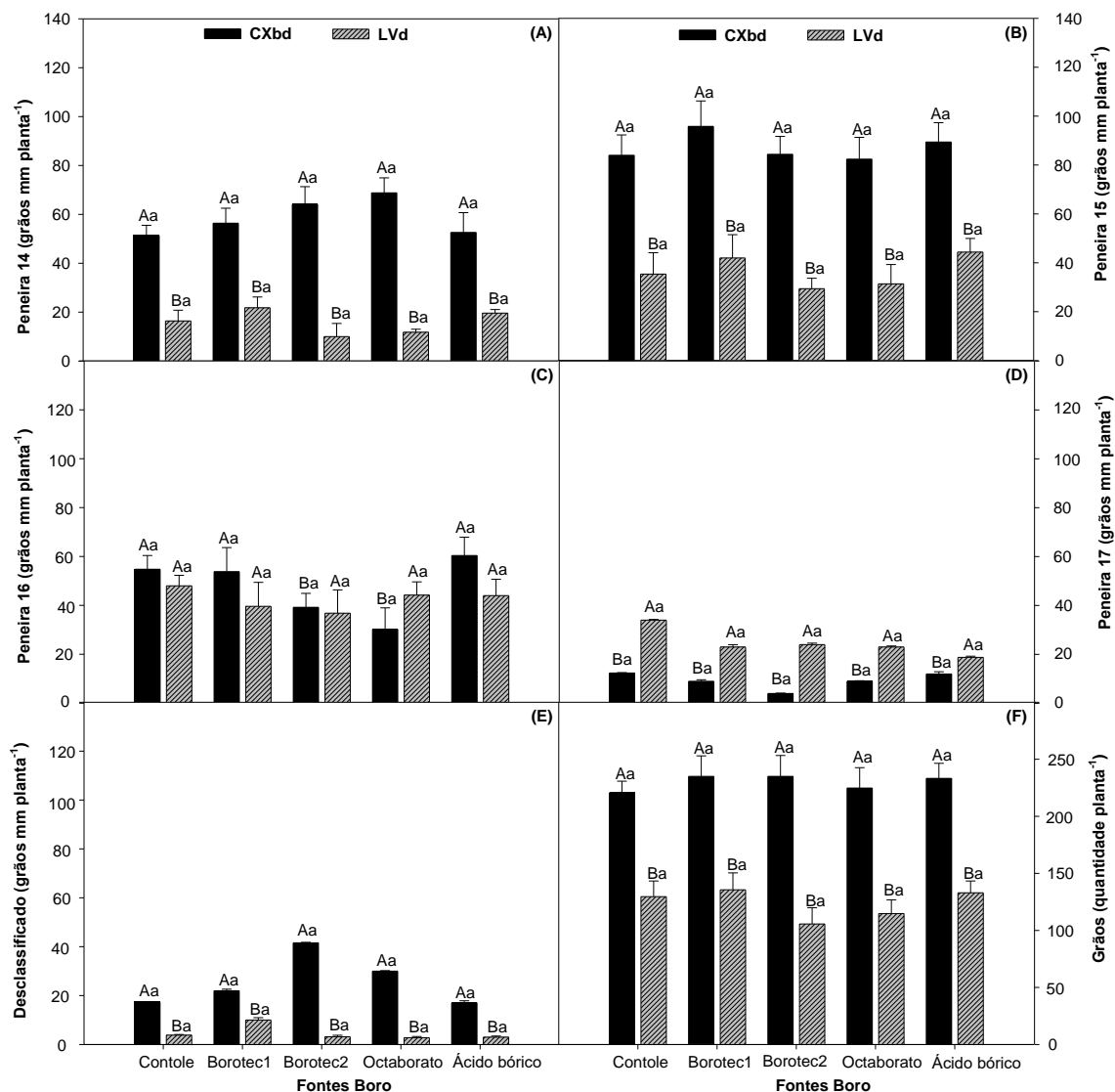


Figura 14. Peneira e diâmetro do grão 14 (5,5 mm) (A), peneira 15 (5,9 mm) (B), peneira 16 (6,3 mm) (C), peneira 17 (6,7 mm) (D), dois grãos (B), grãos miúdos-desclassificado (E) e quantidade de grãos na planta (F) em função das fontes de boro (*controle*, *borotec1*, *borotec2*, *octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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.

Imagens da planta de soja no estágio reprodutivo R8 (Figura 15) em função das fontes de B na aplicação via foliar *controle* (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e *ácido bórico* (E) para textura do solo média (CXbd) e para a textura do solo argilosa

(LVd) nos tratamentos *controle* (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e *ácido bórico* (J).

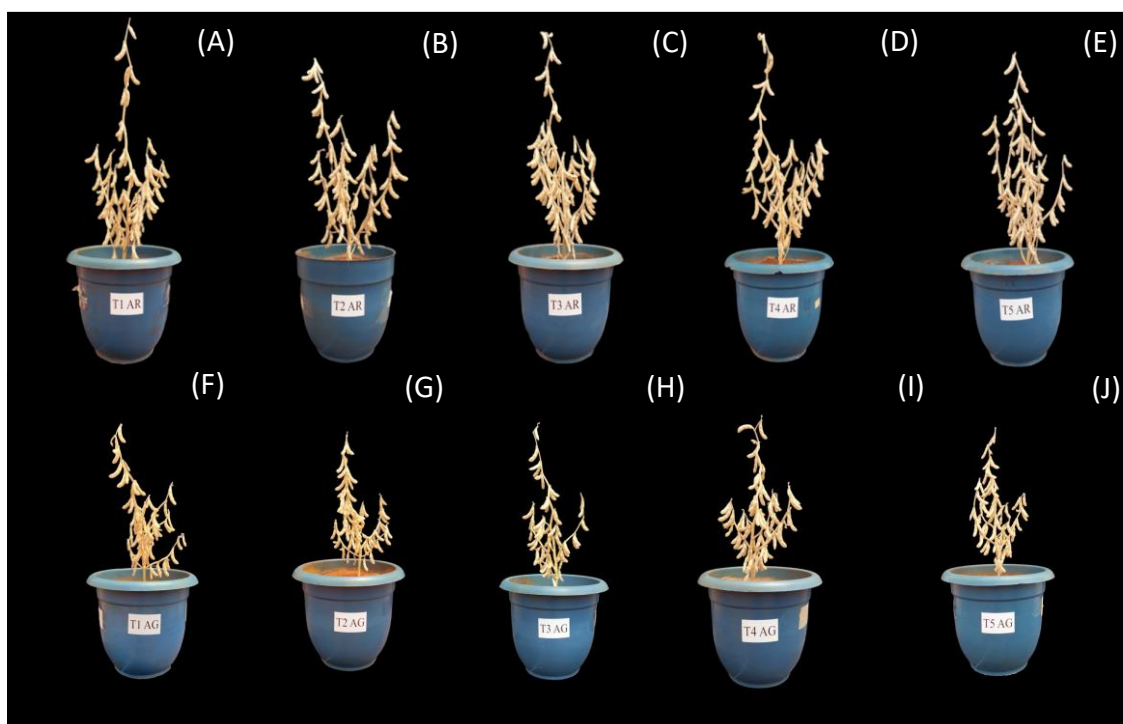


Figura 15. Imagem das plantas de soja no estágio reprodutivo R8 com aplicação das fontes de B nos tratamentos *controle* (A), *borotec1* (B), *borotec2* (C), *octaborato* (D) e *ácido bórico* (E) para textura CXbd e para a textura LVd *controle* (F), *borotec1* (G), *borotec2* (H), *octaborato* (I) e *ácido bórico* (J).

Para a massa de 1000 grãos independente da fonte de B 12 % superior para a textura do solo média (CXbd) (Figura 16A). Já para a produtividade 45 % superior textura CXbd independente das fontes de B. Os resultados das pesquisas avaliados sobre o B relatam variação dos teores disponíveis no solo em função da textura do solo, das condições ambientais, da cultivar e dificuldade de se remover o B da cutícula foliar assim muitas pesquisas não apresentarem correlação entre o teor de B na folha e a produtividade alcançada (BOARETTO et al., 1997). Solos de textura argilosa sua mobilidade é praticamente nula para B (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Para o número de vagens por planta e o número de grãos é o componente de maior influência na produtividade na cultura (ZUFFO et al., 2018). Aplicação foliar de B em diferentes estádios fenológicos observou efeito positivo do elemento para a massa de mil grãos, tendo observado que ela aumentou com aplicações nos estádios vegetativo V4 e reprodutivo R1 e R3 (SOUZA et

al., 2022). Para Santos et al., (2019) observou que diferentes doses de B, influenciam na massa de 1000 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.

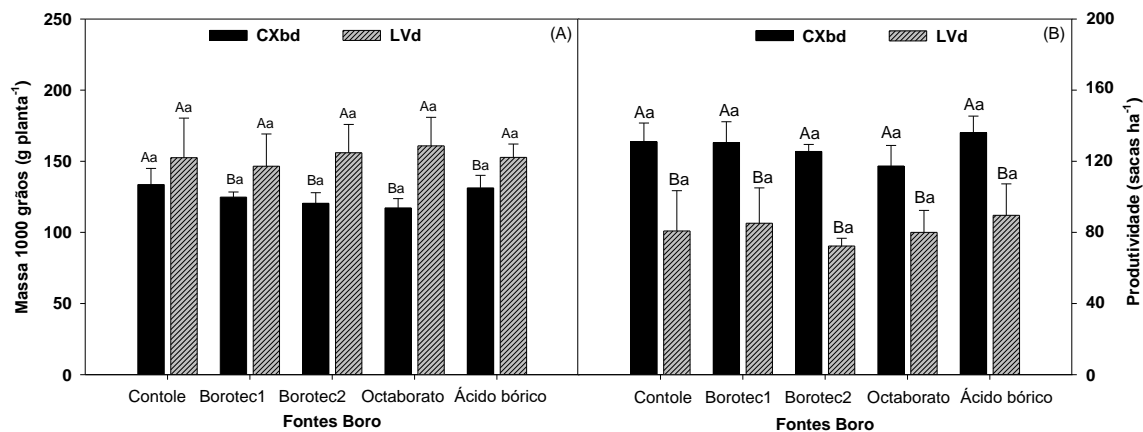


Figura 16. Massa de 1000 grãos (A) e produtividade de soja (B) em função das fontes de B (*controle, borotec1, borotec2, octaborato* e *ácido bórico*) e da textura média (CXbd) e textura argilosa (LVd) na soja. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre textura do solo e cor iguais letras minúsculas compara 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. CONCLUSÕES

Conclui-se que com a pesquisa que aplicação das fontes de boro promove incremento no volume da raiz, na massa seca da raiz, no índice de área foliar, no índice SPAD, no número de nó e na produtividade da soja para a textura do solo média (CXbd).

O solo de textura média respondeu positivamente na aplicação das fontes de boro.

A produção de grãos na vagem obedeceu a ordem crescente de 50% para 3 grãos >40% para 2 grãos >10% para 1 grãos >10% para 4 grãos.

Para a classificação dos grãos nas peneiras em função das fontes de boro e textura do solo obedece a ordem crescente 15 (5,9 mm) >14 (5,5 mm) >16 (6,3 mm) >17 (6,7 mm).

Para massa seca do caule e 1000 grãos a textura do solo argilosa (LVd) foi superior independente das fontes de boro utilizadas.

O fertilizante foliar *borotec2* promoveu maior produção de folha na soja independente da textura do solo utilizada.

A fertilizante foliar *borotec1* promove maior produção de vagem com 4 grãos em ambas as texturas de solo.

Para o número de vagens abortadas a fonte de *ácido bórico* promoveu maior abortamento independentemente das texturas utilizadas.

6 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.

CASTILLO, G. **A importância do Boro para cultura da soja**. 05/10/2016. Disponível em: Acesso em: 07 mar. 2018.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP-SP, 588p, 2000.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.193, n.1/2, p.71-83, June 1997.

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%2Dcolheita%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.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In.: FERNANDES, M.S. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. XIV, p.355-375.

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 Cruzes: 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.

FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; SOARES, L.H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**.. Editora Andrei, 2015. 212 p.

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.

GARCIA, L. R.; HANWAY, J. J. Foliar fertilization of soybeans during the seed - filling period. **Agronomy Journal**, Madison, v.4, n.68, p.653 -657, 1976.

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 ESTÁTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.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 potassae do fosfato, 1997. 319p.

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

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

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.651p.

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

NASERI, L.; ARZANI, K.; BABALAR, M. Foliar boron, copper and manganese uptakes and concentrations of apple leaves cv. Golden Delicious on M9 and B9 rootstocks. **Acta Horticulturae**, v. 594, p. 237-243, 2002.

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.

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.; JUNIOR, G. S. S.; SILVA, C. S.; SANTOS, C. T. S.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Scientia Agrária**, n. 4; p. 155-165. 2017.

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](https://doi.org/10.5965/223811712142022395)

SOUSA, 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.

SUZANA, C.S.; BRUNETTO, A.; MARANGON, D.; TONELLO, A.A. E KULCZYNSKI, S.M. Influência da adubação foliar sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.2385-2392, 2012.

ŚWIETLIK, D.; FAUST, M. Foliar nutrition of fruit crops. **Horticultural Reviews**, v. 6, p. 287-355, 1984.

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.

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 Agrotécnica**, v.29, n.6, p.1105-1111, 2005.

PRADO, R. N. **Absorção, transporte e redistribuição dos nutrientes**. 2004. Disponível em: Acesso em: 09 abri. 2019.

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.