

FELIPE ALBUQUERQUE SANTANA

**Efeito de fontes de boro aplicadas via calda herbicida na produtividade da cultura do
milho**

São Cristóvão – SE

Fev-2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**EFEITO DE FONTES DE BORO APLICADAS VIA CALDA HERBICIDA NO
DESENVOLVIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO**

Monografia apresentada ao Departamento de
Engenharia Agrônômica – Universidade Federal
de Sergipe, como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO em:

ORIENTADO: FELIPE ALBUQUERQUE SANTANA

Profa. Dra. Aline de Almeida Vasconcelos
(Orientadora)

Dra. Itamara Bomfim Gois
(Banca examinadora)

Doutorando Willian Gonçalves Souza
(Banca examinadora)

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por me conceder vida, saúde, força e sabedoria para perseverar até aqui. Dedico também à minha família e namorada, por todo amor, apoio e incentivo, e a todos que caminharam comigo nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a toda a minha família, especialmente ao meu pai, José Rodrigues, à minha mãe, Amanda, e ao meu irmão, Rodrigo. Agradeço também ao meu tio Antônio e à minha tia Aurita, que contribuíram de forma importante para minha formação acadêmica e humana. Com o mesmo carinho, agradeço à minha tia Ana Cristina, que sempre incentivou os estudos e foi exemplo de dedicação.

À minha namorada, Priscila, meu agradecimento especial: foi essencial para minha evolução pessoal e estive ao meu lado em momentos decisivos. Com ela, aprendi a amar de todas as formas, e sua presença fez tudo ter mais sentido.

Aos amigos da UFS, deixo meu sincero agradecimento por fazerem parte desta jornada. Obrigado, Deivid, Domingos, Ryan, Gustavo, Vinícius, Lucas Matos, Felipe Mota, Thiago, Gabriel, Marcos, Lorena, Gabi, Maurício e aos demais amigos que, de alguma forma, caminharam comigo. Além das amizades construídas na UFS, agradeço de modo especial a Vilobado, que sempre se mostrou um exemplo de humanidade e dedicação aos estudos.

Por fim, agradeço aos professores da universidade, que tornaram essa trajetória mais significativa e construtiva. À professora Aline Vasconcelos, minha “mãe da UFS”, deixo meu maior respeito e gratidão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Produção, Distribuição, importância do Milho no Brasil.....	10
2.2 Condições de cultivo e exigência nutricional do milho.....	11
2.3 Papel do Boro na Nutrição e Desenvolvimento das Plantas.....	11
2.4 Manejo e Aplicação de Boro	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1 Produtividade do milho e peso de mil grão	15
4.2 Teor de boro nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm	19
4.3 Teor de boro no milho	21
5. CONCLUSÃO.....	22
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	22

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Análise de Componentes Principais (PCA) para Avaliação do Efeito do Boro nas Variáveis de Crescimento do Milho	18
--	----

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Produtividade da cultura do milho em função de fontes de boro	16
Tabela 2. Análise de variância do peso de mil grão do milho.....	17
Tabela 3. Análise de variância B solo 0-20 cm milho.....	19
Tabela 4. Análise de variância B solo 20-40 cm milho.....	19
Tabela 5. Análise de variância teor boro na folha de milho.....	21

RESUMO

O boro, micronutriente essencial para o crescimento das plantas, pode ser fornecido por diferentes fontes e modos de aplicação. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de fontes de boro aplicadas via calda de herbicidas na dinâmica do nutriente no solo e no desempenho agrônomo do milho, com foco na produtividade e no teor de boro nas folhas. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, utilizando diferentes fontes de boro, como ácido bórico, boro A e boro B, aplicados em mistura com herbicidas. A análise de produtividade e componentes de produção não indicou diferenças significativas entre os tratamentos, com médias próximas entre os tratamentos com boro e o controle. A análise de variância para o teor de boro nas folhas também não revelou diferenças estatísticas entre os tratamentos, sugerindo que a aplicação de boro via calda de herbicidas não promoveu mudanças significativas no teor de boro na cultura. Esses resultados indicam que, nas condições do experimento, a aplicação de boro na calda de herbicidas (pré-semeadura e V4) não apresentou efeito residual no solo nem resposta agrônoma comprovada no milho.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação foliar; Micronutriente borato; Componente de produção .

1. INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas é um dos principais desafios para a produção de milho (*Zea mays* L.), pois a competição por água, luz e nutrientes pode comprometer o desenvolvimento da cultura e reduzir o rendimento. Nesse contexto, a dessecação em pré-semeadura com herbicidas de amplo espectro consolidou-se como prática recorrente por sua eficiência operacional e por contribuir para a implantação uniforme da lavoura e o controle de daninhas após emergência da cultura de interesse. Entre os herbicidas mais utilizados, destacam-se o glifosato e o glufosinato, amplamente empregados em programas de manejo por apresentarem bom desempenho no controle de diferentes espécies daninhas e por viabilizarem a condução do sistema produtivo com maior previsibilidade.

Paralelamente à eficiência no controle, tem crescido o interesse em integrar operações agrícolas, reduzindo custos e número de aplicações. Uma estratégia frequentemente adotada é a inclusão de fertilizantes ou fontes de micronutrientes em caldas de herbicidas. O boro (B) se destaca nesse cenário por ser um micronutriente essencial ao crescimento vegetal e por participar de processos ligados ao desenvolvimento estrutural e reprodutivo das plantas, podendo influenciar componentes associados ao desempenho agrônomo quando se encontra em condição limitante. Entretanto, a resposta ao fornecimento de B é dependente do ambiente de produção e do manejo, uma vez que sua disponibilidade no solo é condicionada por atributos como pH, textura e matéria orgânica, além de ser influenciada pela dinâmica hídrica do sistema, o que pode alterar sua mobilidade no perfil e o risco de perdas.

Apesar do potencial operacional da aplicação conjunta, a mistura em tanque exige atenção, pois a associação entre herbicidas e fontes de boro pode alterar propriedades físico-químicas da calda (como pH e estabilidade), com possibilidade de formação de precipitados, espuma ou incompatibilidades que comprometam a qualidade da aplicação e, consequentemente, a eficiência no controle de plantas daninhas. Além disso, formulações de glifosato apresentam diferentes sais (por exemplo, sal de potássio, de amônio e de di-amônio), os quais podem se comportar de maneira distinta quando combinados com fontes de boro, tornando necessária a avaliação técnica dessas interações, especialmente em condições de campo.

Dessa forma, considerando a relevância agrônoma do milho, a necessidade de eficiência no manejo de plantas daninhas e a busca por racionalização de operações, torna-se

pertinente investigar a utilização de fontes de boro aplicadas via calda de herbicidas e seus possíveis reflexos tanto na dinâmica do nutriente no solo quanto em variáveis agronômicas da cultura.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes de boro aplicadas via calda de herbicidas (glifosato e glufosinato) na cultura do milho, por meio da determinação dos teores de boro no solo em diferentes camadas e da avaliação de variáveis agronômicas associadas ao desempenho da cultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção, distribuição, importância do milho no Brasil

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais espécies cultivadas no Brasil, ocupando uma vasta extensão de cultivo de 21.679,7 mil hectares, com uma produção de 137.005,1 mil toneladas (CONAB, 2025). A produção de milho tem se consolidado como uma das atividades agrícolas mais significativas no País, impulsionando a economia nacional e o comércio exterior, principalmente devido à sua alta demanda tanto para consumo interno quanto para exportação.

As regiões produtoras de milho no Brasil são predominantemente os estados do Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul) e do Sul (Paraná e Rio Grande do Sul), que concentram a maior parte da produção nacional, juntamente com o estado de Minas Gerais, no Sudeste (IBGE, 2023). Além dessas localidades, em relação aos benefícios logísticos relacionados ao produto, é importante destacar o estado de Sergipe, integrante do SEALBA que tem papel significativo na produção da terceira safra de milho no Brasil. A colheita dessa safra ocorre entre os meses de outubro e dezembro, o que permite a Sergipe oferecer o produto em uma época distinta em relação aos demais produtores, atendendo à demanda de forma estratégica e pontual (Santos, 2024).

Sergipe se destaca como um dos principais estados produtores de milho do Brasil, com uma produção crescente ao longo dos anos. Em 2024, a safra de milho do estado ultrapassou 1,1 milhão de toneladas, com um rendimento médio por hectare superior à média nacional. A produção de milho é particularmente significativa nos municípios de Carira, Simão Dias e Poço Verde, que lideram a produção e têm um papel fundamental na economia agrícola regional (Sergipe, 2025). Além disso, o estado segue a tendência de crescimento na produtividade, com Sergipe mantendo-se como líder em termos de produtividade por hectare. Esse aumento está

diretamente ligado ao uso eficiente de tecnologias e práticas de manejo no cultivo do milho, aproveitando-se das condições climáticas favoráveis e da infraestrutura de apoio à agricultura no estado. O crescimento contínuo na produção de milho reflete a adaptação do setor agrícola às condições climáticas e ao zoneamento agrícola do estado, favorecendo o cultivo de grãos como milho, soja e feijão (Carvalho, 2022).

São Cristóvão, em Sergipe, apresenta um clima tropical com verões longos e quentes, com temperaturas médias entre 22 °C e 31 °C, e um inverno de curta duração e temperaturas amenas. O período mais quente vai de fevereiro a maio, com temperaturas acima de 28 °C, enquanto o mais frio ocorre entre julho e outubro, com médias abaixo de 26 °C. As chuvas são sazonais, sendo maio o mês mais chuvoso, com 126 mm. A umidade relativa varia entre 3% e 97% ao longo do ano, criando uma sensação opressiva constante. O clima quente e úmido influencia diretamente a produtividade agrícola na região (Weatherspark, 2025).

2.2 Condições de cultivo e exigência nutricional do milho

A produtividade do milho pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo condições climáticas (temperatura, água, luz) e práticas de manejo como o caso da adubação (Durães et. al., 1995). A semeadura em épocas adequadas, com o objetivo de maximizar o rendimento de grãos, deve ser cuidadosamente analisada em sistemas agrícolas sustentáveis. A adoção de práticas de manejo integradas, como o uso de coberturas vegetais, também merece atenção, pois contribui para a melhoria dos parâmetros produtivos (Onte, 2025).

A busca por um aumento na produtividade do cultivo do milho tem levado à necessidade de um fornecimento equilibrado de nutrientes essenciais para a planta. Por ser uma cultura altamente exigente, o milho necessita de doses estratégicas de macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Além desses, outros macronutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) também são cruciais para o seu desenvolvimento. No que se refere aos micronutrientes, o boro (B), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) desempenham papéis fundamentais. Esses dados são frequentemente destacados por meio de análises de exportação, tanto para grãos quanto para silagem (IAC, 2022). Dentre esses nutrientes, o boro tem tido relevância devido às repostas com altas produtividades.

2.3 Papel do Boro na Nutrição e Desenvolvimento das Plantas

O boro é um micronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas,

influenciando a produção de matéria seca da parte aérea e de raízes e o comprimento das raízes das plantas. A cultura do milho apresenta uma maior relação de necessidade de boro comparada às culturas como arroz, trigo, feijão e soja, porém o mesmo adverte que níveis tóxicos de B na parte aérea estão entre 20 a 153 mg/kg de boro (Fageria, 2000).

O fluxo de massa é o principal mecanismo de transporte de boro (B) no solo, sendo responsável pela movimentação do nutriente até as raízes das plantas, favorecido pela presença de água gradiente transpiracional. A difusão atua como um mecanismo complementar, sendo mais importante em solos pobres em B e durante períodos de déficit hídrico, quando a movimentação do B é limitada. O déficit hídrico altera significativamente o balanço entre esses dois mecanismos, reduzindo o fluxo de massa e, conseqüentemente, o acúmulo de B nas plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade desse nutriente (Mattiello et al., 2009). Quanto às funções fisiológicas, o boro atua na maturação da estrutura e estabilidade da parede celular, no transporte de açúcares, no crescimento de tecidos meristemáticos, no metabolismo de carboidratos e nos processos relacionado à reprodução vegetal, incluindo florescimento, viabilidade do pólen e formação de frutos.

A deficiência de boro (B) na planta apresenta uma diminuição acentuada no porte e uma coloração verde muito intensa. Esses sintomas são mais evidentes nas folhas mais novas, devido à baixa mobilidade do boro no floema. A base da lâmina foliar apresenta uma diminuição na espessura dos tecidos, o que resulta em um clareamento visual, com uma fina película visível apenas na parte clara. O sintoma surge em tendência internerval, evoluindo da base para o ápice. Posteriormente, as folhas mais novas passam a enrolar-se, formando uma espécie de "charuto" (Ferreira, 2012).

2.4 Manejo e Aplicação de Boro

O boro pode ser fornecido às plantas por diferentes fontes e modos de aplicação, sendo as mais comuns as formas sólidas na fórmula de grânulos e na calda de herbicida via solo, a aplicação foliar e na fertirrigação. As fontes sólidas, como o ácido bórico e os boratos (tetraborato de sódio e borato de cálcio), são amplamente utilizadas para o fornecimento do nutriente ao solo, permitindo a manutenção de níveis adequados de disponibilidade ao longo do ciclo das culturas. A eficiência dessa via, entretanto, depende de fatores edáficos como textura, pH e teor de matéria orgânica, uma vez que em solos arenosos o nutriente apresenta maior risco de lixiviação, enquanto em solos argilosos ou com pH elevado tende a ser

fortemente adsorvido, reduzindo sua disponibilidade (keren, 1996; Sá, 2016).

A recomendação de doses de boro para o milho varia conforme as condições de solo e produtividade. Para uma produtividade de 9 t/ha de grãos, a extração de boro é de 170 g/ha. A aplicação de 1,74 a 2,08 kg de B/ha é indicada para solos com níveis adequados de boro. Solos arenosos e argilosos devem ser monitorados, pois o risco de lixiviação e a adsorção do nutriente podem afetar sua disponibilidade (Embrapa, 2020).

A aplicação foliar, por sua vez, é uma estratégia recomendada quando há necessidade de correção rápida da deficiência ou quando a planta se encontra em estádios fenológicos críticos, como na fase reprodutiva. Fontes de alta solubilidade, como ácido bórico, boratos alcalinos e complexos de boro-etanolamina, são preferencialmente empregadas nesse tipo de aplicação, pois permitem maior absorção pelas folhas. No entanto, a eficiência do processo depende de fatores como a molhabilidade da superfície foliar, as condições climáticas durante a pulverização e a utilização de adjuvantes que favoreçam a absorção. Além disso, a aplicação foliar exige cuidados quanto à concentração da calda, de forma a evitar a ocorrência de fitotoxicidade (Nelson; Meinhardt, 2011).

Outra possibilidade é a aplicação conjunta de boro com herbicidas na forma de misturas em tanque. Essa prática é adotada principalmente para otimizar operações agrícolas, reduzindo o número de pulverizações em campo. No entanto, a compatibilidade físico-química entre herbicida e fertilizante deve ser previamente avaliada, visto que podem ocorrer interações que afetam tanto a eficácia do controle das plantas daninhas quanto a absorção do nutriente. Estudos apontam que a mistura de micronutrientes, como o boro, com herbicidas pode resultar em efeitos aditivos, antagônicos ou sinérgicos, a depender da formulação utilizada, do tipo de herbicida e das condições da aplicação. Por essa razão, recomenda-se realizar testes de compatibilidade (jar test) antes da pulverização, além de respeitar a ordem de mistura dos produtos e as instruções dos fabricantes para evitar precipitações ou perda de eficiência (Gandini et al., 2020; Daramola et al., 2023).

É fundamental analisar a compatibilidade das misturas para prevenir a diminuição da atividade e assegurar a eficácia das aplicações. Interações físico-químicas indesejadas podem resultar em perdas de eficácia, tornando imprescindíveis as avaliações de compatibilidade antes da aplicação (Pessoa, 2024).

A nível de complementação da adubação via solo, a adubação foliar pode ser uma maneira eficiente para completar o que é absorvido pelas raízes. É crucial, também, que exista atenção para a concentração a ser utilizada, tendo em vista que pode ocorrer fitotoxicidade (Duener, 2008).

A aplicação simultânea de desseccantes e boro no manejo de plantas daninhas apresenta resultados interessantes. Conclusões significativas foram identificadas nesse manejo, como o aumento do teor de boro no solo e nas plantas, e controle de plantas daninhas em pré-semeadura (Brighenti et al., 2006). Adubação boratada utilizando bórax e ulexita resulta em maior diâmetro da espiga, números de grãos por fileiras e massa de mil grãos, com doses ideais entre 1,74 kg a 2,08 kg de B/ha como faixa ideal para buscar tais acréscimos (Silva, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, localizada em São Cristóvão – SE (10°55' S, 37°11' O), durante o ano de 2025. Utilizou-se irrigação por gotejamento para atender às necessidades hídricas da cultura do milho, enquanto a adubação foi ajustada conforme as recomendações do Boletim 100 (2024), considerando as exigências do solo e as necessidades nutricionais da planta.

Antes da instalação do experimento, realizou-se a amostragem do solo nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm para caracterização química. Com base nos resultados da análise, foi definido o manejo de correção e fertilidade da área, incluindo a aplicação de calcário para correção da acidez do solo, na dose de 7 t ha⁻¹ e preparo do solo com incorporação a 40cm de profundidade, seguida de nivelamento. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos e o controle, cada um com quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Os tratamentos consistiram em diferentes fontes de boro aplicadas em mistura de tanque com herbicidas em dois momentos, na dessecação com calda contendo glifosato e glufosinato e no estágio fenológico V4 do milho com calda contendo glifosato. Foram avaliadas três fontes de boro, boro B (15% B), boro A (16% B) e ácido bórico (17% B), todos com uma dose fixa de 2,5 kg/ha de cada produto, além do tratamento controle, que recebeu apenas os herbicidas, sem adição de boro, em ambas as aplicações. As pulverizações foram realizadas em 07/03/2025 e 21/03/2025.

Após a dessecação, realizou-se a semeadura em 10/04/2025 do híbrido de milho KWS

107510, resistente ao glifosato, no espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,25 m entre plantas, resultando em densidade estimada de 80.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada com 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-30-00. Em cobertura, aplicou-se 250 kg ha⁻¹ da formulação 22-00-10, composta por fontes nitrogenadas na fonte de nitrato de amônio e potássio na fonte de cloreto de potássio. Adicionalmente, realizou-se adubação foliar para suplementação nutricional, sem adição de boro, contendo sulfato de manganês, sulfato de magnésio, molibdênio, níquel, cobalto e sulfato de zinco.

Com o objetivo de avaliar o estado nutricional das plantas e a disponibilidade de boro no solo ao longo do ciclo da cultura, foram realizadas coletas de material vegetal e de solo na fase de plena florada. Para a análise foliar, coletaram-se 10 folhas opostas à espiga em cada parcela, e as amostras foram processadas e analisadas. Para a avaliação do boro no solo, foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, com determinação do teor de boro realizada de acordo com a metodologia de Teixeira (2017).

Para avaliação da produtividade, foram coletadas aleatoriamente 12 espigas por parcela, provenientes da área útil, as quais foram contabilizadas e utilizadas para a determinação dos componentes de produção. Foram avaliados o número de fileiras por espiga, o número de grãos e a massa de mil grãos e produtividade

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade do milho e peso de mil grão

Observou-se que a produtividade do milho não apresentou diferença estatística entre os tratamentos com diferentes fontes de boro, conforme o teste F ($p > 0,1$). Na tabela 1 o tratamento controle apresentou 8294 kg ha⁻¹ (138,25 sacas ha⁻¹), o Boro A resultou em 8322 kg ha⁻¹ (138,5 sacas ha⁻¹) e Boro B 8259 kg ha⁻¹ (137 sacas ha⁻¹), enquanto o tratamento com ácido bórico, a produtividade foi de 8940 kg ha⁻¹, correspondente a 149 sacas ha⁻¹ (saca de 60 kg). A média de produtividade foi de 8291,67 kg ha⁻¹ (140,68 sacas ha⁻¹), indicando que, nas condições do experimento, as fontes avaliadas não promoveram incrementos significativos na produtividade do milho.

Tabela 1. Produtividade da cultura do milho em função de fontes de boro

Tratamentos	Produtividade Milho kg/ha	Produtividade Milho saca/ha
Controle	8294	138,25
Boro A	8322	138,5
Boro B	8259	137
Ácido Bórico	8940	149
Média	8291,67	140,68

De acordo com o teste F, as médias não podem ser consideradas diferentes ($p > 0,1$).

Fonte: Dados elaborados pelo autor, 2026.

Além do manejo com boro, foi realizada adubação foliar complementar sem inclusão de B na formulação. Esse aporte nutricional adicional, ao favorecer o suprimento de nutrientes essenciais em estádios críticos do desenvolvimento, pode ter atuado como fator complementar no desempenho produtivo da cultura, contribuindo para o incremento de produtividade observado, embora sem promover diferenciação estatística entre os tratamentos pelo teste aplicado. Esse entendimento é respaldado por Pereira (2025), que ao avaliar fertilizantes com macro e micronutrientes via tratamento de sementes e micronutrientes via aplicação foliar, relatou incrementos em componentes produtivos e maior produtividade quando a aplicação foliar foi incluída no manejo, com destaque para a aplicação no estágio vegetativo V3.

A análise de variância para o peso de mil grãos (PMG) (Tabela 2) demonstrou que não houve efeito significativo dos tratamentos com fonte de boro sobre essa variável ($F_c = 0,6484$; $p = 0,6035$). Por outro lado, verificou-se efeito significativo de blocos ($F_c = 5,9568$; $p = 0,0161$), evidenciando heterogeneidade da área experimental, possivelmente relacionada a variações de solo e ambiente, o que reforça a adequação do delineamento em blocos para controlar parte dessa variação. O coeficiente de variação ($CV = 8,81\%$) foi considerado baixo, sugerindo boa precisão experimental e confiabilidade dos dados obtidos.

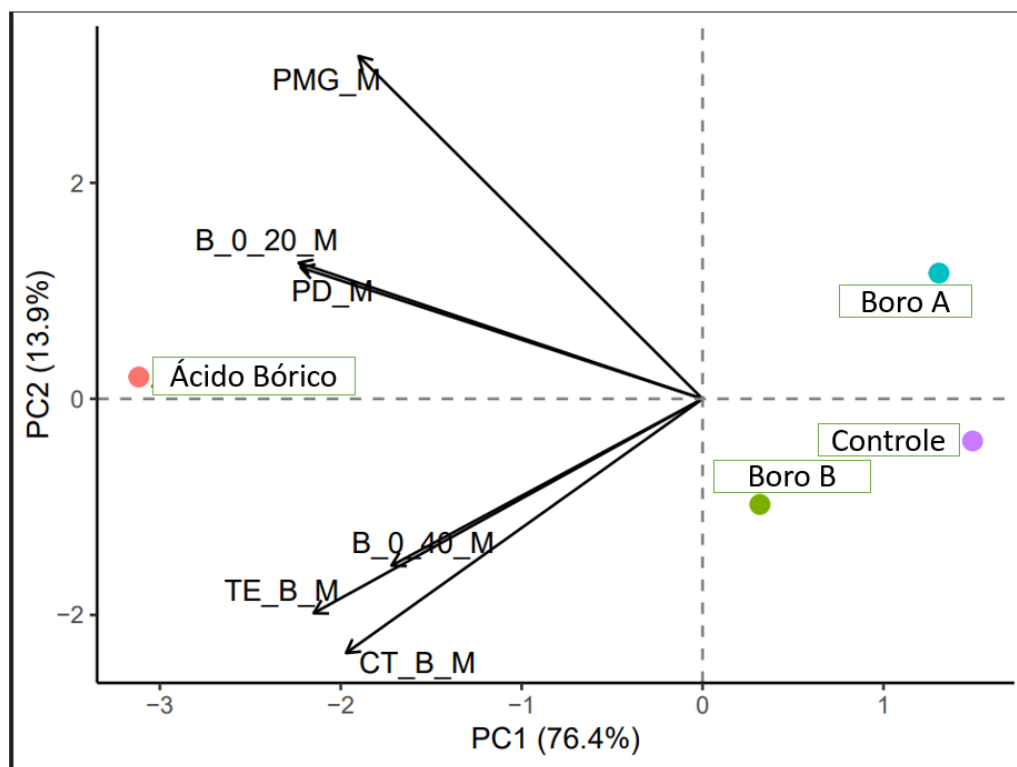
Tabela 2. Análise de variância do peso de mil grão do milho

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	141.03	47.01	0.6484	0.60348
Bloco	3	1295.69	431.90	5.9568	0.01605
Resíduo	9	652.55	72.51		
Total	15	2089.26			
CV = 8.81 %					

Fonte: Dados elaborados pelo autor, 2026.

A resposta do milho à adubação boratada evidencia a importância do equilíbrio entre nutrição e ambiente produtivo, pois os ganhos nos componentes de rendimento tendem a ocorrer quando o boro deixa de atuar como fator limitante. Estudos relatam que diferentes doses de B podem promover incrementos em caracteres vegetativos e reprodutivos, destacando-se aumento no diâmetro do colmo e melhor desempenho em dose próxima de 2,08 kg de B ha⁻¹, além de efeitos positivos em componentes diretamente relacionados à produtividade, como diâmetro de espiga, número de grãos por fileira e massa de mil grãos, especialmente com o uso de fontes como bórax e ulexita, o que reforça que a eficiência do boro depende do ajuste de dose e das condições de cultivo (Silva, A. 2019). Nesse sentido, a ausência de resposta às fontes avaliadas no presente estudo pode estar relacionada à baixa quantidade efetivamente adicionada e, sobretudo, à maior suscetibilidade do boro à lixiviação em solos arenosos, reduzindo sua permanência na zona radicular e limitando a disponibilidade do nutriente às plantas.

Figura 1. Análise de Componentes Principais (PCA) para Avaliação do Efeito do Boro nas Variáveis de Crescimento do Milho



Legenda: Análise de componentes principais (PCA) das variáveis de crescimento do milho em função dos tratamentos (ácido bórico, Boro A, Boro B e controle), com indicação dos componentes principais PC1 (76,4%) e PC2 (13,9%). As setas representam os vetores das variáveis (PMG_M, PD_M, B_0_20_M, B_0_40_M, TE_B_M e CT_B_M), e os pontos correspondem aos tratamentos avaliados.

Fonte: Dados elaborado pelo autor, 2026

A análise de componentes principais (PCA) demonstrou que os dois primeiros componentes explicaram 90,3% da variabilidade total dos dados, sendo 76,4% atribuídos ao PC1 e 13,9% ao PC2.

O tratamento com ácido bórico posicionou-se no mesmo quadrante e na mesma direção das variáveis, indicando forte associação com maiores teores de boro no solo e na planta, bem como com melhores respostas produtivas. Em contraste, os tratamentos Boro A e Boro B agruparam-se próximos ao Controle, o qual se localizou nas proximidades da origem dos eixos, sem associação relevante com as variáveis avaliadas, evidenciando comportamento semelhante ao tratamento sem adição de boro.

Dessa forma, os resultados indicam que, entre as fontes estudadas, o ácido bórico tem a tendência a contribuir no status nutricional e no desempenho produtivo da cultura, conforme evidenciado pela análise de componentes principais (PCA).

4.2 Teor de boro nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm

Tabela 3. Análise de variância B solo 0-20 cm milho

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	0.00180	0.00060000	0.41379	0.74726
Bloco	3	0.00035	0.00011667	0.08046	0.96900
Resíduo	9	0.01305	0.00145000		
Total	15	0.01520			
CV = 42.31 %					

Fonte: Dados elaborados pelo autor, 2026.

Tabela 4. Análise de variância B solo 20-40 cm milho

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	0.0023687	0.00078958	1.31445	0.32883
Bloco	3	0.0016188	0.00053958	0.89827	0.47898
Resíduo	9	0.0054063	0.00060069		
Total	15	0.0093937			
CV = 28.62 %					

Fonte: Dados elaborados pelo autor, 2026.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a análise de variância (ANOVA) do teor de boro (B) no solo nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm na cultura do milho respectivamente. Em ambas as profundidades, não foi observado efeito significativo dos tratamentos, indicando que as diferentes fontes/manejos avaliados não alteraram o teor de B no solo (0–20 cm: $Pr>F_c = 0,74726$) (20–40 cm: $Pr>F_c = 0,32883$). Dessa forma, os resultados sugerem que, nas condições do experimento, as fontes testadas não promoveram mudanças detectáveis na disponibilidade de boro ao longo do perfil amostrado. A ausência de diferença estatística entre tratamentos é coerente com a natureza do manejo adotado no experimento: o boro foi aplicado via calda de herbicidas, em pré-semeadura e a segunda aplicação quando o milho estava no V4, o que tende a resultar em baixa adição efetiva e uniforme ao solo, sobretudo quando comparado a aplicações direcionadas via solo (granuladas ou incorporadas). Assim, é plausível que as quantidades efetivamente depositadas e retidas no solo tenham sido insuficientes para promover alterações

detectáveis nos teores de B, principalmente considerando a variabilidade natural do solo no campo.

Quanto à comparação entre as profundidades, não se observa um padrão consistente de acúmulo apenas na camada superficial, os valores médios ficaram próximos entre 0–20 cm e 20–40 cm, sugerindo que, nas condições do estudo, não houve estratificação marcante do B disponível entre essas camadas. Essa semelhança entre profundidades reforça a interpretação de que a aplicação via calda não foi determinante para modificar o teor de B no solo, e que a variabilidade observada decorre predominantemente das características do ambiente experimental.

A textura do solo exerce papel decisivo na dinâmica do boro (B), pois condiciona tanto o acúmulo na camada superficial quanto o potencial de lixiviação ao longo do perfil. As fontes mais solúveis como ácido bórico e octaborato, tendem a apresentar maior potencial de lixiviação quando comparadas à ulexita, justamente por liberarem o nutriente com maior rapidez e, portanto, ficarem mais suscetíveis ao transporte com a água no solo. Entretanto, o comportamento não é uniforme entre classes de solo: em Nitossolo, observou-se acúmulo de B na camada superficial independentemente da fonte, o que pode ser associado a maior capacidade de retenção e adsorção ligada à fração argila e às superfícies reativas. Já em Latossolo, foi registrada maior taxa de lixiviação do ACB em comparação ao OCTB e à ULEX, sugerindo que, em condições de maior percolação e menor retenção efetiva do micronutriente, fontes mais solúveis podem aumentar perdas por deslocamento no perfil. Assim, a escolha da fonte de B deve considerar a textura e o tipo de solo, pois estes determinam o equilíbrio entre disponibilização rápida (maior risco de lixiviação) e liberação mais gradual (menor mobilidade), com impactos diretos na eficiência agrônômica do manejo do micronutriente (Sand, 2022).

O desempenho do micronutriente, boro (B) está ligado à solubilidade e ao risco de lixiviação no perfil do solo, o que ajuda a explicar por que a resposta em produtividade pode variar entre ambientes. De modo geral, a ulexita tende a apresentar menor teor de B solúvel tanto no solo quanto no lixiviado, indicando liberação mais lenta e menor mobilidade; já o ácido bórico se destaca por apresentar comportamento distinto no deslocamento do B entre camadas, enquanto fontes mais solúveis (como ácido bórico e H_2 boro) costumam resultar em maiores teores de B no líquido lixiviado, reforçando que a escolha da fonte deve considerar não apenas

o suprimento do nutriente, mas também sua dinâmica de perdas e permanência no sistema (Silva, J. F. 2019).

4.3 Teor de boro no milho

Para o teor de boro, a análise de variância indicou ausência de efeito significativo dos tratamentos ($p > 0,05$). Assim, nas condições do experimento, a aplicação de diferentes fontes de boro em mistura com glifosato e glufosinato não promoveu alteração estatisticamente comprovada na resposta avaliada em comparação ao controle.

Embora o tratamento com ácido bórico tenha apresentado a maior média (32,4750), seguido por Boro B (30,1475) e controle (29,3675), enquanto Boro A apresentou o menor valor (27,8350), essas diferenças representam apenas variações numéricas e não indicam superioridade real entre tratamentos.

Tabela 5. Análise de variância teor boro na folha de milho.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	44.91	14.969	0.37658	0.7722
Bloco	3	83.26	27.753	0.69818	0.5763
Resíduo	9	357.76	39.751		
Total	15	485.92			
CV = 21.05 %					

Fonte: Dados elaborados pelo autor, 2026.

O resultado do teste F indica que as variações observadas entre médias podem ser atribuídas à variabilidade experimental inerente às condições de campo, não sendo possível afirmar que as fontes de boro avaliadas causaram diferenças na variável.

Em solos com maior teor de matéria orgânica, tende a haver maior adsorção de boro, o que reduz a fração do nutriente livre na solução e, conseqüentemente, diminui o risco de lixiviação. Em condições irrigadas, esse efeito é ainda mais relevante, pois o aumento do fluxo de água no perfil pode intensificar o transporte do B, assim, a matéria orgânica atua como fator de retenção e ajuda a explicar por que o nutriente pode apresentar menor mobilidade e perdas, mesmo quando aplicado, modulando sua disponibilidade ao longo do ciclo (Azevedo, 2001).

Em termos agronômicos, respostas à aplicação de boro tendem a ocorrer principalmente quando o micronutriente é fator limitante no sistema solo–planta ou quando o estágio fenológico e a forma de aplicação favorecem aumento efetivo de absorção. No presente conjunto de dados, a semelhança estatística entre tratamentos sugere que, para o teor de boro, a cultura pode não ter apresentado limitação suficiente de boro para gerar respostas claras, ou que a estratégia de fornecimento via calda de herbicidas tenha resultado em desempenho semelhante entre as fontes.

5. CONCLUSÃO

Nas condições do experimento, a aplicação de boro via calda de herbicidas na dessecação pré semeadura e em V4, utilizando as fontes avaliadas, não foi boa estratégia de manejo de fornecimento desse nutriente na cultura do milho.

Boro aplicados junto com herbicidas não apresentam efeito residual no solo.

Dessa forma, nas condições estudadas, a inclusão de boro na calda de herbicidas não resultou em efeito agronômico comprovado.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. (2001). Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(7), 957–964. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000700005>

BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C.; MENEZES, C. C.; OLIVEIRA, F. A. & FERNANDES, P. B. (2006). Aplicação simultânea de dessecantes e boro no manejo de plantas daninhas e na nutrição mineral das culturas de soja e girassol. *Planta Daninha*, 24(4), 797–804. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000400021>

CARVALHO, M. N.; OLIVEIRA, T. R. A.; SILVEIRA, E. S.; SANTOS, A. M.; SILVA, A. F.; OLIVEIRA, G. H. F., (2022). Potential of forage and grain yield of maize genotypes in the Brazilian semiarid region. *Revista Ceres*, 69(4), 456–463. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269040010>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2025.

DARAMOLA, O. S.; MACDONALD, G. E.; KANISSERY, R. G.; DEVKOTA, P. Effects of co-applied agrochemicals on herbicide performance: A review. *Crop Protection*, v. 168, 106999, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106999>.

DEUNER, S.; NASCIMENTO, R.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G. & KERBER, R. S. (2008). Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. *Ciência E Agrotecnologia*, 32(5), 1359–1365. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500001>

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, R.; COSTA, J. D. & FANCELLI, A. L.. (1995). Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento do milho em semeadura tardia (safrinha) no Brasil Central. *Scientia Agricola*, 52(3), 491–501. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000300014>

EMBRAPA. Nutrição e Adubação do Milho. Circular Técnica, 78. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>

FAGERIA, N. K. (2000). Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo cerrado. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 4(1), 57–62. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100011>

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 6, n. 1, p. 74-83, janeiro-abril, 2012

GANDINI, E. M. M. et al. Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. *Journal of Cleaner Production*, v. 268, p. 122152, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122152>.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO. Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas – SP, 2022. pg. 28 - 29.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção agrícola: produção agrícola por estado*. 2023.

KAPPES, C.; ARF, O. & ANDRADE, J. A. C. (2013). Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. *Revista Brasileira De Ciência Do*

Solo, 37(5), 1310–1321. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500020>

KEREN, R. Boron. In: SPARKS, D. L. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods*. Madison: Soil Science Society of America; Wiley, 1996. p. 603–626.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. & BEHLING, M. (2009). Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 33(5), 1281–1290. DOI; <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500021>

NELSON, K. A.; MEINHARDT, C. G. Foliar boron and pyraclostrobin effects on corn yield. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 5, p. 1352–1358, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0090>.

NERY, E. D. Diferentes herbicidas no controle de plantas daninhas. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. São Paulo, v.9.n.01. jan. 2023

ONTE, S.; FISKEY, V. V.; DADHICH, D.K.; GUGLAWATH, A.K. *et. al.* (2025) Effect of integrated organic nutrient management on growth, yield, and soil fertility under a maize–berseem–cowpea cropping system. *Front. Sustain. Food Syst.* 9:1678536. 10.3389/fsufs.2025.1678536

PEREIRA, J. R. V. Produtividade da soja em função de fontes de boro em solos de diferentes texturas 2024. Trabalho de conclusão de curso (Título de Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo - MG, 2024.

PESSOA, P. H.; SILVA, H. A.; LIMA, L. DA S.; ASSIS, R. B.; NERES, N. A.; ALMEIDA, J. C.; CABRAL FILHO, F. R., & ANDRADE, C. L. L. DE. (2024). Chemical characteristics and compatibility of mixtures at different agricultural application rates. *Brazilian Journal of Science*, 3(7), 89–114. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i7.612>

SÁ, A. A.; ERNANI, P. R. (2016). Lixiviação de Boro Diminui com Aumenta o pH do Solo. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 40,e0150008. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150008>

SAND, A. C. A.; VORONIAK, J. M.; ZAMPAR, E. J. O.; FREITAS, P. S. L.; BATISTA, M.

A.; INOUE, T. T. Lixiviação de boro no solo em função da aplicação de diferentes fontes e textura de solo. In: Encontro anual de iniciação científica, 31., 2022, Maringá. Anais [...]. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2022. Disponível em: <<http://www.eaic.uem.br/eaic2022/anais/artigos/5843.pdf>>.

SANTOS, F. V. A produção de milho em Sergipe e sua integração ao SEALBA. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Título de Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2024.

SERGIPE (Estado). Levantamento do IBGE aponta para safra recorde de mais de 1 milhão de toneladas de milho em Sergipe. Aracaju: Governo de Sergipe, 1 nov. 2025. Disponível em: https://www.se.gov.br/agencia/noticias/agricultura/levantamento_do_ibge_aponta_para_safra_recorde_de_mais_de_1_milhao_de_toneladas_de_milho_em_sergipe.

SILVA, A. O. Aplicação de diferentes fontes e doses de boro na cultura do milho. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Título de Engenheiro Agrônomo) - Instituto federal goiano – campus Ceres, Goiás, 2019.

SILVA, J. F. Lixiviação de boro em latossolo em função de fontes e doses. 2019. 32 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. ISBN 978-85-7035-771-7. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>>.

WEATHERSPARK. *Clima característico em São Cristóvão, Sergipe, Brasil, durante o ano.* 2025. Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y/31130/Clima-característico-em-São-Cristóvão-Sergipe-Brasil-durante-o-ano#google_vignette.