



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

APLICAÇÃO BORATADA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA

JULIANNE FREIRE DIAS

MESTRADO

**Ipameri-GO
2023**

JULIANNE FREIRE DIAS

**APLICAÇÃO BORATADA EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA**

Orientador Prof. Dr. Cleiton Gredson Sabin Benett

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri
2023

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FJ94a Freire Dias , Julianne
APLICAÇÃO BORATADA EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA / Julianne Freire Dias
; orientador Cleiton Fredson Sabin Benett. -- Ipameri
Goiás , 2023/01.
40 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de
Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2023/01.

1. Adubação boratada. 2. Micronutrientes . 3.
Germinação de sementes. 4. Diferentes doses . 5.
Produtividade. I. Fredson Sabin Benett, Cleiton ,
orient. II. Título.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

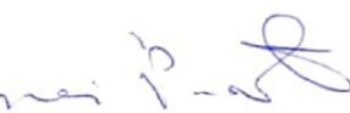
TÍTULO: “APLICAÇÃO BORATADA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA”

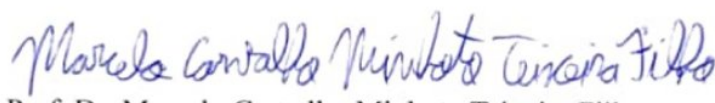
AUTOR(A): Julianne Freire Dias

ORIENTADOR(A): Cleiton Gredson Sabin Benett

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:


Prof. Dr. Cleiton Gredson Sabin Benett (Orientador)
Universidade Estadual de Goiás / Unidade Universitária Ipameri-GO


Prof. Dr. Nei Peixoto
Universidade Estadual de Goiás / Unidade Universitária Ipameri-GO


Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Ilha Solteira

Registro de Declaração

Número: 174

Livro: R-01 Folhas: 03A

Data: 26/01/2023

Data da realização: 26 de janeiro de 2023.



DEDICATÓRIA

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça”. (Isaiás 41:10)

Dedico este trabalho à minha família, por acreditar em mim sempre! O amor que vocês têm por mim é o que me estimula a lutar e vencer todos os dias!

Aos amigos e colegas, pelo incentivo, pelas risadas e por não me deixarem desistir, mesmo nos momentos de maior dificuldade.

Para meu companheiro, com você cada dia é uma alegria. Obrigada pela paciência comigo naqueles dias tão atarefados que precederam a entrega deste trabalho.

Ao meu orientador pela paciência, por estar sempre disposto a esclarecer dúvidas e ajudar-me a finalizar mais essa etapa com sucesso. Essa vitória também é sua!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal por tornarem viva em mim a chama do conhecimento, por estarem sempre me incentivando.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por permitir concluir mais essa etapa.

Agradeço ao meu pai José João Dias, minha mãe Vânia Lúcia Freire Estrela Dias (*in memoriam*), minha irmã Daianne Freire Dias por todo incentivo e sempre estarem ao meu lado.

Ao meu namorado e companheiro Maurilio Rosa Benicio Neto por sempre me auxiliar e apoiar.

A Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri. E ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio financeiro da bolsa de estudo.

O Grupo de Estudo e Pesquisa em Fitotecnia (GEPFi), o qual fiz parte e desenvolvi meu projeto e minhas pesquisas ao longo do mestrado, em especial o Professor Doutor Cleiton Gredson Sabin Benett, a Professora Doutora Katiane Santiago Silva Benett e a todos aos alunos integrantes do grupo de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela ajuda financeira para a aquisição de equipamentos, Chamada Universal MCTIC/CNPq N°. 28/2018.

A Semeali Sementes por aceitar e compreender que os estudos contribuem e acrescentam na minha profissão.

A todos o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Características gerais da soja (<i>Glycine max</i>)	9
1.2. Nutrição de plantas: micronutriente boro (B) na cultura da soja.....	11
2. OBJETIVO	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Área experimental.....	16
3.2. Delineamento experimental.....	16
3.3. Manejo do experimento	16
3.4. Análise do experimento	17
3.4.1. Variáveis agronômicas	17
3.4.2. Avaliação da qualidade de sementes em condições de laboratório	18
3.5. Análises estatísticas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÕES	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

A deficiência nutricional é comumente observada na produção agrícola, com ênfase aos micronutrientes, a exemplo do boro (B). O microelemento B é essencial ao desenvolvimento da soja, sendo assim, a adubação boratada em níveis adequados é determinante ao bom crescimento da oleaginosa, incremento na qualidade dos grãos, produtividade e lucratividade. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses de boro (B) em diferentes estádios fenológicos, sobre as características morfológicas, componentes de produção e qualidade de sementes de soja. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, Goiás. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial 5 x 6 (cinco estádios de aplicação [V0, V3, V6, V9 e R1] e seis doses de B [0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹]), com quatro repetições e aplicadas via solo (ácido bórico 17%). A aplicação de boro foi realizada de forma manual, na linha de plantio e ao lado das plantas de soja, de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura (V0, V3, V6, V9 e R1). Os parâmetros avaliados foram: teor de boro foliar; índice relativo de clorofila; altura de planta; diâmetro do caule; inserção da primeira vagem; comprimento de vagem; número de vagens por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e produtividade. A aplicação de boro em diferentes doses e estádios fenológicos na cultura da soja influencia a maioria dos componentes agrônômicos avaliados, como altura de plantas, diâmetro do caule, altura da inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade, porém de maneiras distintas. Portanto, os resultados obtidos indicam que a dose de 3,1 kg ha⁻¹ de B é eficaz para a obtenção de maior produtividade da soja, independentemente do estágio fenológico da aplicação boratada. Para a qualidade fisiológica de sementes de soja, a aplicação boratada nos estádios fenológicos influenciaram de forma positiva a germinação total, índice de velocidade de germinação e condutividade elétrica. Para as doses de boro apenas o índice de velocidade de germinação foi influenciado, mostrando a importância da aplicação de boro na cultura da soja até a dose de 2,70 kg ha⁻¹ de B.

Palavras-chave: Boro, Adubação mineral, Produtividade, *Glycine max* L., Doses de boro.

BORATE APPLICATION IN DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES IN SOYBEAN CROP

ABSTRACT

Nutritional deficiency is commonly observed in agricultural production, with emphasis on micronutrients, such as boron (B). The microelement B is essential for the development of soybean, so borate fertilization at adequate levels is crucial for the good development of the oilseed, increase in grain quality, productivity and profitability. The objective was to evaluate the effect of the application of boron (B) doses at different phenological stages, on the morphological characteristics and components of soybean production. The experiment was conducted at the State University of Goiás, Ipameri, state of Goiás, Brazil. The experimental design was randomized block design, factorial scheme 5 x 6 (five stages of application of B [V0, V3, V6, V9 and R1]; and six doses of B [0, 1, 2, 3, 4 and 5 kg ha⁻¹]), with four replications and applied via soil (17% boric acid). Boron application was performed manually, in the planting line and next to the soybean plants and according to the crop development stages (V0, V3, V6, V9 and R1). The parameters evaluated were foliar boron content; relative chlorophyll index; plant height; stem diameter; insertion of the first pod; pod length; number of pods per plant; number of grains per pod; mass of 100 grains (M100) and productivity. The application of boron at different doses and phenological stages in the soybean crop influences most of the evaluated agronomic components, such as plant height, stem diameter, height of insertion of the first pod, number of pods per plant, pod length, number of grains per pod, mass of 100 grains and productivity, but in different ways. Therefore, the results obtained indicate that the dose of 3.1 kg ha⁻¹ of B is effective for obtaining higher soybean productivity, regardless of the phenological stage of the borate application. For the physiological quality of soybean seeds, the borate application in the phenological stages had a positive influence on total germination, germination speed index and electrical conductivity. For the boron doses, only the germination speed index was influenced, showing the importance of boron application in the soybean crop up to the dose of 2.70 kg ha⁻¹ of B.

Keywords: Boron micronutrient, Mineral fertilization, Productivity, *Glycine max* L., Boron doses.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Goiás tem grande participação na produção nacional de soja, sendo que o sucesso da cultura no Cerrado goiano é creditado em grande parte, à alta tecnologia de produção empregada pelos produtores. A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é amplamente cultivada em diversas regiões mundiais, fator caracterizado por sua elevada capacidade de adaptação, bons índices produtivos alcançados, estes associados à métodos de manejo apropriados a cultivar utilizada, condições de solo e climáticas, assim como os constantes avanços dos processos de melhoramento genético, com foco na obtenção de caracteres desejáveis, como altura de plantas, diâmetro de caule, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade (BAXRIDDINOVNA; MUSURMONOVICH, 2022; ZHANG et al., 2022).

Nos últimos anos, a intensificação da produção e a exportação de soja tornou o Brasil líder no ranking de produção mundial da oleaginosa, tanto em relação à vasta extensão territorial, como em função as tecnologias e técnicas de manejo adotadas (PIRAS et al., 2021). De acordo com as estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), na safra brasileira 2021/2022 houve acréscimo de 4,1% em área plantada de soja, com a produção de 122,4 milhões de toneladas, representado no incremento significativo de 324% na exportação dos grãos, comparado à safra 2020/2021. No Centro-Oeste, o cultivo da leguminosa obtém destaque com a produção 65.078 mil toneladas, com ênfase ao incremento produtivo de 22,6% em Goiás, o que representa 30,159 milhões de toneladas produzidas.

A região do Cerrado é responsável pela maior parte da produção agrícola brasileira, contudo, a segurança alimentar é ameaçada pela baixa qualidade do solo, especificamente caracterizada por processos de degradação e perdas nutricionais (GOMES et al., 2019). Os micronutrientes são essenciais ao bom desenvolvimento da soja, exerce diversas funções biológicas e influencia diretamente na capacidade de absorção de outros nutrientes (SHIREEN et al., 2018). A adoção de práticas de manejo agrícola é fundamental, assim como a cultura da soja, a qual requer conteúdos nutricionais adequados ao bom desenvolvimento, incremento na qualidade dos grãos, produtividade e lucratividade (SUTRADHAR et al., 2017).

Os avanços significativos da produção e o aumento na capacidade produtiva da soja brasileira estão aliados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias no setor produtivo, como a disponibilização tecnológica de fertilizantes minerais (PEREIRA et al., 2020; FILASSI et al., 2021). De acordo com o intenso crescimento populacional, a utilização de programas de melhoramento da soja tem sido crescente e fundamental, pois contribui de forma significativa no desenvolvimento de sementes e de cultivares cada vez mais resistentes

aos estresses bióticos e abióticos, eficientes na absorção de água e nutrientes, competitivas e altamente produtivas (LOPEZ et al., 2021).

Em território brasileiro há elevada diversidade nas características químicas, físicas e morfológicas dos solos, porém de forma geral apresentam baixa fertilidade natural devido ao escasso conteúdo de matéria orgânica disponível, uma vez que contém grande parte dos macros e micronutrientes são encontrados no material orgânico (SANTOS et al., 2018). A carência nutricional é comumente observada na produção agrícola, com ênfase aos micronutrientes, a exemplo do boro (B), oriundos no solo via decomposição de material orgânico (SILVA et al., 2021). Apesar da grande importância do B na nutrição de plantas, as informações referentes à adubação boratada ainda são escassas, de modo a restringir a recomendação de adubação boratada adequada à obtenção de êxito produtivo (RODRIGUES; SILVA, 2020).

1.1. Características gerais da soja (*Glycine max*)

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é nativa do leste asiático, sendo inicialmente cultivada no Brasil na década de 60 (GAZZONI, 2018). O processo de domesticação da soja influi nas perdas graduais em caracteres da espécie, tornando-as adaptadas às condições locais, com características desejáveis, como o alto rendimento de grãos e boa qualidade (CHEN et al., 2021). A leguminosa é uma planta herbácea, pertencente à classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L. e espécie *max* (CAMPELO et al., 1998).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021), as características morfológicas das principais variedades comerciais existentes são: caule hispido, com muitas ramificações no eixo principal, as folhas são trifolioladas (exceto o primeiro par), apresenta fecundação autógama, com flores de coloração branca, roxa ou intermediária. As vagens são levemente arqueadas, com até cinco sementes lisas, elípticas ou globosas. Os hábitos de crescimento são classificados em indeterminado, sem a presença de racemo no ápice; determinado, com racemo e; semideterminado, sendo este intermediário.

A expansão da fronteira agrícola brasileira torna a soja a cultura com maior extensão de área plantada e maior volume de produção, mediante sua importância socioeconômica, voltada ao abastecimento do mercado nacional e internacional (CONAB, 2021). A oleaginosa possui alto potencial no mercado internacional, sendo sua produção expandida de acordo com os crescentes interesses econômicos (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022). A versatilidade de utilização da soja é um ponto forte da cultura, sendo destinada ao consumo humano e animal, conforme suas condições nutricionais e quantidade apropriada de aminoácidos essenciais,

tornando-a excelente fonte proteica e matéria-prima impulsionadora à diversificados complexos agroindustriais, como a produção de óleo vegetal, rações e produção de biocombustíveis (FERREIRA JÚNIOR et al., 2010; AKMALOVNA, 2022).

Os constantes avanços genéticos na cultura da soja contribuíram com o elevado potencial de produção observados atualmente, tanto pela redução nos dias para o florescimento, quanto em relação aos estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos, a exemplo de maior extensão durante a fase reprodutiva, correlacionados à maior capacidade fotossintética, taxa de transpiração, teor de clorofila, número, tamanho de vagens e grãos (TODESCHINI et al., 2019). Os nutrientes minerais são extremamente necessários aos vegetais, assim como a soja, a qual depende de forma direta do adequado suprimento de macro e micronutrientes (TOOR et al., 2021).

O desenvolvimento da cultura pode se caracterizar em dois momentos importantes, sendo esses o período vegetativo (V), onde a planta prioriza seu crescimento e acúmulo de reservas e o período reprodutivo (R), as flores se desenvolvem e inicia-se a formação do produto de interesse: o grão. Estádio Vegetativo: Esse período é subdividido e suas denominações são com letras seguidas do V, sendo:

VE: Período de emergência da plântula, onde os cotilédones ficam acima do solo, o que a caracteriza como germinação epígea. Um período crítico ao ataque de pragas e patógenos do solo.VC: Cotiledonar, onde os cotilédones se encontram totalmente desenvolvidos e completamente abertos, curvados para baixo e os bordos das folhas uni folioladas não mais se tocam. Esse período pode durar de 3 a 10 dias. Período crítico também ao ataque de patógenos e pragas de solo; V1: Completo desenvolvimento das folhas uni folioladas e a primeira folha tri foliolada com os bordos não mais se tocando. Caracterizado e identificado pelo primeiro nó; V2: Segunda folha tri foliolada ou segundo nó. Do estágio V1 ao V2 é que se dá o início da nodulação e o processo de fixação biológica do nitrogênio, neste momento pode ser observado 4 a 8 nódulos por planta. Nesse estágio o ataque de pragas e doenças do solo devem ser monitorados e a partir daqui inicia-se o período de mata competição, ou seja, plantas daninhas podem passar a competir com a soja por (água, nutrientes e espaço); V3 e V4: A planta apresenta três nós e a terceira folha tri foliolada já se encontra com os bordos não mais se tocando, e 4 nós e a quarta folha tri foliolada. Neste período entre V3 e V4, a presença de nódulos deverá aumentar onde serão observados no mínimo 10 nódulos por planta; V5: A planta apresenta 5 nós, e neste momento, define-se o potencial de nós que a planta poderá ter. Cada nó será responsável por um ramo lateral, cujas vagens são formadas, portanto este período é importante para a definição do potencial da cultura; VN: Enésimo nó, este é o estágio anterior ao surgimento de flores e entrada no período reprodutivo.

Estádio Reprodutivo: R1 início do florescimento, ao menos uma flor aberta em qualquer parte da haste principal; R2: Florescimento pleno e uma flor aberta em um dos 2 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida; R3: início do desenvolvimento das vagens, conhecido também como fase de canivetinho, onde as vagens apresentam até 5 mm de comprimento. Este estágio é de grande importância para a definição de componentes de rendimento da planta, como número de vagens por planta. É também um período sensível às condições ambientais, onde o estresse hídrico pode causar abortamento de vagens; R4: Vagens estão completamente desenvolvidas e apresentando cerca de 2 cm de comprimento em um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida. A partir desse estágio ocorre rápida acumulação de matéria seca pelas vagens; R5: Início da formação e rápido enchimento dos grãos, onde ocorre redistribuição de matéria seca e nutrientes das partes vegetativas para os grãos.

O estágio fenológico da soja R5 é subdividido em 5 pontos, onde correspondem ao enchimento dos grãos até atingirem seu tamanho potencial. Um fator limitante para o potencial produtivo é o ataque de sugadores como os percevejos. Quando os ataques são nos estádios iniciais de R5 pode não haver formação de grãos e nos estádios mais tardios de R5 poderá ocorrer a redução do tamanho e peso dos grãos. Além disso, condições de estresse também poderão reduzir o peso dos grãos. R5.1 – grãos perceptíveis ao tato, equivalente à 10% da granação; R5.2 – Granação de 11 a 25%; R5.3 – Granação de 26 a 50%; R5.4 – Granação de 51 a 75%; R5.5 – Granação de 76 a 100%. R6: Grão verde ou vagem cheia, nesta fase o grão ocupa toda a cavidade da vagem. O rápido amarelecimento das folhas (senescência) começa após este estágio e continua acentuadamente até o R8; R7: Início da maturação fisiológica dos grãos, neste período será observado ao menos uma vagem madura, localizada na haste principal, com coloração marrom ou palha. A maturidade ocorre quando se cessa o acúmulo de matéria seca. Nesta fase, os grãos apresentam cerca de 60% de umidade e a partir daqui a umidade tende a cair; R8: Momento de maturidade completa. Saiba que é importante esperar entre 5 e 10 dias para que a umidade atinja 15% ou menos, sendo 13% a umidade adequada para a colheita (REHAGRO, 2022).

1.2. Nutrição de plantas: micronutriente boro (B) na cultura da soja

Dentre os fatores que afetam a produtividade da soja destacam-se a nutrição com macro e micronutrientes, associado aos fatores climáticos. A adubação se refere à um dos principais e mais importantes métodos voltados ao suprimento da necessidade da planta, pois permite atenuar as possíveis deficiências nutricionais de elementos com baixa mobilidade no floema vegetal, assim como o boro (SILVA et al., 2017). O boro (B) é um importante micronutriente

não metálico, que se distingue em sua atividade fisiológica e metabólica, portanto, é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento ideal das culturas (ONUH; MIWA, 2021).

A movimentação do B no solo até o sistema radicular vegetal ocorre por fluxo de massa, todavia, em solos do Cerrado, com baixa fertilidade natural, acidez e menores conteúdos de matéria orgânica do solo (MOS) há fácil lixiviação e/ou adsorção do micronutriente (BENTO et al., 2020). O micronutriente tem relação direta com a MOS, pois se trata de uma das principais fontes de B (BELE; THAKUR, 2019). Para que o nutriente se torne disponível às plantas é necessária a assimilação por microrganismos e mineralização (DHALIWAL et al., 2019). A MOS regula a concentração de B na solução do solo, pois à medida em que ocorre o processo de decomposição da matéria orgânica, há maior produção de ácidos (cítrico, acético, fórmico, húmico, oxálico e tartárico), responsáveis pela solubilização de B (NIHARIKA; SHEEBA, 2022).

Nos solos, as concentrações de B são consideradas como escassas quando abaixo de 0,5 ppm; tóxicas acima de 5,0 ppm e adequadas entre 0,5 a 5,0 ppm, nesse sentido, é fundamental avaliar como o B é absorvido pelas plantas, assim como a soja, a fim de determinar de forma assertiva a taxa de aplicação (FLIS, 2019). De acordo com a literatura, para a cultura da soja a faixa de suprimento adequado de B encontra-se entre 21 e 55 mg kg⁻¹ (GALERIANI et al., 2022). A extração média total do micronutriente na soja é de 100 g ha⁻¹, enquanto, em relação à exportação e translocação de B na soja é definido aproximadamente, que para cada tonelada de sementes produzidas, exporta-se até 75 g ha⁻¹ (VARGAS et al., 2018; PRADO, 2021).

A adubação boratada é de grande relevância no cultivo da soja, auxilia nos processos fisiológicos responsáveis pelo crescimento da cultura, produtividade e rendimento (SINGH et al., 2020). As principais fontes do B são o ácido bórico (forma de cristais, com 17-18% de B); bórax (11% de B), consiste em borato de sódio; e ulexita (10-15% de B e 12-14% de Ca), composta por borato de sódio e cálcio (SINGH et al., 2020b). Como grande parte dos adubos boratados possuem elevada solubilidade, ocorre maior mobilidade no solo e consequente lixiviação, principalmente em solos arenosos (DEGRYSE, 2017).

A baixa mobilidade e solubilidade de B devido suas formas complexas pode limitar a redistribuição nos tecidos vegetais mais maduros, o que requer aplicação em épocas apropriadas, visando à obtenção do maior rendimento de grãos (CALONEGO et al., 2010; SILVA et al., 2020). A resposta da soja à adubação com B é variável, contudo, a maior exigência pelo micronutriente ocorre no início dos estádios reprodutivos, conforme há maior demanda durante a fase de enchimento e formação de grãos (ROSS et al., 2006). A escolha assertiva do melhor período de fertilização boratada é dependente das condições de cultivo, à exemplo do

hábito de crescimento da cultivar, condições edafoclimáticas durante o cultivo e sistema de manejo adotado (SOUZA et al., 2022).

Outro fator que pode restringir o cultivo da soja se trata de escassez nutricional, assim como a deficiência do B ocorrente à nível mundial, classificado como o segundo micronutriente com maior carência, sendo o zinco (Zn) o micronutriente mais limitante (ARUNKUMAR et al., 2018). Em condições de campo o manejo do B constitui um grande desafio, considerando as pequenas concentrações requeridas pelo micronutriente (faixa mais estreita entre deficiência e fitotoxidez), o surgimento de maior atenção é requerido, como o desenvolvimento de pesquisas científicas correlacionadas à determinação correta e eficaz do micronutriente, quanto ao estágio fenológico da cultura, fonte, método e concentração adequada, a fim de evitar a toxicidade ou deficiência, aumentar a capacidade de desenvolvimento vegetal e minimizar os custos de produção (DAS; PURKAIT, 2020).

A aplicação do boro na cultura da soja em sua maioria é realizada via foliar, devido à facilidade de aplicação, otimizando o fornecimento de nutrientes às plantas, porém, a aplicação de fertilizantes minerais via solo se denota como o método com maior eficácia, pois o sistema radicular possui elevada capacidade de absorção de água e nutrientes (MALAVOLTA, 1989). De maneira geral, o B é imóvel no floema das plantas, com exceção de vegetais que produzem poliois, tornando-o móvel, assim como as espécies de amendoeiras, macieiras e nectarinas, considerando tal informação sobre a baixa mobilidade do micronutriente, a maneira mais eficiente de aplicação ocorre via solo (BROWN; HU, 1994; RERKASEM et al., 2020).

As raízes absorvem o B principalmente na forma de ácido bórico, a partir daí, após o transporte e redistribuição, o micronutriente desempenha diversas funções estendidas desde o transporte de açúcares, processo de respiração, lignificação, fixação de nitrogênio, estrutura da parede celular e metabolismos de carboidratos, fenólicos, de ácido indolacético, de RNA, de AIA, de ascorbato, até a síntese da parede celular e integridade da membrana plasmática (MARSCHNER, 1995; TRAUTMANN, 2014; JOKANOVIĆ, 2020; KAUR et al., 2022). Além disso, dentre os micronutrientes a deficiência do B é ocorrente com maior frequência. A mais comum no mundo é do Zinco. (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998; RAIMUNDI et al., 2013).

A soja é uma das culturas anuais mais exigentes em B, principalmente no início da fase reprodutiva (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; HAMURCU et al., 2019). A época de aplicação fertilizantes exerce influência na produção de grãos e sementes, pois a época de maior demanda de nutrientes pelas plantas de soja ocorre nos estádios R1 a R5 (ROSOLEM; BOARETTO, 1989). A exigência de B é normalmente maior para a produção de sementes e grãos, do que para o crescimento vegetativo das plantas, devido a sua participação no processo de fertilização (FAQUIN, 1994).

Campos et al. (2021), avaliando a aplicação de boro na cultura da soja observaram melhoria da qualidade fisiológica das sementes, como a germinação total e índice de velocidade de germinação na dose de 3,2 kg ha⁻¹ de B. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes et al. (2020) utilizando a dose de 4,0 kg ha⁻¹ de B. De acordo com Gomes et al. (2017) e Ceretta et al. (2005) existem diversos resultados experimentais demonstrando grande variabilidade de respostas à aplicação de boro. Dessa maneira é necessário o pleno conhecimento do momento e da dose ideal de boro no cultivo da soja, visando potencializar a produção de grãos e/ou semente.

Deste modo, torna-se essencial determinar a conteúdo adequado de B conforme a exigência nutricional da cultura de interesse, neste caso, a soja (RIGO et al., 2018). A obtenção de maior produtividade associa-se a utilização de práticas adequadas voltadas ao manejo da cultura e fornecimento de nutrientes, os quais propiciam avanços potenciais na capacidade produtiva da oleaginosa (TRETER et al., 2022).

2. OBJETIVO

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses de boro via solo em diferentes estádios fenológicos, sobre as características morfológicas, componentes de produção e qualidade fisiológica de sementes da soja.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, na safra 2021/2022 conforme zoneamento agrícola na área experimental da Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri, localizada no município de Ipameri-GO, cujas coordenadas geográficas são 17° 71' 85" Sul, 48° 12' 81" Oeste e altitude de 794 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger (CARDOSO et al., 2014) é definindo como clima tropical (Aw), constando estação seca no inverno. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argila arenosa (SANTOS et al., 2018), onde os atributos químicos e físicos do solo foram determinados antes da instalação do experimento, segundo metodologia proposta por Ribeiro et al. (1999) e apresentaram os seguintes valores dos atributos químicos, na camada 0-20 cm: 3,4 mg dm⁻³ de P (Melich); 15,0 g dm⁻³ de M.O.; 5,0 de pH (CaCl₂); 0,13 K; 1,20 Ca; 0,57 Mg e 4,20 H+Al cmol_c dm⁻³, respectivamente, 31,1% de saturação por bases e o teor de B foi de 0,17 mg dm⁻³, sendo considerado baixo no solo. Já os valores dos atributos físicos foram: areia 490 g kg⁻¹, silte 66 g kg⁻¹ e argila 444 g kg⁻¹.

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, arrançados em esquema fatorial 5 x 6, sendo cinco estádios de aplicação do boro [Estádio V0 (no momento da semeadura); estádio V3 (terceiro nó, segundo trifólio aberto); estádio V6 (sexto nó, quinta folha trifoliolada completamente aberta); estádio V9 (nono nó, oitavo trifólio aberto) e estádio R1 (início da floração, até 50% das plantas com uma flor)] e seis doses de boro (0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg ha⁻¹), aplicadas via solo utilizando como fonte de boro o ácido bórico 17%. Cada parcela foi constituída por seis linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento de 0,50 m entre si, e 15 plantas por metro linear, perfazendo uma área total de 15 m². A área considerada útil foi constituída pelas três linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em ambas as extremidades de cada linha.

3.3. Manejo do experimento

Utilizou-se o sistema plantio direto, sobre a palhada de sorgo. Foi realizada a aplicação de gesso agrícola (Ca 16% e S 13%) aplicado a lanço em área total, 60 dias antes da semeadura.

A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise do solo e segundo

recomendação de Ribeiro et al. (1999) utilizando 240 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N e 52% de P). A cultivar de soja utilizada foi a M 7110 IPRO, com ciclo de 112 dias sendo a semeadura realizada através do conjunto trator-semeadora-adubadora, utilizou-se semeadoras-adubadoras tratorizadas com oito linhas, equipadas com mecanismos de distribuição de sementes com discos alveolados horizontais e mecanismos depositores de fertilizantes com sulcadores.

As sementes foram tratadas com o inseticida sistêmico com o princípio ativo Ciantraniliprolí (600 g/L), utilizando 60 ml do produto para cada 100 kg de sementes. Também utilizou fungicida sistêmico Tiofanato Metílico (350 g/L) mais Fluazinam (52,5 g/L) na dose de 200ml do produto para cada 100kg de sementes. A inoculação foi líquida utilizando 120 ml para cada 50kg de sementes do produto com bactérias *Bradyrhizobium japonicum* ou *Bradyrhizobium elkani*, com garantia de unidades formadoras de colônia: 7x10⁹ UFC/ml.

A aplicação de boro foi realizada de forma manual, na linha de plantio e ao lado das plantas de soja e de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura (V0, V3, V6, V9 e R1), conforme a escala fenológica proposta por Ritchie et al. (1994). Os demais tratamentos culturais, como controle de plantas daninhas foram feitos com a utilização de herbicidas e foram feitas aplicações de fungicidas e inseticidas conforme recomendado por Sediya et al. (2015), executados de forma mecanizada, utilizando-se pulverizadores tratorizados.

3.4. Análise experimental

3.4.1. Variáveis agronômicas

Foram realizadas as seguintes avaliações: índice relativo de clorofila, teores de boro foliar, componentes de produção e produtividade.

- Índice relativo de clorofila: realizada a leitura indireta do teor de clorofila das folhas de soja, com o auxílio de um clorofilômetro portátil (clorofiLOG modelo CFL 1030), quando apresentaram o estágio R2 e utilizado a metodologia proposta por Silva et al. (2020). A leitura foi realizada em seis folhas do terço médio da planta, sendo amostradas ao acaso seis plantas por parcela, obtendo-se a média por parcela e os resultados foram expressos em índice de clorofila Falker (ICF).
- Teor de boro foliar: Foram coletadas 10 folhas de cada parcela, sendo a 3ª folha a partir do ápice na haste principal, com pecíolo de cada parcela no período de florescimento (R3) (MARTINEZ et al., 1999) e dispostas em estufa com circulação de ar forçada com temperatura de 65 °C, por cerca de 48 horas. Logo após, o material foi moído em moinho tipo

Wiley, equipado com peneira de malhas com abertura de 1 mm e acondicionado em saquinhos de papel para análises. As amostras de cada parcela foram preparadas conforme (WIKNER, 1986; BATAGLIA, 1991) e então realizou-se a determinação do teor de boro foliar seguindo-se os métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

Para os componentes da produção, foram amostradas dez plantas da área útil de cada parcela, por ocasião da colheita, e levadas para o laboratório para determinação das seguintes variáveis:

- Altura de planta: mensurada em centímetros do solo até o ápice das plantas, individualmente de forma aleatória na parcela e após apresentou-se o resultado na forma de média;
- Diâmetro do caule: mensurado na base do colo, com o auxílio de paquímetro digital com duas casas decimais;
- Altura de inserção de primeira vagem: superfície do solo até a primeira vagem;
- Número de vagem por planta: realizou-se a coleta e contagem das vagens presentes em cada planta dentro de cada parcela, efetuando-se a contagem de todas as vagens de cada planta;
- Comprimento de vagem: realizada como auxílio de uma régua graduada, medindo-se de uma extremidade a outro da vagem;
- Número de grãos por vagem: realizou-se a contagem do número de grãos presentes nas vagens, obtendo-se o total de grãos, sendo este número dividido pelo número de vagens total de cada uma das plantas, resultando na média;
- Massa de 100 grãos: contagem de cem (100) grãos por parcela, via realização da pesagem com o auxílio de balança de precisão;
- Produtividade de grãos em kg ha^{-1} : determinado por meio da colheita e trilha da parcela útil, colhendo-se todas as plantas das três linhas centrais. Para calcular a produtividade após a trilha, o teor de água dos grãos foi ajustado para 13,0%, efetuando também os descontos das impurezas, sendo o resultado expresso em kg ha^{-1} .

3.4.2. Avaliação da qualidade de sementes em condições de laboratório

A qualidade fisiológica das sementes foi analisada conforme as Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2009) para as seguintes avaliações:

- Grau de umidade: Determinado pelo método de estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, utilizando-se quatro amostras para cada tratamento, com aproximadamente 5,0 g de sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem média.

- Primeira contagem de germinação: Foi realizada em conjunto como teste de germinação, computando-se, no quinto dia a porcentagem de plântulas normais.
- Germinação total: Foram dispostas quatro repetições de 50 sementes, semeadas em três folhas de papel germitest, umedecidas com água equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco, enroladas e acondicionadas em germinador a 25 °C. A avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos oito dias após a instalação.
- Índice de velocidade de germinação: Foram realizadas contagens diárias das plântulas germinadas a partir da instalação do teste de germinação. Calculou-se o índice de velocidade de germinação conforme Maguire (1962).
- Teste de tetrazólio: Foram dispostas quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As sementes foram pré-condicionadas em caixas plásticas tipo gerbox com água e mantidas em estufa à temperatura de 25 °C por 16 horas. Em seguida, as sementes foram seccionadas longitudinalmente e medianamente através do embrião, imersas em solução de tetrazólio à 0,1% e mantidas em camada escura a 35 °C, por três horas. Posteriormente, as sementes foram lavadas e realizado o corte longitudinal para identificar a intensidade da coloração, sendo classificadas em vivas ou mortas. Posteriormente, calculou-se a porcentagem de sementes vivas, sendo representadas por tetrazólio baixo e tetrazólio alto.
- Condutividade elétrica: Determinada conforme a metodologia proposta por Krzyzanowski et al. (1999). Foram dispostas 50 sementes para cada repetição, previamente pesadas em copos plásticos contendo 75 ml de água deionizada. Em seguida foram dispostas em germinador à 25 °C por 24 horas. Posteriormente, foram efetuadas as leituras de condutividade elétrica da solução. Os valores obtidos foram expressos por $\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$.
- Envelhecimento acelerado: As sementes foram dispostas em camada única sobre a tela metálica acoplada ao interior de caixas plásticas gerbox, contendo, ao fundo, 40 ml de água, conforme AOSA (1983). As caixas foram mantidas em estufa de circulação de ar (43 °C, por 48 horas) (USBERTI, 1990). Logo após, as sementes foram destinadas ao teste de germinação, com avaliação no quinto dia após a instalação do teste. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

3.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para estádios fenológicos e, para as doses de B foram realizadas análises de regressão. As análises estatísticas foram processadas utilizando o software R, versão 3.1.2 (R CORE TEAM, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é possível observar os valores de temperatura máxima, mínima e a precipitação pluvial entre os meses de condução do experimento. Pode-se observar que precipitação ocorreu de forma regular, sendo que o mês que proporcionou maiores precipitações durante a condução do experimento foram os meses de novembro e dezembro de 2021 e fevereiro de 2022 com acumulados de 285,0; 265,1 e 248,9 mm, respectivamente. Já o mês de março apresentou o menor volume de chuvas com 116,4 mm, período que inicio a colheita da soja.

A temperatura média diária ficou próxima dos 25,2°C durante toda a condução do experimento (Figura 1), sendo esta considerada ideal para o desenvolvimento da cultura da soja, pois, segundo Embrapa (2010) a faixa de temperatura ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja está compreendida entre 20 e 30°C.

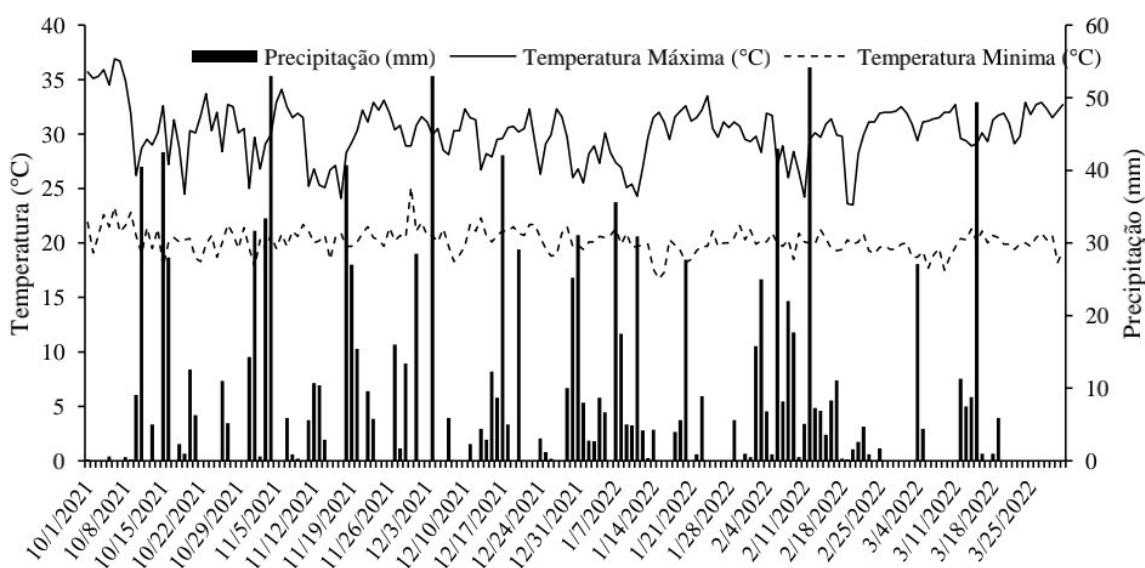


Figura 1. Valores de temperatura máxima, mínima e precipitação pluvial na Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, no período entre outubro de 2021 a março de 2022. Ipameri-GO, 2022. Fonte: INMET, 2022.

As características morfológicas avaliadas não obtiveram efeito significativo quanto aos estádios fenológicos da soja (Tabela 1), exceto em relação a inserção da primeira vagem. Para os estádios fenológicos mesmo não ocorrendo efeito significativo para os teores de boro foliar (Tabela 1), encontram-se acima da faixa recomendada que varia entre 20 e 64 mg kg⁻¹ de MS (MARTINEZ et al., 1999; QUAGGIO et al., 2022). Importante salientar que mesmo os valores de boro foliar apresentarem acima do valor recomendado, as plantas de soja não apresentaram

sintomas de toxidez causado pelo B. Campos et al. (2021) e Calonego et al. (2010) observaram efeito significativo para aplicação de boro na cultura da soja, onde as concentrações deste micronutriente também ficaram acima da faixa recomendada. Para a altura de planta e diâmetro do caule da soja, os valores obtidos são próximos aos encontrados por Campos et al. (2021); Gomes et al. (2017) e Raimundi et al. (2013).

Quanto à altura de inserção da primeira vagem houve efeito significativo para os estádios fenológicos, onde o estágio V0 (13,43 cm) diferiu dos estádios V3, V6 e V9, equivalentes a 11,99, 11,43 e 11,45 cm, respectivamente (Tabela 1). Esse comportamento pode estar relacionado diretamente com a cultivar de soja, conforme afirmam Guimarães et al. (2008). Os resultados superiores foram verificados no estágio fenológico V0 (13,43 cm), seguido de R1 e V3 equivalentes à 12,63 e 11,99 cm, respectivamente. Enquanto, conforme as distintas doses de adubação boratada na cultura da soja obteve-se efeito significativo em relação ao índice relativo de clorofila (IRC). Assim, a inserção da primeira vagem também está relacionada à altura das plantas, que em regiões com dias mais curtos, tendem a desenvolver vagens mais próximas do solo.

Tabela 1. Teor de boro foliar (TBF), índice relativo de clorofila (IRC), altura de planta (ALTP), diâmetro do caule (DIAC) e inserção da primeira vagem (IPV) em plantas de soja em função dos estádios fenológicos e doses de boro. Ipameri-GO, 2022.

Estádios	TBF	IRC	ALTP	DIAC	IPV
	mg kg ⁻¹	ICF	cm	mm	cm
V0	77,09	40,40	88,17	2,71	13,43 a
V3	78,39	42,96	88,50	2,59	11,99 bc
V6	76,09	42,17	89,12	2,66	11,43 c
V9	78,41	42,09	89,51	2,52	11,45 c
R1	77,89	41,18	89,45	2,74	12,63 ab
Valor de F	0,89 ns	1,11 ns	0,37 ^{ns}	1,41 ns	11,28**
Doses de B (kg ha ⁻¹)					
0	76,55	---	88,17	2,68	12,17
1	75,99	---	89,40	2,64	12,39
2	78,88	---	88,86	2,58	11,68
3	78,53	---	90,25	2,68	11,85
4	78,78	---	87,54	2,65	12,82
5	77,68	---	89,40	2,64	12,20
Valor de F	0,57 ns	3,60**	0,74 ns	0,19 ns	2,14 ns
CV (%)	8,64	11,36	13,39	20,15	6,93

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, para cada fator estudado, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; ** = Significativo a 1% de probabilidade.

De forma análoga, Gomes et al. (2017) constataram que as distintas doses de B não influenciaram grande parte dos caracteres agrônômicos avaliados. Tal acontecimento pode estar associado ao fato pelo qual, os parâmetros de crescimento da cultura da soja podem apresentar variações, de acordo com as condições climáticas e/ou respostas aos métodos de manejo adotados, a exemplo das variações no conteúdo nutricional disponibilizado (NWE et al., 2022). Dentre os fatores determinantes à disponibilidade de B no solo às plantas, se destacam a umidade e textura do solo, pH do solo e conteúdo de matéria orgânica (GOLDBERG, 1997; DAS et al., 2020).

Geralmente, na cultura da soja os maiores índices de requerimento de B são obtidos durante os estádios fenológicos reprodutivos no ciclo de vida da planta, pois durante essa fase a exigência nutricional aumenta, sendo destinados à formação e ao desenvolvimento de novos órgãos de reserva (VARANDA et al., 2018). Contudo, para que o B esteja disponível e funcional às plantas é necessário que ocorra equilíbrio nas concentrações dos demais nutrientes, assim como a biodisponibilidade de cálcio (Ca) (JOKANOVIĆ, 2020), o que possivelmente possa ter interferido nos resultados obtidos. Resultados similares foram observados por Silva et al. (2020), em que a aplicação de B em diferentes doses, tempos e métodos não promoveu incrementos na maioria dos componentes agrônômicos avaliados.

A análise de regressão referente ao índice relativo de clorofila em função de doses de boro na cultura da soja indica que houve ajuste ao modelo quadrático, com o coeficiente de determinação equivalente à 80%, onde o ponto de máximo foi de 2,85 kg ha⁻¹ de B, sendo que, o incrementou de doses de B superiores propiciaram menor índice relativo de clorofila em plantas de soja (Figura 2).

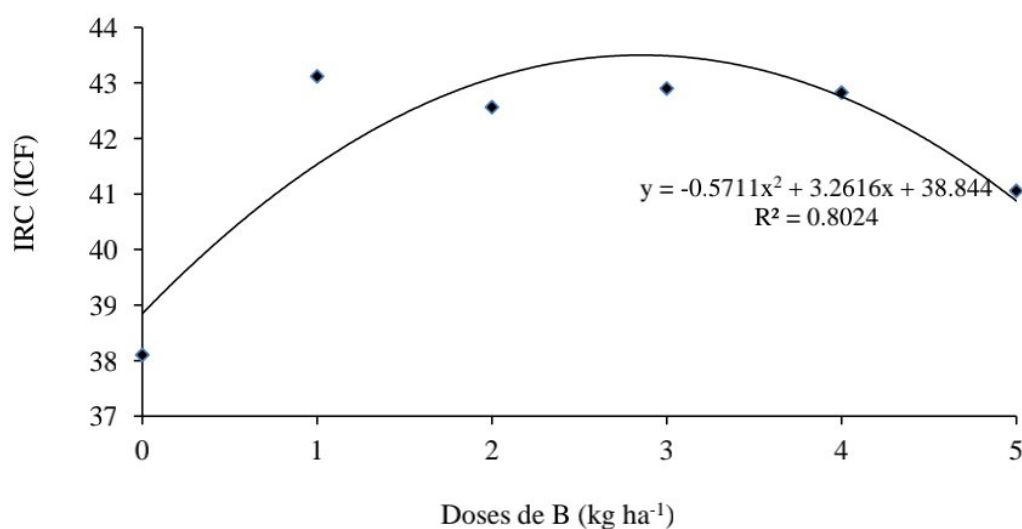


Figura 2. Índice relativo de clorofila em função das doses de boro na cultura da soja. Ipameri-GO, 2022.

O aumento no conteúdo de clorofila na soja também foi observado anteriormente, com efeitos diretos no incremento da eficiência fotossintética e uso da água na fase vegetativa da leguminosa (FUJIYAMA et al., 2019). Sabe-se que, a clorofila é indispensável para a realização de fotossíntese, pois é responsável pela coordenação e organização flexível do aparato fotossintético ativo durante todo o ciclo vital vegetal (WANG; GRIMM, 2021). Uma das premissas para a obtenção de maiores índices produtivos e lucratividade no setor agrícola, especificamente no cultivo de soja, se trata da adoção de métodos de manejo adequado, como a adequada fertilidade do solo e nutrição de plantas, uma vez que, o ótimo suprimento nutricional influi no incremento dos componentes de produção da oleaginosa (THAPA et al., 2021).

Na Tabela 2, de acordo com os distintos estádios fenológicos da cultura da soja, obtiveram-se efeitos significativos à 5% de probabilidade para o comprimento de vagem e à 1% de probabilidade para o número de vagem por planta e número de grãos por vagem. Para o comprimento de vagem houve diferença para o estágio R1 (3,98 cm), em contraste ao estágio V9, menor resultado verificado (3,61 cm), não diferindo dos demais estádios.

Tabela 2. Comprimento de vagem (COMPV); número de vagens por planta (NV); número de grãos por vagem (NGV); massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PROD) de soja em função dos estádios fenológicos e doses de boro. Ipameri-GO, 2022.

Estádios	COMPV	NV	NGV	M100	PROD
	cm	-----	-----	g	kg ha ⁻¹
V0	3,68 ab	40,12 a	2,92 b	18,16	2799
V3	3,72 ab	34,33 bc	3,34 a	18,50	2584
V6	3,70 ab	31,60 c	3,17 ab	18,11	2819
V9	3,61 b	38,14 ab	2,94 b	18,38	2682
R1	3,98 a	34,90 abc	2,95 b	18,72	2646
Valor de F	3,14*	6,15**	6,29**	0,42 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Doses de B (kg ha ⁻¹)					
0	3,56	34,64	3,18	---	---
1	3,76	34,57	3,06	---	---
2	3,73	33,96	3,05	---	---
3	3,77	36,29	3,06	---	---
4	3,72	38,56	3,04	---	---
5	3,90	36,89	3,00	---	---
Valor de F	1,54 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,82 ^{ns}	3,92**	2,96*
CV (%)	13,01	12,42	3,32	1,38	14,27

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, para cada fator estudado, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo; **= Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

O comportamento do número de vagem por planta foi distinto, com superioridade no estágio V0 (40,12) e inferioridade em V6 (31,60). Enquanto para a variável número de grãos por vagem, os resultados promissores foram observados no estágio V3 (3,34) diferindo dos estádios V0, V9 e R1, com os valores 2,92; 2,94 e 2,95, respectivamente (Tabela 2).

De forma contrária, quando avaliadas as doses de B na cultura da soja, foram constatados resultados significativos à 1% de probabilidade para os parâmetros de massa de 100 grãos e à 5% de probabilidade quanto à produtividade de grãos (Tabela 2).

Estudos revelam a influência positiva nos componentes de produção da soja sob doses de B, com ênfase na produtividade (DAS et al., 2022). Os efeitos benéficos do B também foram relatados via melhorias no crescimento e formação de vagens e grãos, sendo tais componentes determinantes na capacidade produtiva da leguminosa (NAGAR; KUMAR, 2022; DOMINGOS et al., 2021). Todavia, por se tratar de um íon sem carga, com baixa capacidade de retenção no solo, os efeitos do B em plantas pode ser variáveis em relação à capacidade de utilização pelas plantas (KOHLI et al., 2022).

Sabe-se que, cada espécie vegetal apresenta um comportamento distinto sob os conteúdos de B disponibilizado, tal fator também se aplica à diferentes cultivares, considerando o alto nível de melhoramento genético empregado e difícil transporte e redistribuição do micronutriente nas plantas (RAJESH et al., 2021). Por isso, a biodisponibilidade de B garante a ativação enzimática e regulação de processos fisiológicos vitais, desde a síntese proteica, alongamento celular, germinação de pólen, até o processo de formação de grãos, tornando-se fundamental na determinação da dose balanceada de B ao total suprimento da cultura da soja, para a obtenção do máximo rendimento potencial (DAS et al., 2022).

Além disso, os estádios fenológicos vegetais requerem distintos conteúdos nutricionais, assim como pelo boro, a exemplo dos estádios vegetativos, com requerimento voltado ao desenvolvimento de estruturas vegetativas, enquanto os estádios reprodutivos, como o R1, durante o início da floração onde ocorre maior exigência nutricional destinado à produção de grãos, o que reflete na importância ao se avaliar os distintos períodos fenológicos, em função da correta determinação de adubação boratada (OLIVEIRA NETO; GONÇALVES, 2019).

Na Figura 3 estão dispostos os componentes de produção da cultura da soja. Observa-se que a análise de regressão quanto à massa de 100 grãos conforme as distintas doses de B na cultura da soja, ajustou-se ao modelo quadrático, onde o ponto de máximo estimado foi de 3,82 kg ha⁻¹ de B, equivalente à 18,8 g (Figura 2A). Enquanto, a análise de regressão expressa em função da produtividade de grãos, também se ajustou a regressão quadrática, onde permite

explicar 87% dos dados, com o ponto de máxima obtido de 3,1 kg ha⁻¹ de B e produtividade estimada de 2.862 kg ha⁻¹ (Figura 2B), independentemente do estágio fenológico da adubação boratada.

Campos et al. (2021) e Gomes et al. (2017) relataram a importância de informações sobre a dose adequada e épocas específicas à disponibilização da adubação boratada, pois o micronutriente está correlacionado à diversos fatores fisiológicos da planta, os quais são determinantes para a maior produtividade da soja, sendo também recomendada a dose de B em 3,27 kg ha⁻¹ e 3,51 kg ha⁻¹, respectivamente, o que condiz com os resultados constatados para produtividade de grãos (Figura 2B). Quanto a dose superior de 3,82 kg ha⁻¹ de B (Figura 2A) para a massa de cem grãos, pode estar correlacionada à maior necessidade do B à concentração e produtividade de soja (RAI et al., 2018), componente determinante ao manejo nutricional assertivo, uma vez que, doses elevadas e inadequadas do micronutriente podem provocar drásticas reduções no rendimento de sementes e/ou grãos (HAMURCU et al., 2019).

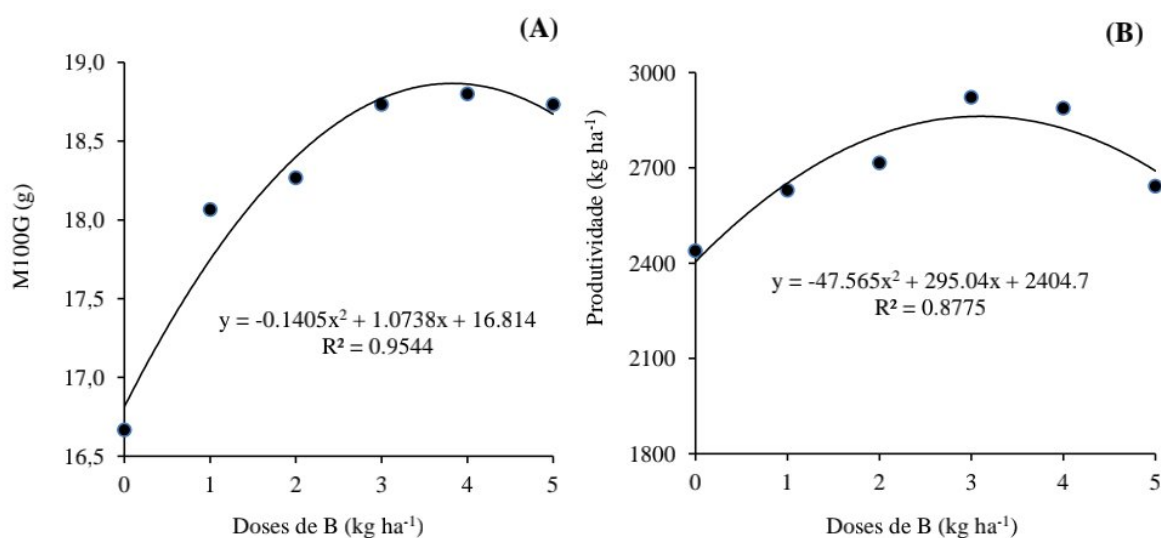


Figura 3. Massa de 100 grãos (A) e produtividade de grãos (B) em função das doses de boro na cultura da soja. Ipameri-GO, 2022.

A determinação da produtividade de grãos pode variar em função da arquitetura da planta, massa, número e tamanho das vagens e sementes por vagem (WEI; MOLIN, 2020). Os resultados obtidos em relação a maior produtividade da soja (2.862 kg ha⁻¹) sob a dose de 3,1 kg ha⁻¹ de B, ressaltam a eficiência do B no aumento da massa de 100 grãos apesar de ainda ser negligenciado, o B é determinante aos acontecimentos durante a fase reprodutiva da cultura, pois evita a formação de grãos chochos e melhora o enchimento de grãos, pois o micronutriente

atua na germinação do grão de pólen e desenvolvimento do tubo polínico (SOMAVILA et al., 2022).

Em muitos solos, a concentração de B disponível para as plantas é um fator limitante, portanto, o suprimento com fertilizantes é importante em solos deficientes, sendo a adubação geralmente realizada antes do plantio (BEHERA et al., 2022). A reposição adequada de B possibilita incremento na produtividade da soja, mesmo em solos de alta fertilidade, pois as reservas naturais de B do solo são rapidamente extraídas (SILVA et al., 2018).

A estreita faixa entre a deficiência e toxicidade do micronutriente às plantas, denota o maior requerimento por doses adequadas do micronutriente, para que não ocorra interferência negativa no processo fotossintético, conteúdo de clorofila, restrições à formação e germinação do tubo polínico, dentre outros processos fisiológicos vitais às plantas (VARGAS et al., 2018).

Na Tabela 3 estão dispostos os dados referentes às avaliações quanto a qualidade de sementes de soja submetidas a aplicação nos estádios fenológicos e para as doses de boro. As variáveis, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio baixo e tetrazólio alto não apresentaram efeito significativo para as aplicações nos estádios fenológicos e doses de boro.

Tabela 3. Primeira contagem de germinação (PCG), germinação total (GT), índice de velocidade de germinação (IVG), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), tetrazólio baixo (TB) e tetrazólio alto (TA) em sementes de soja em função dos estádios fenológicos e doses de boro. Ipameri-
GO, 2022.

Estádios	PCG	GT	IVG	EA	CE	TB	TA
V0	87,55 a	93,88 a	14,23 b	72,00 a	62,72 a	27,32 a	38,49 a
V3	87,11 a	95,88 a	15,33 ab	67,44 a	49,44 b	27,64 a	37,57 a
V6	86,55 a	88,11 b	16,28 a	71,33 a	47,88 b	29,81 a	39,13 a
V9	83,77 a	92,55 ab	14,50 ab	66,11 a	50,00 a	28,64 a	37,52 a
R1	83,77 a	92,11 ab	14,85 ab	66,55 a	59,06 a	31,37 a	38,77 a
Valor de F	1,08 ^{ns}	5,45 ^{**}	2,66 [*]	0,45 ^{ns}	3,25 [*]	1,67 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Doses de B (kg ha ⁻¹)							
0	88,00	93,86	---	71,06	59,13	28,26	38,22
1	84,00	92,53	---	66,13	56,46	30,36	39,09
2	85,33	94,40	---	63,06	56,33	28,80	38,22
3	84,53	91,20	---	64,80	54,66	28,62	37,56
4	85,60	89,86	---	73,06	51,46	28,34	38,46
5	88,00	93,20	---	74,00	52,13	29,37	38,25
Valor de F	0,61 ^{ns}	1,61 ^{ns}	4,54 ^{**}	1,04 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,25 ^{ns}
CV (%)	8,75	5,62	13,93	22,43	18,71	14,85	9,99

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, para cada fator estudado, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo a 1% e 5% de probabilidade.

A germinação total apresentou efeito significativo, com superioridade nos estádios fenológicos V0 (93,88%) e V3 (95,88%), não diferindo do estágio V6 (88,11%) que apresentou o menor resultado. Para o índice de velocidade de germinação notou-se êxito no estágio fenológico V6 (16,28), diferindo apenas do estágio V0 (14,23). No teste de condutividade elétrica (CE), os resultados inferiores foram observados nos estádios V3 (49,44) e V6 (47,88), enquanto os demais estádios fenológicos não se diferiram estatisticamente.

Resultados favoráveis foram verificados por Gomes et al. (2020) e Berti et al. (2019), que avaliaram a aplicação das doses de boro nos diferentes estádios fenológicos na cultura da soja, onde também se assemelham com os obtidos por Mondo et al. (2012) e Gazolla-Neto et al. (2015).

Resultados análogos aos obtidos nas avaliações da qualidade de sementes de soja, foram observados por Werner et al. (2020), em que relataram que o tratamento de sementes com micronutrientes não apresentou eficácia no incremento do potencial fisiológico das sementes de soja. Nesse sentido, vale ressaltar que o baixo potencial fisiológico das sementes infere em menor capacidade produtiva, como o aumento no percentual de plantas com emergência tardia e menores índices de rendimento (EBONE et al., 2020). A determinação da qualidade fisiológica das sementes é fundamental na redução de riscos e custos de produção, considerando que, os processos fisiológicos são dependentes de fatores genéticos e condições ambientais, os quais determinam o desempenho de distintas espécies e cultivares (BATISTA et al., 2022).

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo, caracterizado como a fase inicial do ciclo de desenvolvimento da planta, possui como ponto de partida a absorção de água pelas sementes (embebição) e finaliza-se quando ocorre o aparecimento da raiz, estrutura que dará origem à planta (ATUDOREI et al., 2020). Durante as fases do processo de germinação das sementes há grande requerimento nutricional, pois ocorre grande mobilização de proteínas de armazenamento voltadas ao fornecimento de energia e carboidratos necessários ao estabelecimento das plântulas (ROMEU et al., 2021).

Como incremento das doses de B interferiu significativamente apenas no índice de velocidade de germinação (Tabela 3). Conforme apresentado na Figura 4, o índice de velocidade de germinação foi a única variável significativa sob as doses de boro aplicadas. De acordo com a análise de regressão, o maior índice de velocidade de germinação constatado para doses de B em sementes de soja ajustou-se ao modelo quadrático, com dose estimada de 2,70 kg ha⁻¹ de B. Resultados contrários foram obtidos por Werner et al. (2020), onde as doses de B avaliadas não influenciaram no índice de velocidade de germinação das sementes de soja. Contudo, vale ressaltar que, as condições climáticas durante o período de avaliação, assim como

a cultivar de soja escolhida constituem fatores que influenciam no resultado obtido.

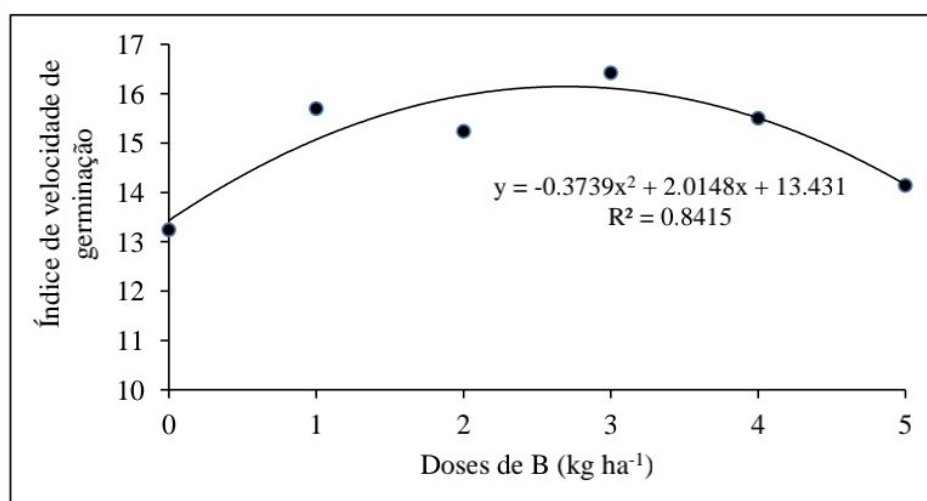


Figura 4. Índice de velocidade de germinação em função das doses de boro em sementes da soja. Ipameri-GO, 2022.

O índice de velocidade de germinação influenciado pela dose 2,70 kg ha⁻¹ de B infere o comportamento positivo das sementes, quando submetidas à adubação boratada, pois a velocidade é considerada uma medida de entrada de energia e permite determinar a variação da massa ao longo do tempo de germinação (OLIVEIRA et al., 2021).

O micronutriente B desempenha funções envolvidos no estímulo da germinação e alongamento do tubo polínico, está envolvido na integridade estrutural da parede celular e nos processos de divisão e alongamento celular (MONDAL; BOSE, 2019). Na cultura da soja, a qualidade das sementes é altamente dependente dos níveis de nutrientes acumulados nos órgãos de reserva, os quais são destinados ao suprimento do embrião durante os estágios iniciais de desenvolvimento da plântula, porém, a absorção de nutrientes é manipulada pela quantidade de armazenamento e as interações com os elementos e constituintes do solo (CONCEIÇÃO et al., 2020).

A grande parte dos micronutrientes é exigida pelas culturas agrícolas em quantidade inferior a 2,0 kg ha⁻¹, o baixo conteúdo exigido pelas plantas é suficiente para desempenhar diversas funções metabólicas e fisiológicas fundamentais ao ciclo de desenvolvimento das plantas, pois a estreita faixa entre a deficiência e excesso de micronutrientes pode interromper as funções vitais e reduzir a capacidade de produção, desde o início do processo de germinação até a produção de grãos. Sendo assim, maiores informações correlacionadas à exigência das plantas de soja quanto a adubação boratada é imprescindível, pois o momento adequado associado à dose correta infere no correto e eficaz plano de manejo nutricional da oleaginosa em

busca de obter plantas mais vigorosas, produtivas e com altos índices de rendimento (THAPA et al., 2021).

5. CONCLUSÕES

A aplicação de boro em diferentes doses e estádios fenológicos na cultura da soja influencia a maioria dos componentes agrônômicos avaliados, como altura de plantas, diâmetro do caule, altura da inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade, porém de maneiras distintas.

Portanto, os resultados obtidos indicam que a dose de $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de B é eficaz para a obtenção de maior produtividade da soja, independentemente do estágio fenológico da aplicação boratada.

Para a qualidade fisiológica de sementes de soja, a aplicação boratada nos estádios fenológicos influenciaram de forma positiva a germinação total, índice de velocidade de germinação e condutividade elétrica. Para as doses de boro apenas o índice de velocidade de germinação foi influenciado, mostrando a importância da aplicação de boro na cultura da soja até a dose de $2,70 \text{ kg ha}^{-1}$ de B.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKMALOVNA, A. C. Characteristics and advantages of soybean benefits in every way. **Journal of Ethics and Diversity in International Communication**, v. 1, n. 8, p. 67-69, 2022.
- ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; CUNHA, T. B.; ALMEIDA, É. V.; CARNEIRO, A. O. T.; FERREIRA, M. C.; SANTOS, L. J. S. Use of photosynthesis inducer in soybean culture (*Glycine max* L) implemented in the southwest of Goiás. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 30040-30050, 2022.
- AOSA. Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 1983. 93 p.
- ARUNKUMAR, B. R.; THIPPESHAPPA, G. N.; ANJALI, M. C.; PRASHANTH, K. M. Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 2738-2741, 2018.
- ATUDOREI, D.; STROE, S. G.; CODINĂ, G. G. Physical, physiological and minerals changes of different legumes types during the germination process. **Food Technology**, v. 9, n. 1, p. 844-863, 2020.
- BATAGLIA, O. C. **Análise química de plantas**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Org.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, 1991. p. 298-308.
- BATISTA, E. C.; VILLELA, G. M.; PIRES, R. M. D. O.; SANTOS, H. O. D.; CARVALHO, E. R.; BRUZI, A. T. Physiological quality of soybean seeds and the influence of maturity group. **Journal of Seed Science**, v. 44, n. 1, p. 1-11, 2022.
- BAXRIDINOVNA, R. U.; MUSURMONOVICH, F. S. Soybean-as a source of valuable food. **Texas Journal of Multidisciplinary Studies**, v. 6, n. 2, p. 165-166, 2022.
- BEHERA, B.; KANCHETI, M.; RAZA, M. B.; SHIV, A.; MANGAL, V.; RATHOD, G.; SINGH, B. Mechanistic insight on boron-mediated toxicity in plant vis-a-vis its mitigation strategies: A review. **International Journal of Phytoremediation**, v. 10, n. 2, p. 1-18, 2022.
- BELE, P.; THAKUR, R. Boron nutrition of crops in relation to yield and quality: A review. **The Pharma Innovation Journal**, v. 8, n. 1, p. 430-433, 2019.
- BENTO, K. F.; CARNIEL, E.; RAIMUNDO, C. B.; ROCHA, R. R.; SCHONINGER, E. L. Availability of boron in clayey and sandy soil due to the application of different borated sources in soybean cultivation. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 11, p. 51-55, 2020.
- BERTI, M. P. S.; SÁ, M. E.; BENETT, C. G. S.; ROCHA, E. C.; BERTI, C. L. F. Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Revista Cultura Agronômica**, v. 28, n. 2, p. 123-137, 2019.
- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 49, n. 1, p. 481-500, 1998.
- BRASIL. **Regras para análises de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 2009. 398 p.
- BROWN, P.H.; HU, H. Boron uptake by sunflower, squash, and cultured tobacco cells. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 91, n. 3, p. 435-441, 1994.
- CAMPELO, G. J. A.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. **Soja**. In: Desenvolvimento e seleção de germoplasma para regiões de baixas latitudes, Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998. 36 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 37).

CAMPOS, T. S.; SOUSA, W. S.; ROSSETTI, C.; SOUZA, A. G. V.; FARIA, L. O.; CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; RODRIGUES, D. B.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; TUNES, L. V. M.; MIGUEL, P. Productivity, quality and composition of soybean seeds in storage as a function of boron doses at different phenological stages. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, p. 68-81, 2021.

CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; SANTOS, C. H. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 2, p. 20-26, 2010.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.

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

CERETTA, C. A.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S.; MOREIRA, I. C. L.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. E. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 576-581, 2005.

CONCEIÇÃO, G. M.; CUNHA, V. D. S.; FIPKE, G. M.; BRUNING, L. A.; ROSSATO, A. D. C.; MARTIN, T. N. Mineral supplementation of soybean seeds with different initial nutrient levels. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, n. 1, p. 1-9, 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, v. 8, n. 7, p. 1-116, 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020 – 6º Levantamento – Safra 2021/2022**. Brasília, 88p. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola>. Acesso em: 12 de abril. 2022.

CHEN, X.; ZHOU, G.; PANG, J.; SRINIVES, P. Domestication of agronomic traits in legume crops. **Frontiers in Genetics**, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2021.

DAS, A. K.; PURKAIT, A. Boron dynamics in soil: classification, sources, factors, fractions, and kinetics. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 22, p. 2778-2790, 2020.

DAS, S.; PAUL, S. K.; RAHMAN, M. R.; ROY, S.; UDDIN, F. J.; RASHID, M. H. Growth and yield response of soybean to sulphur and boron application. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 20, n. 1, p. 12-19, 2022.

DEGRYSE, F. Boron fertilizers: use, challenges and the benefit of slow-release sources – A review. **Journal of Boron**, v. 2, n. 3, p. 111-122, 2017.

DHALIWAL, S. S.; NARESH, R. K.; MANDAL, A.; SINGH, R.; DHALIWAL, M. K. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2019.

DOMINGOS, C. D. S.; BESEN, M. R.; ESPER NETO, M.; COSTA, E. J. O.; SCAPIM, C. A.; INOUE, T. T.; BRACCINI, A. L. Can calcium and boron leaf application increase soybean yield and seed quality?. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 71, n. 3, p. 171-181, 2021.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, J. L. T.; SILVEIRA, D. C.; CHAVARRIA, G. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 1-15, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Características da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. p.227.

FERREIRA JUNIOR, J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E.W. Avaliação de genótipos de Soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no município de Uberaba – MG. **Agronomia**, v. 1, n. 7, p. 13-21, 2010.

FILASSI, M.; OLIVEIRA, A. L. R.; ELIAS, A. A.; MARSOLA, K. B. Analyzing complexities in the Brazilian soybean supply chain: a systems thinking and modeling approach. **RAUSP Management Journal**, v. 57, n. 3, p. 280-297, 2021.

FUJIYAMA, B. S.; SILVA, A. R. B. E.; SILVA JÚNIOR, M. L. D.; CARDOSO, N. R. P.; FONSECA, A. B. D.; VIANA, R. G.; SAMPAIO, L. S. Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 19, p. 2498-2506, 2019.

GALERIANI, T. M.; NEVES, G. O.; FERREIRA, J. H. S.; OLIVEIRA, R. N.; OLIVEIRA, S. L.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Calcium and boron fertilization improves soybean photosynthetic efficiency and grain yield. **Plants**, v. 11, n. 21, p. 1-12, 2022.

GAZOLLA-NETO, A.; FERNANDES, M. C.; GOMES, A. D.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, G. A. Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p.119–127, 2015.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p.35-48.

GOMES, I. S.; BENETT, C. G. S.; SILVA JUNIOR, R. L.; XAVIER, R. C.; BENETT, K. S. S.; SILVA, A. R.; CONEGLIAN, A. Boron fertilization at different phenological stages of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 8, p. 1026-1032, 2017.

GOMES, L.; SIMÕES, S. J.; NORA, E. L. D.; SOUSA-NETO, E. R.; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2019.

GOMES, I. S.; BENETT, C. G. S.; XAVIER, R. C.; BENETT, K. S. S.; LEÃO-ARAÚJO, E. F.; SILVA, A. R.; CONEGLIAN, A. Boron fertilization affects the physiological quality of soybean seeds, conventional and transgenic. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 1, p. 92-97, 2020.

HAMURCU, M.; ARSLAN, D.; HAKKI, E. E.; OZCAN, M. M.; PANDEY, A.; KHAN, M. K.; GEZGIN, S. Boron application affecting the yield and fatty acid composition of soybean genotypes. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, n. 5, p. 238-243, 2019.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

JOKANOVIĆ, M. B. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, p. 1-12, 2020.

KAUR, H.; KAUR, H.; KAUR, H.; SRIVASTAVA, S. The beneficial roles of trace and ultratrace elements in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 1, n. 1, p. 1-18, 2022.

KOHLI, S. K.; KAUR, H.; KHANNA, K.; HANDA, N.; BHARDWAJ, R.; RINKLEBE, J.; AHMAD, P. Boron in plants: uptake, deficiency and biological potential. **Plant Growth Regulation**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2022.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.4, p.1-26.

LOPEZ, M. A.; MOREIRA, F. F.; RAINEY, K. M. Genetic relationships among physiological processes, phenology, and grain yield offer an insight into the development of new cultivars in soybean (*Glycine max* L. Merr). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2021.

MAGUIRE, J. D. Apead of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafós, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba, Potafós, p. 201, 1989.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego, Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R. B. **Diagnose foliar**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa: UFV, 359p. 1999.

MONDAL, S.; BOSE, B. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2019.

MONDO, V. H. V.; JUNIOR, F. G. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L.; MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CICERO, S. M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p.193-201, 2012.

NAGAR, R.; KUMAR, M. Effect of lime and boron application on growth, yield and quality of soybean *Glycine max* (L.). **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 4, p. 1722-1726, 2022.

NIHARIKA, K.; SHEEBA, S. Chemistry of boron in soil and management in different crops. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 34, n. 22, p. 374-386, 2022.

NWE, L. L.; BISWAS, S.; MAHATO, M.; DAS, R.; DUTTA, D. Effect of integrated nutrient management on growth characters of soybean (*Glycine max* L.) varieties. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 12, n. 7, p. 149-158, 2022

OLIVEIRA, J. P. R.; BOSSELI, M. A.; SILVA, E. A. A. Acceleration in germination Sensus stricto plays a central role on seedling vigor in post-germination. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 1-12, 2021.

OLIVEIRA NETO, S. S.; GONÇALVES, A. S. F. Environmental factors, phenology and nutrition: A technical review on the impacts in soybean culture. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 5, p. 7-16, 2019.

ONUH, A. F.; MIWA, K. Regulation, diversity and evolution of boron transporters in plants. **Plant and Cell Physiology**, v. 62, n. 4, p. 590-599, 2021.

PEREIRA, P. R. M.; BOLFE, E. L.; RODRIGUES, T. C. S.; SANO, E. E. Dynamics of agricultural expansion in areas of the Brazilian savannah between 2000 and 2019. **The International Archives of**

the **Photogrammetry**, v. 23, n. 1, p. 1-8, 2020.

PIRAS, S.; WESZ JÚNIOR, V. J.; GHINOI, S. Soy expansion, environment, and human development: an analysis across Brazilian municipalities. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 1-12, 2021.

PRADO, R. M. (2021). **Mineral nutrition of tropical plants**. 349 p. Springer Nature, Switzerland AG doi:10.1007/978-3-030-71262-4

QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ROSOLEM, C. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Soja. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARRETO, R. M.; RAIJ, B. V. (eds.). **Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. 209-212.

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

RAI, H. K.; TAGORE, G. S.; SHUKLA, A. K.; UPADHYAY, A. K.; SURYAWANSHI, A. R. P. I. T. Response of soybean (*Glycine max* L) to levels of boron in a Vertisol. **Annals of Plant and Soil Research**, v. 20, n. 2, p. 164-167, 2018.

RAJESH, K., SATHISH, R., ARUNBABU, T., BHARATHI, V. AND DURGA, K. K Impact of boron in plant growth and development. **Vigyan Varta**, v. 2, n. 1, p. 36-39, 2021.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

REHAGRO CONSULTORIA. **Consultoria especializada no Agronegócio**. Disponível em: <https://rehagroconsultoria.com.br/>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

RERKASEM, B.; JAMJOD, S.; PUSADEE, T. Productivity limiting impacts of boron deficiency, a review. **Plant and Soil**, v. 455, n. 1, p. 23-40, 2020.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a. Aproximação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

RIGO, G. A.; SCHUCH, L. O. B.; VARGAS, R. D.; BARROS, W. S.; SZARESKEI, V. J.; CARVALHO, I. R.; PEDO, T. Micronutrient content and physiological quality of soybean seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 223-230, 2018.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba: POTAFÓS, p. 20, 1994.

RODRIGUES, L. U.; SILVA, R. R. Boron availability in building up fertility in Cerrado soil of Tocantins. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 5, p. 595-603, 2020.

ROMEU, S. L. Z.; MARQUES, J. P. R.; MONTANHA, G. S.; CARVALHO, H. W. P.; PEREIRA, F. M. V. Chemometrics unraveling nutrient dynamics during soybean seed germination. **Microchemical Journal**, v. 164, n. 1, p. 1-14, 2021.

ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E. A adubação foliar em soja. In: BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1989. 500 p.

ROSS, J. R.; SLATON, N. A.; BRYE, K. R.; DELONG, R. E. Boron fertilization influences on soybean yield and leaf and seed boron concentrations. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 1, p. 1-8, 2006.

SANTOS, H. G.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CUNHA, T. J. F.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação De Solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 355p.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. **Soja do Plantio à Colheita**. 1ª ed. Viçosa: UFV, 2015, 333p.

SILVA, R. C. D.; SILVA JÚNIOR, G. S.; SILVA, C. D. S.; SANTOS, C. T.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017.

SILVA, R. C.; BAIRD, R.; DEGRYSE, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Slow and fast-release boron sources in potash fertilizers: spatial variability, nutrient dissolution and plant uptake. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 6, p. 1437-1448, 2018.

SILVA, R. C. D. D.; SILVA JÚNIOR, G. S. D.; PELÁ, A.; LANA, R. M. Q.; SILVA, J. G. M. D. Doses, methods and times of application of boron in soybean under field conditions. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, p. 1999-2006, 2020.

SILVA, J. F.; CUNHA, S. D.; DIAS, H. A. R.; ARAÚJO, M. S.; ROCHA, E. C. Boron dynamics in agricultural soils of the Cerrado: Study on sources, doses and leaching. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 2, p. 488-504, 2021.

SINGH, P.; DWIVEDI, M.; SRIVASTAVA, P. C.; PACHAURI, S. P.; SHUKLA, A. K.; SINGH, A. P. Boron fertilization and crop production in India: A review. **Seeds**, v. 10, n. 23, p. 1-12, 2020.

SINGH, A. K.; SINGH, J. P.; SINGH, J. P. Boron in crop production from soil to plant system: a review. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 5, n. 2, p. 218-222, 2020b.

SHIREEN, F.; NAWAZ, M. A.; CHEN, C.; ZHANG, Q.; ZHENG, Z.; SOHAIL, H.; BIE, Z. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1-20, 2018.

SOMAVILA, J.; DALASTRA, G. M.; COUTINHO, P. W. R.; SOUTO, M. S.; PEREIRA, C. Influência da aplicação de boro em sulco de plantio na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 21950-21960, 2022.

SOUZA, E. S. D.; ROMAM, M. S.; SCHEDENFFELDT, B. F.; MEDEIROS, E. S. D.; SILVA, P. V. D.; MAUAD, M. Does the application of boron in different stages of soy crop affect its productivity?. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, p. 395-401, 2022.

SUTRADHAR, A. K.; KAISER, D. E.; BEHNKEN, L. M. Soybean response to broadcast application of boron, chlorine, manganese, and zinc. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 1048-1059, 2017.

THAPA, S.; BHANDARI, A.; GHIMIRE, R.; XUE, Q.; KIDWARO, F.; GHATREHSAMANI, S.; GOODWIN, M. Managing micronutrients for improving soil fertility, health, and soybean yield. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 1-11, 2021.

TODESCHINI, M. H.; MILIOLI, A. S.; ROSA, A. C.; DALLACORTE, L. V.; PANHO, M. C.; MARCHESE, J. A.; BENIN, G. Soybean genetic progress in South Brazil: Physiological, phenological and agronomic traits. **Euphytica**, v. 215, n. 7, p. 1-12, 2019.

TOOR, M. D.; ADNAN, M.; REHMAN, F. U.; TAHIR, R.; SAEED, M. S.; KHAN, A. U.; PAREEK, V. Nutrients and their importance in agriculture crop production; A review. **Indian Journal of Pure and Applied Biosciences**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2021.

TRAUTMANN, R. R.; LANA, W. C.; GUIMARÃES, V. F.; GONÇALVES JR., A. C.; STEINER, F. Potencial de água do solo é adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da

soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 240-251, 2014.

TRETER, R. J.; CARVALHO, I. R.; HUTRA, D. J.; LORO, M. V.; CAVINATTO, M.; LAUTENCHLEGER, F.; SFALCIN, I. C. Symptoms and interrelationships of macro and micronutrients available for soybean. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 1-15, 2022.

USBERTI, R. Determinação do potencial de armazenamento de lotes de sementes de *Brachiaria decumbens* pelo teste de envelhecimento acelerado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 5, p. 691-699, 1990.

VARANDA, M. A. F.; MENEGON, M. Z.; NASCIMENTO, V. L.; CAPONE, A.; BARROS, H. B. Efeitos da aplicação foliar de boro na produtividade de soja na várzea irrigada. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 15-22, 2018.

VARGAS, R. L.; SCHUCH, L. O.; BARROS, W. S.; RIGO, G. A.; SZARESKI, V. J.; CARVALHO, I. R.; PEDÓ, T. Macronutrients and micronutrients variability in soybean seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 209-222, 2018.

WANG, P.; GRIMM, B. Connecting chlorophyll metabolism with accumulation of the photosynthetic apparatus. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 5, p. 484-495, 2021.

WEI, M. C. F.; MOLIN, J. P. Soybean yield estimation and its components: A linear regression approach. **Agriculture**, v. 10, n. 8, p. 348-355, 2020.

WERNER, H. A.; ESTEVES, M. P. C.; LIMA, B. M.; VALCÁRIO, T. L.; CASTRO, W. C. P.; BARROS, S. C. S. Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill) tratadas com micronutrientes. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, P. 1-13, 2020.

WIKNER, B. Pretreatment of plant and soil samples a problem in boron analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 17, n. 1, p.1-25, 1986.

ZHANG, M.; LIU, S.; WANG, Z.; YUAN, Y.; ZHANG, Z.; LIANG, Q.; TIAN, Z. Progress in soybean functional genomics over the past decade. **Plant Biotechnology Journal**, v. 20, n. 2, p. 256-265, 2022.