



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

JÉFERSON MAURÍCIO DOS SANTOS

CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM FORMULAÇÕES DE GLIFOSATO
E FONTES DE BORO

SÃO CRISTÓVÃO/SE 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM FORMULAÇÕES DE GLIFOSATO
E FONTES DE BORO**

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

APROVADO em: 04 de setembro de 2025.

ORIENTADO: JÉFERSON MAURÍCIO DOS SANTOS

Profa. Dra. Aline de Almeida Vasconcelos

(Orientadora)

Prof. Dr. Dennis Crystian Silva

(Banca examinadora)

Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas

(Banca examinadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus por me guiar e me dar forças para superar todos os obstáculos que até surgiram.

Ao meu pai, José Mauricio que nunca deixou de acreditar em mim, meu maior incentivador e minha inspiração de vida, a minha mãe, Maria Ivone, a minha irmã Gefica, a Evilaine, a toda minha família e a meu compadre Luciano, por terem me dado todo apoio e suporte durante essa trajetória.

Aos meus amigos que hoje considero como irmãos, por todo companheirismo durante esse ciclo.

*“Ser grande é abraçar uma grande causa” —
William Shakespeare.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me amparar nos momentos mais difíceis da minha vida e me dar forças para superar cada desafio.

Agradeço à minha família, em especial ao meu pai, à minha mãe, à minha irmã Gefica e à minha irmã Evilaine, que mesmo à distância fizeram questão de estar presentes em todos os momentos. À minha tia Duzinha (*in memoriam*), que sempre me ajudou, incentivou e apoiou nos estudos, deixo meu eterno reconhecimento.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agronômica da UFS, pela dedicação em ensinar e incentivar a ir além das paredes da universidade. Em especial, à minha orientadora Dra. Aline Almeida Vasconcelos, pela parceria, paciência e ensinamentos. Ao professor Pedro Viegas, por todos os conselhos e pela motivação constante; ao professor Dr. Airon José e ao professor Dr. Dennis Crystian, pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho. Estendo meus agradecimentos aos professores Paulo Gagliardi, Renata Man, Tadeu Lucas, Jailson (Ratinho), Leandro Bacci, Maria Aparecida, Urias Fanger, bem como ao técnico de laboratório Idamar e a todos da secretaria do DEA.

Ao curso de Engenharia Agronômica da UFS e à equipe da Multitécnica, em especial ao Toshio, pela doação de insumos fundamentais para a realização deste trabalho. Aos amigos Pedro Barbosa, Guilherme, Cassiel e Lessandro, pela colaboração e apoio durante projeto.

À equipe dos laboratórios LABTOP e LABGEOTEC, representada pelo professor Rychardson Rocha, pela oportunidade de crescimento profissional. À amiga Marielly Rodrigues (Relâmpago McQueen), pela parceria desde o início do curso. Ao técnico Wendel Massaranduba, pelas orientações, amizade e momentos de descontração. Ao amigo Emerson, pela fraternidade e companheirismo. A meu irmão de coração Bruno Barreto (*in memoriam*), cuja amizade e ensinamentos me inspiraram a valorizar a vida e as pessoas queridas, jamais será esquecido.

À empresa Agritec Serviços Agronômicos, na pessoa de Victor Dantas e Rychardson Rocha, pela oportunidade de aprendizado. À Fazenda Cágado, especialmente ao Sr. Vagner Célio e à Sra. Edjanir Dantas, pela acolhida.

Ao meu compadre Luciano, por todo incentivo, amizade/irmandade e apoio incondicional.

Aos meus amigos de Cristinápolis — Tácio, Luan, Marcos André, Dr. Marcelo, Rayan, Rian, José Afonso (Galego) Ramilly, Ruth Emilly. — Que estiveram presentes em diversas etapas da minha vida. A Dona Nininha, dona Simone, dona Bete, mulheres as quais desempenharam um importante papel em minha vida!

Aos amigos que foram base essencial nesta trajetória: Pedro Neto, Gabriel Costa, Lucas Matos, Pedro Vinícius, Ysabelle Rhayane e Emilly Santos, Maria Eduarda (Duda). A todos do Agropinga, em especial Samuel, Jackson, Davyd Wesley, Renysson Doria, Pedroso, Diego, Jardel Silva, Geninho, João Doidão, Kaic Vieira, Lucas Pinheiro, Leandro Silva, Saulo Silveira, Leonardo Stephanio, Vini, Juan Ribeiro, Fernandes, Dudu, Adriel, Cristóvão e tantos outros que fazem parte desse grupo.

Aos amigos de caminhada que enfrentaram comigo os desafios da graduação: Felipe Mota, Ryan Eduardo, Vinícius Santana, Gustavo Ryan, Felipe Santana e José Francisco, Gabriel Rosário, Henrique, Thiago, Domingos Neto, Miguel, Khawê, Marcos André que hoje considero irmãos que a vida me presenteou.

Às minhas Soenne, Amanda, Larissa, Júlia, Gabi, Lorena Hellen, Priscila, Jamille, por todo carinho e amizade durante esses anos.

A todos da Oca House, espaço de convivência e aprendizado, em especial a Leandro Soares, Irlan Santos, Maurício Pereira e Lucas Fontes.

Ao amigo Alexandre, pelas conversas e risadas na portaria, que sempre me lembravam dos bons momentos do interior.

À equipe do Campus Rural, pelo acolhimento. Aos amigos Raul, Agnaldo, Rodolfo, Lucas Vinícios, Felipe Andrade e Isac, pela amizade sincera.

Por fim, à minha companheira Maria Eduarda, que foi mais do que uma incentivadora nesta caminhada, foi presença, força e luz em todos os momentos. Agradeço por cada gesto de carinho, por cada palavra de incentivo e pela paciência nos dias mais difíceis. Estar ao seu lado

tornou a caminhada mais leve. Estendo minha gratidão à sua família — Eliene, Genivaldo e Júnior, Hellem Clicia e Esther — pelo acolhimento e incentivo.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Tecnologia de aplicação	12
2.2	Plantas daninhas, herbicidas e os impactos causados na agricultura.....	12
2.3	Uso de boro na agricultura.....	15
2.4	Misturas de caldas com herbicidas	16
3	METODOLOGIA: MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Área experimental, materiais e delineamento.....	19
3.2	Aplicação dos tratamentos, avaliação e análise estatística	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Resultados das análises de pH, Formação de espuma, Formação de precipitados 24	
4.2	Resultados da eficiência de controle de daninhas e das plantas daninhas remanescentes 29	
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

Lista de figuras

Figura 1: Relação delta T com umidade e temperatura.	21
Figura 2: Delineamento do experimento em campo.	23

Lista de tabela

Tabela 1: Produtos utilizados, nomes comerciais e suas respectivas dosagens. T. – Terbutilazina	19
Tabela 2: Condições climáticas, (Clima tempo).....	20
Tabela 3: Escala descritiva de avaliação da eficiência de herbicidas.....	22
Tabela 4: Resultados das análises de pH das caldas de pulverização com diferentes fontes de boro e herbicidas.....	24
Tabela 5: Resultados descritivos sobre a formação de espuma nas caldas.	26
Tabela 6: Resultados descritivos sobre a formação de precipitados nas caldas utilizadas.	27
Tabela 7: Resultado do controle de plantas daninhas aos 7 DAA (dias após aplicação), conforme metodologia ALAM (1974).....	29
Tabela 8: Resultado do controle de plantas daninhas aos 14 DAA (dias após aplicação conforme metodologia ALAM (1974).....	30
Tabela 9: Resultados da avaliação da eficiência de controle das plantas daninhas aos 14 dias após aplicação (DAA) pelo teste de Tukey a 5%.	31
Tabela 10: Resultados de plantas daninhas remanescente em maior evidencia.	32
Tabela 11: Resultado da análise do pH* Nota 14 DAA, pelo método de correlação de Pearson.	33

Resumo

Avaliou-se a compatibilidade físico-química de diferentes fontes de boro adicionadas a caldas de herbicidas e seus efeitos na eficácia de controle de plantas daninhas. O experimento de campo foi conduzido em DBC fatorial 4×4, combinando-se quatro fontes de boro (octaborato plus, octaborato, ácido bórico e controle) com quatro sais de glifosato (potássio, amônio, isopropilamina e di-amônio), todos com adição da terbutilazina. Avaliaram-se pH da calda, formação de espuma e precipitados, além da eficiência de controle das plantas daninhas aos 7 e 14 dias após a aplicação (DAA) (escala ALAM). Os dados foram submetidos à ANOVA/teste de Tukey e correlação de Pearson. As caldas com octaborato(s) mantiveram pH moderado ($\approx 5,2-6,5$); houve espuma, sobretudo com o sal de di-amônio nos octaboratos, e precipitação principalmente em combinações com sal de amônio e com ácido bórico+di-amônio. Aos 7 DAA não houve diferenças significativas entre as notas atribuídas ao nível de controle de plantas daninhas; aos 14 DAA o fator herbicida foi significativo ($p < 0,01$), com melhor desempenho dos sais de potássio (6,12) e amônio (5,87) em relação a isopropilamina (5,18) e di-amônio (4,50). Observou-se correlação positiva entre pH da calda e notas atribuídas ao nível de controle de plantas daninhas aos 14 DAA ($r \approx 0,765$). Conclui-se que octaborato e octaborato plus são compatíveis e, em associação ao sal de potássio, conciliam estabilidade de calda e maior eficiência; recomenda-se trabalhar com pH $\approx 5,5-6,5$ em caldas de glifosato+boro com adição da terbutilazina, ao passo que o sal de di-amônio é menos indicado nas condições do estudo.

Palavras chaves: Tecnologia de aplicação, Plantas daninhas, Glifosato, Compatibilidade de calda

1 INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas representa um dos maiores desafios para a produção agrícola moderna, sobretudo em culturas como o milho, em que a competição por água, luz e nutrientes pode comprometer significativamente o rendimento. A dessecação pós-plantio com herbicidas de amplo espectro, como o glifosato, tornou-se prática consolidada no Brasil pela eficiência e pelo custo relativamente baixo. No entanto, a eficácia dessas aplicações é frequentemente comprometida por problemas de compatibilidade de caldas, especialmente quando se adicionam outros insumos à mistura.

Entre os produtos mais utilizados nessas misturas estão as fontes de boro, micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, cuja deficiência é recorrente em solos tropicais. O boro é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, desempenhando papéis cruciais como na formação das paredes celulares, no transporte de açúcares e na divisão celular. Apesar de sua importância fisiológica, a adição de boro às caldas pode alterar parâmetros físico-químicos, como pH, estabilidade e solubilidade, gerando espuma ou precipitados que reduzem a eficácia dos herbicidas e comprometem a qualidade da aplicação. Esse gargalo técnico tem levado à busca por alternativas que conciliem o fornecimento de micronutrientes com o controle químico eficiente de plantas daninhas, sem prejudicar o desempenho das caldas.

Sob essa perspectiva, apesar da adição do boro ser bastante utilizada na dessecação em muitas regiões do Brasil, a compatibilidade físico-química de diferentes fontes desse elemento químico com as caldas de herbicidas precisa ser mais investigada. Algumas fontes de boro possuem propriedades que podem modificar características fundamentais das caldas, como o pH, a solubilidade e a estabilidade da mistura, comprometendo a eficácia dos herbicidas e, consequentemente, a produtividade da cultura. Há, portanto, necessidade de avaliar como diferentes fontes de boro influenciam as propriedades físico-químicas das caldas de herbicidas, além de examinar a eficiência agrônômica dessas misturas.

Adicionalmente, o herbicida glifosato, mais utilizado, possui diferentes formulações sal de potássio, sal de amônio, sal de isopropilamina e sal de di-amônio que influenciam na qualidade e eficiência das caldas. No manejo de milho utiliza-se a terbutilazina em alternativa a atrazina e nessa operação é comum a adição de outros produtos para redução de custos. No

entanto, também existe a necessidade de caracterizar a interação entre os sais de glifosatos e das fontes de boro na formação dessas caldas.

Nesse contexto, com a proposta de orientar decisões de manejo mais seguras e eficazes, como o uso do sal de glifosato que apresente melhor controle de daninhas associado a fonte de boro, este trabalho tem por objetivo avaliar qualitativamente a compatibilidade físico-química de diferentes fontes de boro em caldas de herbicidas e avaliar a eficiência no controle de plantas invasoras dessas fontes quando associadas às referidas caldas, de modo a contribuir com recomendações técnicas que conciliem desempenho no controle de plantas daninhas e na eficiência de misturas de caldas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologia de aplicação

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas é o conjunto de técnicas e equipamentos usados para aplicar produtos fitossanitários de forma eficiente, econômica e segura, visando o controle de pragas, doenças e plantas daninhas nas culturas agrícolas (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

Assim, a tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários é fundamental para garantir a eficácia dos defensivos agrícolas e minimizar impactos ambientais. A escolha adequada de equipamentos, de bicos de pulverização e da taxa de aplicação são determinantes para o sucesso do controle de pragas e de plantas daninhas, além de promoverem a segurança do aplicador e a sustentabilidade do processo agrícola. Ademais, a qualidade da calda e as condições climáticas devem ser levadas em conta para otimizar a aplicação e reduzir riscos de contaminação do meio ambiente (MATUO, 1998).

O pH da água utilizada na calda de pulverização é um dos fatores mais determinantes da eficácia dos herbicidas, pois influencia a estabilidade química, a solubilidade e a absorção foliar dos princípios ativos. Herbicidas de caráter ácido fraco, como glyphosate, glufosinate, bentazon, clethodim e 2,4-D, apresentam melhor desempenho em soluções levemente ácidas, enquanto os herbicidas do grupo das sulfonilureias e alguns inibidores de HPPD são mais eficazes em caldas com pH acima de 7, devido à maior solubilidade nessas condições. Por outro lado, moléculas como a flumioxazina são altamente instáveis em meios alcalinos, degradando rapidamente quando o pH ultrapassa 7,8, o que pode comprometer totalmente sua ação no campo. Dessa forma, monitorar e ajustar o pH da água antes do preparo das caldas é uma prática essencial da tecnologia de aplicação, garantindo maior eficiência no controle de plantas daninhas e reduzindo riscos de falhas operacionais (KANSAS STATE UNIVERSITY, 2025).

2.2 Plantas daninhas, herbicidas e os impactos causados na agricultura

São consideradas plantas daninhas planta que causa perdas econômicas ou danos ecológicos, cria problemas de saúde humana/animal ou é indesejável onde cresce, (WSSA, 2016). Plantas daninhas competem intensamente por recursos essenciais, como água, luz e nutrientes, o que reduz a produtividade agrícola e aumenta os custos de produção (Nery, 2023). Elas também dificultam a colheita e servem de hospedeiras para pragas e doenças. O uso de

herbicidas, ou seja, agente químico ou física capaz de causar a morte ou injúria a plantas indesejáveis.

O manejo integrado de plantas daninhas combina cinco frentes: preventivo (impedir a entrada e a produção de sementes por limpeza de máquinas, sementes certificadas e controle antecipado), cultural (rotação de culturas, coberturas vegetais/palhada, adensamento e cultivares competitivas com solo bem corrigido), mecânico e físico (capina, roçada, cultivo, solarização e, quando aplicável, inundação), biológico (uso de inimigos naturais e bioherbicidas específicos) e químico (herbicidas com rotação de mecanismos de ação e aplicação no estágio adequado). Integrar essas táticas ao calendário da safra, com monitoramento e ajustes contínuos, eleva a eficácia e reduz a evolução de resistência (OLIVEIRA; KARAM; MATRÂNGOLO, 2015).

Dentre alguns mecanismos de ação dos herbicidas tem-se os inibidores da PPO (PROTOX), desviadores de elétrons no PSI, inibidor da glutamina sintetase, inibidor da EPSPS, inibidores do fotossistema II (PSII), inibidores da ACCase e inibidores da ALS, sendo eficaz no combate a monocotiledôneas e eudicotiledôneas (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008). O glifosato (N-(fosfonometil)glicina) é um herbicida não seletivo e sistêmico, aplicado sobretudo em pós-emergência, inibidor da EPSPS; controla gramíneas e folhas largas por translocação via floema até tecidos dreno. (DUKE; POWLES, 2008; HRAC, 2024).

Vale destacar que, o uso excessivo de produtos químicos tem levado à busca por estratégias de controle integradas. Essas estratégias combinam diferentes métodos como rotação de ingredientes ativos com diferentes mecanismos de ação, visando a eficácia no controle das plantas daninhas, além de promover a sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar, minimizando os impactos ambientais (MARTINS E JUNIOR, 2023).

A resistência de plantas daninhas aos herbicidas ocorre por mecanismos como a modificação do sítio de ação, o aumento da expressão enzimática, a metabolização do herbicida e seu armazenamento nas células. A aplicação contínua de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação gerou pressão de seleção, resultando em um aumento na frequência de biótipos resistentes e na consequente redução da eficácia dos tratamentos. A resistência pode ser classificada como simples, cruzada ou múltipla, dependendo da resistência a diferentes herbicidas. Para mitigar o problema, são recomendadas estratégias de manejo, como a rotação

de herbicidas e a adoção de práticas culturais adequadas (CARVALHO, 2013). Resistência simples ocorre quando um biótipo apresenta resistência relacionada a apenas um mecanismo de ação, resistência ocorre cruzada quando um mesmo mecanismo de resistência (por exemplo, uma mutação no sítio-alvo ou aumento de metabolismo) confere resistência a dois ou mais herbicidas de diferentes grupos químicos, porém que compartilham o mesmo mecanismo de ação, já a resistência múltipla é quando coexistem dois ou mais mecanismos de resistência distintos no biótipo, resultando em resistência a herbicidas de mecanismos de ação diferentes (Correia; Streck, 2023).

Desse modo, os herbicidas mais utilizados no Brasil, como glifosato e atrazina desempenham papéis importantes no controle de plantas daninhas. O glifosato é um herbicida de amplo espectro e não seletivo, desenvolvido pela Monsanto (2005). O glifosato enfrenta problemas de resistência, a atrazina é eficaz contra plantas de folhas largas, com melhor desempenho em pré-emergência e também em pós-emergência inicial (daninhas jovens), corda-de-viola *Ipomoea* spp., picão-preto *Bidens pilosa*, amendoim-bravo *Euphorbia heterophylla* e caruru, *Amaranthus hybridus/A. viridis* (PIASECKI et al., 2020).

Importa salientar que, a eficácia do glifosato no controle de plantas daninhas pode ser significativamente aprimorada pela adição de adjuvantes na mistura de calda e que esses adjuvantes melhoram a absorção do herbicida pelas plantas, aumentando sua adesão e translocação (TRAVLOS, CHEIMONA E BILALIS, 2017). A escolha apropriada de adjuvantes, quando combinada com diferentes formulações salinas de glifosato, pode potencializar a eficácia do ingrediente ativo, permitindo reduzir a dosagem necessária e tornando o processo de controle mais sustentável e eficaz (TRAVLOS, CHEIMONA E BILALIS, 2017). Adjuvantes são substâncias sem atividade pesticida própria que se incorporam à formulação ou à calda para modificar propriedades físicas/químicas (como molhamento, espalhamento, penetração, pH e controle de deriva) e, assim, otimizar a performance da aplicação e do ingrediente ativo (HAZEN, 2000).

Quando avaliada a interação entre diferentes formulações salinas de glifosato no controle de plantas daninhas, observou-se que o sal isopropilamina apresentam maior eficácia nos intervalos iniciais sem chuva (1 a 2 horas), alcançando um controle superior a 90%. Para intervalos mais longos, a formulação com sal amônio se destacam, proporcionando um controle visual mais eficiente em comparação aos outros sais. Em relação à redução da matéria seca das

plantas, o sal isopropilamina também tende a obter melhores resultados. No entanto, a formulação com sal amônio apresentam uma redução menor, possivelmente devido à necrose nos tecidos vegetais, o que afeta a translocação do herbicida (WERLANG et al., 2010).

Cabe mencionar que, as formulações Roundup Original®, Roundup Ultra®, Roundup WG® e Scout® demonstram maior eficiência no controle de plantas daninhas, quando usadas doses de 1.440 g/ha-1 de glifosato. O controle eficiente dessas formulações, mesmo quando aplicadas em plantas daninhas tidas como tolerantes ao glifosato, como é observado em aplicações para controle de *Sida sp.*, *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea sp.* e *Euphorbia heterophylla*, reflete a segurança do produtor ao escolher o produto. Por outro lado, o Glifosato Nortox® não apresenta controle eficaz das plantas daninhas quando utilizado em condições adversas de estresse hídrico e altas temperaturas no momento da aplicação (TUFFI SANTOS et al., 2023). Atualmente, existem mais de 50 espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas, sendo que 11 delas são especificamente resistentes ao glifosato, com destaque para o aumento da resistência em cultivos de grãos como soja e milho. Esse fenômeno ocorre devido à aplicação contínua e frequente do glifosato, sem a rotação adequada de herbicidas, o que contribui para a pressão seletiva sobre as plantas daninhas (SILVA; BATISTA; SILVA, 2023).

Para tanto a terbutilazina mostra-se eficaz no controle de plantas daninhas em solos ácidos, sendo mais estável e apresentando menor mobilidade do que a atrazina, apesar de ambas serem **triazinas inibidoras do Fotossistema II**, o risco de contaminação das águas subterrâneas é reduzido ao utilizar a terbutilazina devido a sua solubilidade em água a 20°C ser baixa, o que tende com que lixivie menos. Além disso, o herbicida tem bom desempenho, principalmente contra *Eleusine indica* e *Spermacoce verticillata*, em comparação com a atrazina, que, apesar de ser eficaz, pode ser mais propensa à lixiviação em solos menos ácidos (SILVA et al., 2025).

2.3 Uso de boro na agricultura

O boro é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando processos como a formação de células vegetais e o transporte de açúcares. Sua deficiência pode prejudicar a produtividade das culturas, mas a aplicação adequada desse elemento químico melhora a eficiência de uso de nutrientes, qualidade e rendimento das plantas (BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020). No entanto, Brdar-Jokanović (2020),

adverte que o boro quando aplicado em concentrações elevadas, pode ser tóxico, causando fitotoxicidade, por isso a aplicação via pulverização é destacada como o método mais eficaz para corrigir a deficiência de boro, uma vez que proporciona absorção direta e rápida distribuição do nutriente nas plantas.

Logo, a adição de boro em misturas de calda de herbicidas é uma estratégia que visa melhorar os níveis de boro presente no solo afim de aumentar a produtividade e o desempenho das culturas, aplicado pós emergência das culturas juntamente com herbicidas visando aumentar a absorção e a translocação do herbicida nas plantas, sem prejudicar o desenvolvimento das culturas, o que torna o uso de boro uma estratégia vital para aumentar a produtividade e para garantir o bom crescimento das plantas (SILVA et al., 2002). Ainda segundo eles, o boro desempenha um papel crucial na formação e na estabilidade das paredes celulares, na translocação de açúcares, e no desenvolvimento radicular, portanto a presença dele é fundamental para a integração das células vegetais e a distribuição eficiente dos nutrientes nas plantas (SILVA et al., 2002).

2.4 Misturas de caldas com herbicidas

A mistura de agrotóxicos na calda de pulverização, embora amplamente utilizada, pode ocasionar efeitos negativos na eficácia do controle de plantas daninhas e pragas devido às interações físico-químicas entre os produtos (RAKES et al., 2015).

No entanto, é essencial avaliar a compatibilidade das misturas para evitar perdas de atividade e garantir a eficiência das aplicações. Essas interações físico-químicas adversas podem levar a perdas de atividade e reduzir a eficiência de aplicação, sendo essenciais as avaliações prévias da compatibilidade para garantir o sucesso no manejo integrado de pragas (PESSOA et al., (2024).

Para tanto, se faz necessário a realização da mistura dos produtos seguindo as normativas e técnicas de profissionais habilitados, segundo a instrução normativa (IN) Nº40, 11 de outubro de 2018 do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento – MAPA, diz que:

“Art. 2º A receita, específica para cada cultura ou problema, deverá conter, complementarmente ao que determina o art. 66 do Decreto 4.074 de 04 de janeiro de 2002:

I - Nome do(s) produto(s) comercial(ais) que deverá(ão) ser utilizado(s) e de eventual(ais) produto(s) equivalente(s) e informações acerca de sua incompatibilidade quando for o caso;

II - Cultura agrícola, áreas em que serão aplicados os agrotóxicos e afins, advertências específicas quanto ao intervalo de segurança e para a colheita dos produtos agrícolas.

§1º As informações constantes em rótulo e bula dos agrotóxicos e afins registrados relativas à mistura em tanque, quando existentes, são de caráter obrigatório, devendo constar na receita agronômica.

§2º Informações sobre incompatibilidade dos agrotóxicos e afins deverão ser dispostas em campo específico da receita, considerando o contexto da recomendação e advertências específicas para a aplicação.

Art. 3º “É de competência e responsabilidade do Engenheiro Agrônomo a interpretação das recomendações oficiais, visando a elaboração da receita agronômica em consonância com as boas práticas agrícolas e com as informações científicas disponíveis”.

A falta de supervisão profissional no uso de misturas de calda de produtos fitossanitários pode resultar em riscos ambientais e à saúde humana, devido à falta de informações detalhadas sobre os componentes e suas interações. A mistura inadequada de ingredientes ativos pode gerar efeitos controversos ao desejado, como contaminação do meio ambiente e aumento dos riscos de resistência, além de prejudicar a eficácia dos produtos. A ausência de uma avaliação exata das misturas pode levar à aplicação indevida, com exposição excessiva a substâncias tóxicas e dificuldade em avaliar os impactos ambientais (GALERT E HASSOLD, 2021).

Outro fator como ajustar o pH das caldas de pulverização é crucial para evitar problemas de incompatibilidade, como floculação e precipitação, que podem comprometer a eficácia dos tratamentos. O ácido bórico foi destacado como um agente eficaz na redução do pH, contribuindo para a melhoria da homogeneidade e estabilidade das misturas (SOUZA et al., 1991).

Portanto, a correta aplicação de produtos fitossanitários depende de diversos fatores, como a escolha adequada do tipo de defensivo, o uso do equipamento correto e o momento oportuno para a aplicação, sendo fundamental para reduzir o risco de contaminação ambiental e garantir a segurança tanto do aplicador quanto do meio ambiente (VILELA, 2021).

3 METODOLOGIA: MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental, materiais e delineamento

O estudo foi conduzido no Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em São Cristóvão - SE, em área com infestação natural de plantas daninhas. Todas as aplicações e avaliações ocorreram em uma única área, sob manejo uniforme. Adotou-se delineamento em blocos casualizados (DBC), com 4 blocos e 16 tratamentos, totalizando 64 unidades experimentais com a parcela medindo 2 m² de área.

O delineamento experimental foi um o fatorial 4x4 em blocos casualizados com a combinação de três fontes de boro e um controle (Octaborato Plus, Octaborato, Ácido bórico e Controle) e quatro sais de glifosato (sal de potássio, sal de amônio, sal de isopropilamina e sal de di-amônio) com quatro repetições. Em todas as caldas foi incluída a terbutilazina (Click) como herbicida com efeito residual de aproximadamente 50 dias. As doses aplicadas seguiram as recomendações de bula, em conformidade com o uso regional: fontes de boro a 2,5 kg ha⁻¹, sais de glifosato conforme dose máxima recomendada por sal e terbutilazina a 3,5 L p.c. ha⁻¹. Utilizou-se adjuvante Admix neutrum a 50 mL/100 L⁻¹ de calda, o Admix neutrum apresenta características com efeitos espelhantes, adesivos e umectantes.

Para padronização e transparência, as doses passaram a ser apresentadas com unidades explícitas (kg ha⁻¹ para boro; L p.c. ha⁻¹ para glifosato e terbutilazina), e as combinações foram registradas em planilha (tratamento, parcela, bloco e data).

Tabela 1: Produtos utilizados, nomes comerciais e suas respectivas dosagens. T. – Terbutilazina

TRATAMENTOS			
Fontes de boro	Herbicidas	Produtos comerciais (p.c.)	Doses (p.c. L/Kgha-1)
Octaborato Plus	sal de potássio + T.	Xeque-Mate HT + Click	2,5+ 4,0 + 3,5
Octaborato Plus	sal de amônio + T.	Original Mais WG + Click	2,5+ 2,5+ 3,5
Octaborato Plus	sal de isopropalamina + T.	IPA 480 + Click	2,5+ 5,0 + 3,5
Octaborato Plus	sal de di-amônio + T.	Original Mais SL + Click	2,5+ 4,5 + 3,5
Octaborato	sal de potássio + T.	Xeque-Mate HT + Click	2,5+ 4,0 + 3,5
Octaborato	sal de amônio + T.	Original Mais WG + Click	2,5+ 2,5+ 3,5
Octaborato	sal de isopropalamina + T.	IPA 480 + Click	2,5+ 5,0 + 3,5
Octaborato	sal de di-amônio + T.	Original Mais SL + Click	2,5+ 4,5 + 3,5
Ácido bórico	sal de potássio + T.	Xeque-Mate HT + Click	2,5+ 4,0 + 3,5
Ácido bórico	sal de amônio + T.	Original Mais WG + Click	2,5+ 2,5+ 3,5
Ácido bórico	sal de isopropalamina + T.	IPA 480 + Click	2,5+ 5,0 + 3,5

Ácido bórico	sal de di-amônio + T.	Original Mais SL + Click	2,5+ 4,5 + 3,5
Controle	sal de potássio + T.	Xeque-Mate HT + Click	2,5+ 4,0 + 3,5
Controle	sal de amônio + T.	Original Mais WG + Click	2,5+ 2,5+ 3,5
Controle	sal de isopropalamina + T.	IPA 480 + Click	2,5+ 5,0 + 3,5
Controle	sal de di-amônio + T.	Original Mais SL + Click	2,5+ 4,5 + 3,5

T. – Terbutilazina

Fonte: autor, 2025.

A água utilizada (Campus Rural) apresentou pH inicial de 5,7. Durante o preparo das caldas, foram mensuradas e registradas o pH, a formação de precipitados e formação de espuma.

O preparo seguiu ordem padronizada em tanque limpo: (i) enchimento até ~60% do volume; (ii) herbicidas na sequência recomendada de formulação (WG → SC/SL); (iii) adjuvante; (iv) fonte de boro; (v) completar volume com água, sob agitação. O pH foi aferido com pH-metro portátil modelo PHBasic, com calibração prévia em soluções-tampão pH 4,0 e 7,0.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de pressão constante, bico leque 110.02, a 50 cm do alvo, pressão constante e taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹, previamente aferidas por prova de vazão. Antes de cada aplicação, promoveu-se recirculação/agitador por 1 minuto para homogeneização da calda.

O equipamento foi higienizado entre tratamentos com enxágue, seguido de solução de limpeza detergente neutro e novo enxágue, para evitar contaminação cruzada, especialmente relevante ao glifosato.

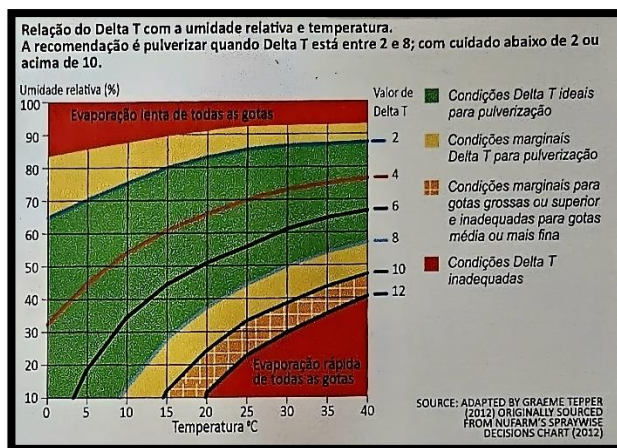
As condições climáticas foram monitoradas no momento da pulverização como observa-se na tabela. As aplicações das caldas decorreram respeitando as condições climáticas locais no momento da pulverização, com registro da temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, dentro das condições de delta T ideal, logo abaixo na figura 1, é possível observar as condições de aplicação de acordo com as condições climáticas da tabela 2.

Tabela 2: Condições climáticas, (Clima tempo).

Condições Climáticas 16/07/2025.	
Temperatura:	24°C
Umidade relativa:	75%

Fonte: autor, 2025.

Figura 1: Relação delta T com umidade e temperatura.



Fonte: Adaptado por Graeme Tepper (2012).

3.2 Aplicação dos tratamentos, avaliação e análise estatística

A compatibilidade foi avaliada de forma padronizada e com escalas objetivas:

- pH da calda: medido imediatamente após preparo.
- Espuma: observada 1 min após a mistura da calda, identificação visual, em que registrou-se S/N (S=Sim, N= Não) formou espuma.
- Precipitados: inspeção visual no fim do preparo da calda, registrado de maneira imediata na tabela de controle com as siglas S/N (S=Sim, N=Não) ocorreu formação de precipitado.
- Todas as observações foram fotografadas com distância e iluminação padronizadas e armazenadas com identificação de tratamento

A eficiência de controle de plantas daninhas foi avaliada aos 7 e 14 dias após a aplicação (DAA). Utilizou-se a escala ALAM (1974), convertida em notas de 1 a 7 conforme o percentual de controle. Para reduzir viés, o mesmo avaliador treinado avaliou todas as parcelas em cada data, sempre no mesmo horário do dia.

Além das notas ALAM, registrou-se cobertura de daninhas (%) por parcela de 2 m² em toda área útil da parcela, com estimativa visual padronizada e foto-registro.

A ordem de avaliação foi randomizada por bloco para evitar efeitos de fadiga/iluminação, e o protocolo de leitura (distância do observador, ângulo e tempo por parcela) foi padronizado.

O tamanho de parcela, número de blocos ($n=4$) e duas datas de avaliação foram mantidos por atenderem à logística de campo; porém, adotou-se registro de eventos anormais (chuva pós-aplicação, trânsito na parcela) em ficha de ocorrência. Onde foi registrado chuva leve após a aplicação e moderada durante toda a noite após a aplicação.

Como observa-se na tabela 3, as notas de controle com base na metodologia de ALAM, e o pH foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em delineamento em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 4×4 (quatro fontes de boro $\times$ quatro sais de glifosato), considerando blocos como efeito aleatório e fatores como efeitos fixos. Verificaram-se os pressupostos da ANOVA (normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias). Quando aplicáveis, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) e a correlação pelo método de Pearson. As análises foram realizadas no software SISVAR (FERREIRA, 2011).

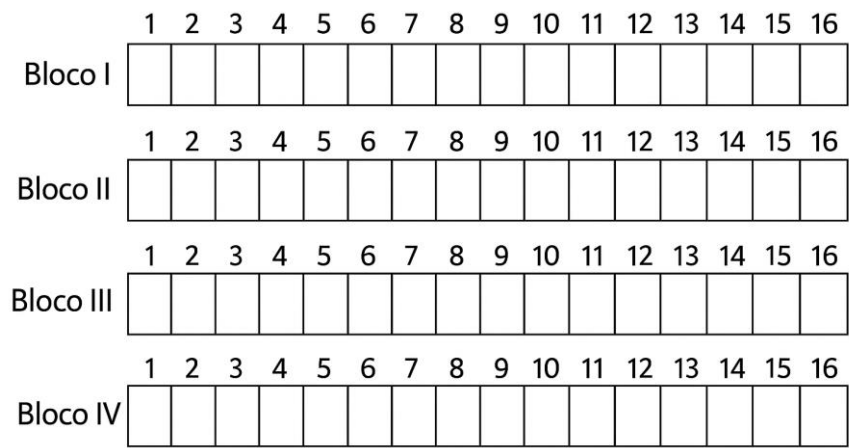
Tabela 3: Escala descritiva de avaliação da eficiência de herbicidas.

Nota	Faixa de controle (%)	Descrição da Eficiência
1	0 – 10%	Sem efeito. Plantas vigorosas, sem sintomas.
2	11 – 30%	Baixa eficiência. Leve clorose, recuperação provável.
3	31 – 50%	Moderada. Sintomas visíveis, mas com chances de sobrevivência.
4	51 – 70%	Boa. Dano evidente, crescimento comprometido, parte das plantas sobrevivendo.
5	71 – 85%	Muito boa. A maioria das plantas severamente afetada ou morta.
6	86 – 95%	Excelente. Quase total eliminação das plantas daninhas.
7	95 – 100%	Controle total. Nenhuma planta viva.

Fonte: Adaptado de ALAM (1974).

O delineamento ocorreu como demonstrado na (figura 2), portanto abaixo:

Figura 2: Delineamento do experimento em campo.



Fonte: autor, 2025.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das análises de pH, Formação de espuma, Formação de precipitados

Observa-se na Tabela 4 variações significativas do pH dos tratamentos, bem como os efeitos das diferentes fontes de boro e suas interações com os sais de glifosato. O pH foi impactado de maneira distinta pelos tratamentos aplicados, conforme se pode observar na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados das análises de pH das caldas de pulverização com diferentes fontes de boro e herbicidas.

Resultados das análises de pH				
Tratamentos	sal de potássio	sal de amônio	sal de isopropalamina	sal de di-amônio
Controle	5,0bC	3,8cD	5,8aB	6,6aA
Octaborato plus	5,3aC	5,1aD	5,8aB	6,5bA
Octaborato	5,2bC	4,9bD	5,7bB	6,3cA
Ácido bórico	5,0bC	3,8cD	5,7bB	6,5bA
Teste F				
Boro(B)			ns	
Herbicidas(H)			***	
B*H			ns	
CV(%)	0			

CV – Coeficiente de variação, *** - significativo a 0,01% pelo teste f. Letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si e letras maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Fonte: autor, 2025.

Como observado na tabela 4, o coeficiente de variação do pH foi 0, o coeficiente de variação zerado ocorre porque não há variação residual: em cada célula (tratamento de boro × herbicida), as quatro réplicas têm exatamente o mesmo pH, o implica em não variação do pH dentro de cada repetição de fonte de boro com o determinado sal de glifosato.

O pH da calda de herbicida influencia diretamente a disponibilidade do herbicida para as plantas. O glifosato, principal composto ativo nos herbicidas utilizados, é eficaz em pH moderadamente ácido na faixa entre pH 5,5 a 6,5 (Cunha et al. 2020).

Dentro do grupo do controle, o tratamento com sal de di-amônio apresentou o pH mais alto (6,6), enquanto o sal de amônio resultou no pH mais baixo (3,8) obtendo melhores resultados quanto a sua eficiência, diferentemente do sal de di-amônio, mesmo com um pH próximo da neutralidade, não performou no controle das plantas daninhas.

O pH mais alto pode reduzir a eficiência do glifosato, pois pH muito elevado pode diminuir a solubilidade do herbicida, prejudicando sua absorção pelas plantas (García et al., 2017). Por outro lado, pH muito baixo pode afetar negativamente a atividade de alguns herbicidas, tornando-os mais solúveis, mas potencialmente menos eficazes na absorção pela planta. No tratamento com octabora plus, o pH variou de 5,3 a 6,5, o que implica em diferenças significativas, entretanto, o sal de di-amônio apresentou os maiores valores de pH, ou seja, o sal do glifosato é um fator decisivo quanto a faixa de pH. Apesar do octaborato plus apresentar um efeito moderador no pH, favorecendo uma calda com pH próximo da neutralidade. O pH moderado observado neste tratamento é ideal para o controle de plantas daninhas, pois favorece a absorção do glifosato pelas plantas (Norris et al., 2016). O uso do octaborato plus demonstrou ser eficaz na manutenção de um pH que otimiza a eficácia da calda, equilibrando a solubilidade do herbicida sem comprometer sua ação.

Da mesma forma no tratamento com octaborato, o pH variou de 5,2 a 6,3, com o sal de di-amônio novamente apresentando o pH mais alto, o que revelou uma diferença estatística entre ambos, resultando em performances mais eficientes quando utilizados sal de potássio e/ou sal de amônio. O octaborato também favoreceu um pH moderado, tornando a calda de herbicida mais adequada para a absorção do glifosato. O octaborato apresentou um comportamento semelhante ao octaborato plus, mantendo a calda em uma faixa de pH que não prejudica a eficácia do herbicida, mas com uma leve diferença nos resultados finais, especialmente nos tratamentos com o sal de amônio (Schneider et al., 2019).

Por outro lado, o tratamento com ácido bórico resultou em pH entre 3,8 e 6,5, havendo diferença significativa de acordo com o sal de glifosato utilizado. O pH mais baixo, observado com o sal de amônio, pode ser benéfico para a solubilidade do glifosato, pois um pH mais ácido pode aumentar a solubilidade do herbicida (Schneider et al., 2019). No entanto, quanto a sua eficiência, os sais que melhor performaram no controle de daninhas com o uso do ácido bórico foi o sal de di-amônio, apresentando um pH de 6,5.

Tabela 5: Resultados descritivos sobre a formação de espuma nas caldas.

Tratamento Boro	Tratamento herbicida	Espuma
Octaborato plus	sal de potássio	Não
Octaborato plus	sal de amônio	Não
Octaborato plus	sal de isopropalamina	Não
Octaborato plus	sal de di-amônio	Sim
Octaborato	sal de potássio	Não
Octaborato	sal de amônio	Não
Octaborato	sal de isopropalamina	Sim
Octaborato	sal de di-amônio	Sim
Ácido bórico	sal de potássio	Não
Ácido bórico	sal de amônio	Não
Ácido bórico	sal de isopropalamina	Não
Ácido bórico	sal de di-amônio	Não
Controle	sal de potássio	Não
Controle	sal de amônio	Não
Controle	sal de isopropalamina	Não
Controle	sal de di-amônio	Não

Fonte: autor, 2025.

Como observador na (tabela 5), percebe-se que as misturas de calda em relação à formação de espuma apresentaram comportamentos distintos, dependendo da fonte de boro e do tipo de sal utilizado. Nos tratamentos com Octaborato Plus, observou-se que as combinações com sal de potássio, sal de amônio e sal de isopropalamina não resultaram em formação de espuma. Esse comportamento sugere que essas combinações não promovem interações químicas significativas que alterem a tensão superficial da calda, mantendo sua estabilidade físico-química (Brdar-Jokanović, 2020). A exceção foi observada no tratamento com sal de di-amônio, que apresentou formação de espuma, indicando que a presença do íon amônio pode modificar a estrutura da solução, aumentando a capacidade de retenção de bolhas de ar e favorecendo a espuma, conforme relatado em estudos sobre adjuvantes e interações com sais catiônicos em caldas de herbicidas (Alves et al., 2004).

Nos tratamentos com Octaborato, o padrão observado foi semelhante ao do Octaborato Plus: os sais de potássio, amônio e isopropalamina não geraram espuma, enquanto o sal de di-amônio novamente promoveu a formação de espuma. Isso reforça a hipótese de que a combinação de boro com cátions amônio tem maior potencial de alterar propriedades físico-

químicas da solução, uma característica relevante para a uniformidade e aplicação eficiente do herbicida (Brdar-Jokanović, 2020).

No caso do ácido bórico, nenhum dos tratamentos resultou em formação de espuma, independentemente do tipo de sal utilizado. Da mesma forma, nos tratamentos de controle, também não foi observada a presença de espuma, indicando que a ausência de interações químicas com o boro torna a solução estável em termos de tensão superficial.

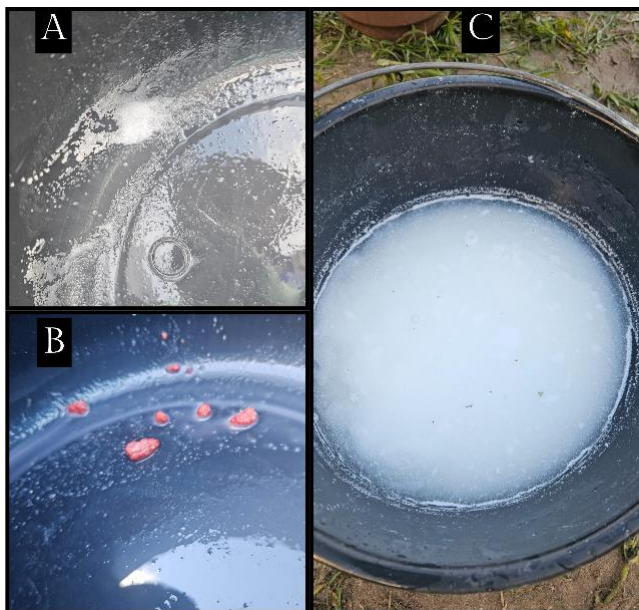
Dando continuidade à avaliação da estabilidade físico-química das caldas, a análise agora se volta para a formação de precipitados, que pode comprometer a homogeneidade da mistura e, conseqüentemente, a eficiência da aplicação. A Tabela 6 apresenta os resultados descritivos da formação de precipitados nas caldas, permitindo comparar os efeitos de diferentes fontes de boro combinadas com os sais de glifosato sobre a estabilidade da solução.

Tabela 6: Resultados descritivos sobre a formação de precipitados nas caldas utilizadas.

Tratamento Boro	Tratamento Herbicida	Precipitado
Octaborato plus	sal de potássio	Não
Octaborato plus	sal de amônio	Sim
Octaborato plus	sal de isopropalamina	Não
Octaborato plus	sal de di-amônio	Não
Octaborato	sal de potássio	Não
Octaborato	sal de amônio	Sim
Octaborato	sal de isopropalamina	Não
Octaborato	sal de di-amônio	Não
Ácido bórico	sal de potássio	Não
Ácido bórico	sal de amônio	Sim
Ácido bórico	sal de isopropalamina	Não
Ácido bórico	sal de di-amônio	Sim
Controle	sal de potássio	Não
Controle	sal de amônio	Não
Controle	sal de isopropalamina	Não
Controle	sal de di-amônio	Não

Fonte: autor, 2025.

Figura 3: Resultado de caldas que apresentaram formação de precipitados e espuma.



Formação de precipitado Ácido bórico + Sal de amônio (A), Formação de precipitado, Octaborato + sal de amônio(B), Formação de espuma e separação de fases Ácido bórico + sal de di-amônio (C).

Fonte: autor, 2025.

Como observado na tabela 6, os tratamentos com Octaborato Plus, observou-se que as combinações com sal de potássio, sal de isopropalamina e sal de di-amônio não geraram precipitado. Porém, foi registrada formação de precipitado no tratamento com sal de amônio como pode-se observar na (figura 3), fenômeno que pode ser explicado pela reação de complexação entre o boro e o íon amônio, resultando na formação de compostos parcialmente insolúveis, o que pode comprometer a homogeneidade da calda (BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020; ALVES et al., 2004).

Nos tratamentos com Octaborato, a formação de precipitado ocorreu apenas no tratamento com sal de amônio (Figura 3), confirmando a tendência do íon amônio a interagir com o boro. Esse comportamento é consistente com o que foi observado em soluções aquosas contendo diferentes fontes de boro, em que a presença de cátions amônio aumenta a probabilidade de precipitação (ALVES et al., 2004).

Nos tratamentos com Ácido Bórico, a formação de precipitado foi observada nos tratamentos com sal de amônio e sal de di-amônio, sugerindo que a natureza química do sal influencia diretamente a estabilidade da solução. Já os sais de potássio e isopropalamina apresentaram menor propensão à formação de precipitados, mantendo a calda mais homogênea (BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020).

Nos tratamentos de controle, não foi observada a formação de precipitado, como esperado, pois, essas soluções não continham boro e, portanto, não apresentavam condições químicas para precipitação envolvendo este nutriente.

4.2 Resultados da eficiência de controle de daninhas e das plantas daninhas remanescentes

O controle de plantas daninhas é essencial para preservar a produtividade, evitando a competição por luz, água e nutrientes, sobretudo período crítico em que a cultura demanda mais nutrientes e menor competição com plantas daninhas Kozlowski (2002). Ao impedir que as daninhas floresçam e produzam sementes, reduzimos o banco de sementes e o custo de manejo nas safras seguintes (Monquero; Christoffoleti, 2005).

Tabela 7: Resultado do controle de plantas daninhas aos 7 DAA (dias após aplicação), conforme metodologia ALAM (1974).

Nota 1 - Primeira avaliação com 7 DAA				
Tratamentos	sal de potássio	sal de amônio	sal de isopropalamina	sal de di-amônio
Controle	2,65	2,25	2,75	2,25
Octaborato plus	2,5	2,25	2,75	2,25
Octaborato	2,5	2,25	2,75	2,25
Ácido bórico	2,6	2,25	2,75	2,25
Teste F				
Boro(B)			ns	
Herbicidas (H)			ns	
B*H			ns	
CV (%):	30,86			

CV: coeficiente de variação, ns – não significativo.

Fonte: autor, 2025.

Na primeira avaliação, realizada com 7 dias após a aplicação (DAA), os resultados de eficiência de controle das plantas daninhas descritos na (tabela 7) mostraram que, no geral, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos de boro (B) e herbicidas (H) em nenhum dos tratamentos isolados ou nas interações B*H. O teste F indicou que os tratamentos com diferentes fontes de boro, incluindo octaborato plus, octaborato e ácido bórico, não resultaram em variações estatisticamente significativas nas notas de avaliação ao analisar os efeitos simples. Além disso, a variação entre os diferentes tipos de sais de glifosato (sal de potássio, sal de amônio, sal de isopropalamina e sal de di-amônio) também não apresentou efeitos significativos no controle das daninhas.

Tabela 8: Resultado do controle de plantas daninhas aos 14 DAA (dias após aplicação conforme metodologia ALAM (1974).

Nota 2 - Segunda avaliação com 14 DAA (dias após aplicação)				
Tratamentos	sal de potássio	sal de amônio	sal de isopropalamina	sal de di-amônio
Controle	5,25	4	6,5	6,25
Octaborato plus	5,25	5,5	6,25	5,5
Octaborato	5,25	3,5	4,5	6,25
Ácido bórico	5	5	6,25	6,5
Teste F				
Boro(B)			ns	
Herbicidas(H)			**	
B*H			ns	
CV (%):	18,51			

CV: coeficiente de variação, ns – não significativo, ** – Médias apresentaram significância a 0,1% pelo teste F.

Fonte: autor, 2025.

Conforme descrito na (tabela 8), a segunda avaliação, realizada aos 14 DAA (dias após a aplicação), os resultados indicam que os herbicidas tiveram efeito significativo sobre o controle das plantas daninhas ($p < 0,01$), enquanto os diferentes tratamentos de boro isoladamente e a interação B*H não apresentaram efeito significativo (ns). As médias das notas de eficiência de controle mostraram variações entre os diferentes sais de glifosato.

Entre os diferentes tratamentos de boro, não houve diferenças significativas, embora o octaborato plus tenha apresentado um desempenho levemente superior em combinação com

alguns herbicidas (notas variando de 5,25 a 6,25), especialmente quando combinado com o sal de potássio e o sal de isopropalamina.

Esses resultados sugerem que, embora o boro isoladamente não tenha afetado significativamente a eficiência de controle das plantas daninhas, a escolha do tipo de sal de glifosato é determinante para o sucesso do manejo. Observa-se também que a combinação de boro com herbicidas não apresentou efeito sinérgico significativo, mas o uso de sais mais eficazes pode otimizar o controle, corroborando estudos anteriores sobre a importância da formulação e compatibilidade das caldas herbicidas (Castro, Brighenti & Oliveira Júnior, 2002; Brighenti & Muller, 2014).

Tabela 9: Resultados da avaliação da eficiência de controle das plantas daninhas aos 14 dias após aplicação (DAA) pelo teste de Tukey a 5%.

Segunda avaliação com 14 DAA (dias após aplicação)	
Tratamentos	Notas de avaliação da eficiência de controle das daninhas
Sal de potássio	6,12a
Sal de amônio	5,87a
Sal de isopropalamina	5,18ab
Sal de di-amônio	4,5b

Fonte: autor, 2025.

Ao observar a (tabela 9) com os resultados da avaliação da eficiência de controle das plantas daninhas aos 14 dias após aplicação (DAA), utilizando o teste de Tukey a 5%, revelou que o sal de potássio com nota 6,12, cerca de 95% de controle e o sal de amônio com nota 5,87, cerca de 85% de controle, apresentaram as melhores notas de controle, sem diferença significativa entre si. Esses tratamentos foram mais eficazes no controle das plantas daninhas. O sal de isopropilamina (5,18) apresentou um desempenho inferior, mas não foi significativamente diferente do sal de di-amônio. Por outro lado, o sal de di-amônio (4,5) foi o menos eficiente, apresentando a menor nota e sendo significativamente inferior aos outros tratamentos. Assim, os sais de potássio e amônio foram os mais eficazes no controle das plantas daninhas após 14 dias da aplicação, enquanto os sais de isopropilamina e di-amônio mostraram menor eficácia.

A média de pH para o sal de amônio foi de (4,40) e para o sal de potássio foi de (5,13), o que reflete que além da fonte de boro que é utilizada, cada sal de glifosato tende a permanecer

ou puxar o nível de pH de acordo com as propriedades e compostos presente em cada produto, o que explica essa diferença entre as medias dos níveis de pH.

Sob esse prisma, destaca-se que, o aumento da eficiência observado na segunda avaliação pode ser atribuído ao tempo maior entre a aplicação do herbicida e a avaliação (14 DAA), permitindo que o herbicida completasse seu ciclo de interferência nos mecanismos de sobrevivência das plantas daninhas. Como observado por Castro, Brighenti e Oliveira Júnior (2002), o boro pode atua na estabilização da calda de herbicida, facilitando a absorção do glifosato pelas plantas daninhas. Contudo nas condições desse estudo não houve efeito sinérgico significativo entre boro e glifosato no controle das plantas daninhas.

Logo, de acordo com os resultados dos diferentes sais de glifosato, é notório que a utilização de sais como o sal de amônio e o sal de potássio são mais eficazes, apresentando melhores resultados. Isso pode estar relacionado à maior solubilidade e estabilidade desses sais em soluções aquosas, o que facilita a solubilidade do herbicida. Ainda assim, mesmo com o desempenho apresentados por esses sais, algumas espécies permaneceram após as aplicações.

Dentre as plantas remanescente que persistiram ao controle dos herbicidas, destacaram-se as citadas na (tabela 10), em suma a maioria delas constam como resistentes ou tolerantes ao glifosato, enquanto outras apresentam tolerância intrínseca ao glifosato, com respostas inconsistentes a aplicações únicas.

Tabela 10: Resultados de plantas daninhas remanescente em maior evidencia.

Nome comum	Nome científico (principal)
Tiririca	<i>Cyperus rotundus</i> L.
Capim-colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>
Capim-marmelada	<i>Urochloa plantaginea</i>
Sida cordata	<i>Sida cordata</i>
Poaia branca	<i>Richardia brasiliensis</i>
Trapoeiraba	<i>Commelina benghalensis</i> L.
Capim amargoso	<i>Digitaria insularis</i> (L.)

Fonte: autor, 2025.

Durante as avaliações, as espécies que mais persistiram, após as aplicações com diferentes sais de glifosato, foram: *Cyperus rotundus*, *Digitaria horizontalis*, *Urochloa plantaginea*, *Sida cordata*, *Richardia brasiliensis*, *Commelina benghalensis* e *Digitaria insularis*. O padrão de remanescência foi consistente entre os sais (potássico, amônio, isopropilamina e di-amônio), sugerindo que a biologia das espécies (estrutura de reserva, anatomia/epiderme) e outras condições (chuva, porte das plantas daninhas), explicam mais as falhas no controle, do que a variação de alguns sais em si, entretanto, a tolerância intrínseca de *R. brasiliensis*, *C. benghalensis*, resistência estabelecida da *D. insularis*, estruturas de reservas da *C. rotundus*, explica as remanescências das espécies mesmo após aplicação como sendo consistentes entre os sais. Já *D. horizontalis* e *U. plantaginea* tendem a responder melhor quando jovens e em condições favoráveis, o que reforça o ajuste fino de estágio, chuva pós-aplicação para evitar que voltem a aparecer como remanescentes (Jakelaitis *et al.*, 2001; Christoffoleti; Kehdi; Cortez, 2001; Oliveira *et al.*, 2015)

De forma geral, os tratamentos que resultaram em um pH de calda mais elevado, apresentaram as melhores notas de eficiência, o que explica os resultados obtidos durante o estudo. Caldas com pH moderadamente ácido tendem a ser melhores quanto ao controle de plantas daninhas sob condições deste estudo, como pode-se observar na (tabela 11), caldas com pH acima de 5,5, apresentaram as melhores notas de eficiência, sendo classificados como "Bom".

Tabela 11: Resultado da análise do pH* Nota 14 DAA, pelo método de correlação de Pearson.

Correlação	pH da calda	Nota 14 DAA
pH da calda	1	0,765
Nota 14 DAA	0,765	1

Fonte: autor, 2025.

O coeficiente de Pearson calculado para a correlação entre o pH da calda e a eficiência de controle das plantas daninhas aos 14 DAA é forte positiva ($r \approx 0,765$ $\approx 0,765$ $\approx 0,765$), evidenciando que o pH da calda se torna um fator crítico para o desempenho do herbicida. Caldas com pH equilibrado (próximo a neutralidade), na faixa de 5,5 a 6,5, apresentam maior solubilidade e estabilidade do glifosato, favorecendo sua absorção e resultando em notas de

controle mais elevadas. Dentre os tratamentos avaliados, aqueles que mantêm o pH moderado, como o sal de potássio e sal de amônio, apresentaram os melhores resultados, corroborando a importância de ajustes químicos na calda para maximizar a eficiência do manejo de plantas daninhas. Estes achados são consistentes com a literatura, que indica que manter o pH em faixa levemente ácida é vantajoso para a ação de herbicidas à base de glifosato (Daramola et al., 2022; Devkota & Johnson, 2019).

Portanto, a análise da matriz de correlação revela que o pH da calda é um fator crítico para a eficácia do controle das plantas daninhas, especialmente quando se considera o resultado final aos 14 DAA. O ajuste adequado do pH, aliado à escolha do tipo de sal de glifosato, representa uma estratégia importante para otimizar a ação do herbicida e reduzir a variabilidade nos resultados de controle (Devkota & Johnson, 2019; Daramola et al., 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fontes de boro como octaborato e octaborato plus apresentaram boa compatibilidade físico-química com os diferentes sais de glifosato, preservando as propriedades essenciais da calda. A combinação com sal de amônio mostrou tendência à formação de precipitados, enquanto a associação com sal de di-amônio apresentou maior risco de formação de espuma, indicando alterações na estabilidade da calda.

Dessa forma, a utilização da fonte Octaborato Plus com o glifosato sal de potássio e sal de amônio proporcionou o melhor compromisso entre eficiência no controle de plantas daninhas e estabilidade da mistura, enquanto o sal de di-amônio foi a alternativa menos indicada.

Por outro lado, a inclusão de boro nas caldas de glifosato é viável, especialmente quando se utilizam octaborato ou octaborato plus combinados com sal de potássio, mantendo o pH em faixa moderada (aproximadamente 5,5 a 6,5).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM – ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. ALAM, v. 1, n. 1, p. 35–38, 1974.

ALVES, E. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. Planta Daninha, v. 22, n. 3, p. 729–735, 2004.

AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 40, de 11 de outubro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 out. 2018. Seção 1, p. 3.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Toxicidade e deficiência de boro em plantas agrícolas. International Journal of Molecular Sciences, v. 21, p. 1424, 2020.

BRIGHENTI, A. M.; MULLER, M. D. Controle do capim-braquiária associado à nutrição com boro no cultivo do mogno-africano em sistema silvipastoril. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 745–751, out./dez. 2014.

CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Mistura em tanque de boro e herbicidas em semeadura convencional de girassol. Planta Daninha, Viçosa, v. 20, p. 83–91, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; KEHDI, C. A.; CORTEZ, M. G. Manejo da Brachiaria plantaginea resistente a inibidores da ACCase. Planta Daninha, v. 19, n. 1, p. 61–66, 2001.

CORREIA, N. M.; STREK, H. J. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: manejo e situação atual. Capítulo 6. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2023. 18 p.

CUNHA, J. P. A. R. da et al. Water hardness and pH in the effectiveness of glyphosate formulations. Engenharia Agrícola, v. 40, n. 4, p. 555–560, jul./ago. 2020.

DARAMOLA, O. S.; JOHNSON, W. G.; JORDAN, D. L.; CHAHAL, G. S.; DEVKOTA, P. Spray water quality and herbicide performance: a review. *Weed Technology*, v. 36, n. 6, p. 758–767, 2022. DOI: 10.1017/wet.2022.97.

DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technology*, v. 33, n. 4, p. 562–568, 2019. DOI: 10.1017/wet.2019.31.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008. DOI: 10.1002/ps.1518.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

GARCÍA, R. et al. Interaction of glyphosate salts and boron in soil treatments. *Soil Science Society Journal*, v. 81, n. 4, p. 375–382, 2017.

HAZEN, J. L. Adjuvants—Terminology, Classification, and Chemistry. *Weed Technology*, v. 14, n. 4, p. 773–784, 2000. DOI: 10.1614/0890-037X(2000)014[0773:ATCAC]2.0.CO;2.

JAKELAITIS, A. et al. Controle de *Digitaria horizontalis* pelos herbicidas glyphosate, sulfosate e glifosato potássico sob diferentes intervalos de chuva pós-aplicação. *Planta Daninha*, v. 19, 2001.

KANSAS STATE UNIVERSITY. The role of water quality on effective herbicide applications. Kansas: Department of Agronomy, 2025.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. (Documentos, 227).

MARTINS, J. M. de M.; JÚNIOR, R. A. Impactos das plantas daninhas nas culturas agrícolas e seus métodos de controle. *Revista VIDA: Exatas e Ciências da Terra (VIECIT)*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 777–794, 2023.

MATUO, T. Fundamentos da tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: GUEDES, J. V. C.; DORNELES, S. H. B. (org.). Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias. Santa Maria: Departamento de Defesa Sanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 35–50.

MONSANTO. Roundup® Herbicide: informações sobre o produto. St. Louis, 2005.

NERY, E. D. Diferentes herbicidas no controle de plantas daninhas. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 1, p. 777–794, 2023.

NORRIS, R. A. et al. Effects of herbicides on soil pH and nutrient availability. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 19, n. 6, p. 455–463, 2016.

OLIVEIRA, R. B. et al. Influence of the glyphosate formulations on wettability and evaporation time of droplets on different targets. *Planta Daninha*, v. 33, n. 3, p. 599–606, 2015.

PESSOA, P. et al. Chemical characteristics and compatibility of mixtures at different agricultural application rates. *Brazilian Journal of Science*, v. 3, n. 7, 2024.

PIASECKI, C. et al. Controle de azevém italiano e capim-alecrim no milho usando diferentes datas de semeadura do milho, herbicidas pré e pós-emergentes. *Bragantia*, v. 79, p. 387–398, 2020.

RAKES, M. et al. Avaliação da compatibilidade físico-química de agrotóxicos registrados para a cultura do arroz em mistura na calda de pulverização. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 2, p. 1–10, 2015.

SCHNEIDER, M. H. et al. Effect of pH on herbicide efficiency in different formulations. *Journal of Agricultural Chemistry*, v. 92, p. 204–212, 2019.

SILVA, A. F. da; BATISTA, A. C.; SILVA, R. S. Dispersão de plantas daninhas resistentes a glifosato no Brasil. *Comunicado Técnico, Embrapa*, 2023.

TRAVLOS, I.; CHEIMONA, N.; BILALIS, D. E. Eficácia do glifosato de diferentes formulações de sal e aditivos adjuvantes em várias ervas daninhas. *Agronomy*, v. 7, p. 60, 2017.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Controle de plantas daninhas por diferentes formulações de glyphosate nas condições do Norte de Minas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 2010.

VILELA, P. V. da S. G. Tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade de Cuiabá, 2021.

WERLANG, R. C. et al. Efeito da chuva sobre a eficácia de diferentes formulações de glyphosate no controle de *Bidens pilosa*. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 2010.