



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

THIAGO VINICIUS LEITE E SILVA

**INFLUÊNCIA DO PH DA ÁGUA NA EFICIÊNCIA DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE DE BREDO (*Trianthema portulacastrum*)**

MOSSORÓ

2025

THIAGO VINICIUS LEITE E SILVA

**INFLUÊNCIA DO PH DA ÁGUA NA EFICIÊNCIA DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE DE BREDO (*Trianthema portulacastrum*)**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em AGRONOMIA.

Orientadora: Daniely Formiga Braga, Prof.^a.
Dra.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586i Silva, Thiago Vinicius Leite e.
Influência do pH da água na eficiência de
herbicidas para o controle de brejo (*Trianthema
portulacastrum*) / Thiago Vinicius Leite e Silva. -
2025.
35 f. : il.

Orientadora: Daniely Formiga Braga.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Qualidade da água. 2. Corretores de calda
herbicida. 3. Efeito tampão. I. Braga, Daniely
Formiga, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

...
...
...

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

THIAGO VINICIUS LEITE E SILVA

**INFLUÊNCIA DO PH DA ÁGUA NA EFICIÊNCIA DE HERBICIDAS PARA O
CONTROLE DE BREDO (*Trianthema portulacastrum*)**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
AGRONOMIA.

Defendida em: 24 / 07 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Daniely Formiga Braga (UFERSA)
Presidente

Taliane Maria da Silva Teófilo (UFERSA)
Membro Examinador

Tiago Machado de Oliveira (UFC)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir terminar sonhos que um dia ele também me permitiu começar, por me proporcionar a vivência de experiências que até aqui moldaram meu caráter e me motivaram a estar hoje agradecendo por uma jornada cheia de dificuldades e de apoios.

Agradeço aos mestres que me ajudaram em toda a caminhada estudantil, pelas contribuições que me ajudaram a definir os meus gostos dentro da área, guiando direta ou indiretamente o caminho que seguirei.

Agradeço a meu pai por ser um exemplo de suportar as dificuldades e por se desgastar por mim e pela minha família.

Agradeço minha mãe pelo carinho e suporte para me fazer crescer e pela preocupação constante de me esforçar para cumprir com as obrigações.

Agradeço aos meus irmãos e namorada por facilitarem a jornada com a convivência, as boas risadas e conversas.

Agradeço a minha orientadora pelos ensinamentos, correções, estímulos e paciência de me ouvir reclamar, tirando dúvidas e me respondendo em dias e horários mais absurdos.

Agradeço a Banca Examinadora por aceitar o convite com diligência.

Agradeço ao grupo NOMATO, pelas contribuições na minha pesquisa de forma a polir ideias e execução do experimento,

Agradeço também aos meus amigos e colegas com menção especial os nomes de Alcides, Aparecida, Francisco Resende, Luiz Henrique, Vinicius, e outros que me acompanharam nessa jornada, com parceria, disposição em ajudar e bom humor.

Muito obrigado!

RESUMO

A tecnologia de aplicação interfere diretamente na eficiência e no consumo de produtos fitossanitários, incluindo herbicidas. Diante disso, é fundamental compreender a influência do pH da água e de outros fatores na eficiência da aplicação desses produtos no controle de plantas daninhas. Este estudo avaliou os efeitos do pH da calda de aplicação sobre o controle do brejo (*Trianthema portulacastrum*) utilizando os herbicidas Glyphosate, 2,4-D e Oxyfluorfen, bem como a ocorrência do efeito tampão em cada um deles. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 6×4 , com quatro repetições. Foram testados seis níveis de pH (3 a 8) na calda de aplicação, três herbicidas e a testemunha (água destilada em diferentes pH sem herbicida). A aplicação dos tratamentos foi realizada quando as plantas apresentavam 2 a 3 pares de folhas definitivos, a fim de avaliar a influência do pH na eficácia do controle. Os dados de pH foram medidos antes e após a adição dos herbicidas, permitindo identificar as faixas de efeito tampão de cada produto e para a avaliação da eficácia foram atribuídas notas de 0 a 100, em que 0 representava a ausência total de sintomas e 100, a morte da planta. Os resultados não indicaram diferença significativa no controle do brejo em função do pH da calda, demonstrando uma eficácia uniforme dos herbicidas, sem variação em relação ao efeito esperado. Concluiu-se que o pH da água não influenciou a capacidade de controle dos herbicidas testados. Com base nesses resultados, podemos concluir que o uso de corretores de pH pode ser descartado em aplicações isoladas dos herbicidas avaliados para o controle do brejo, embora estudos adicionais sejam necessários para validar essa prática em outras condições de solo e clima.

Palavras-chave: Qualidade da água, Corretores de calda, Efeito tampão, Glyphosate, 2,4-D e Oxyfluorfen.

ABSTRACT

Application technology directly impacts the efficiency and consumption of phytosanitary products, including herbicides. Given this, it is essential to understand the influence of water pH and other factors on the effectiveness of these products in weed control. This study evaluated the effects of spray solution pH on the control of horse purslane (*Trianthema portulacastrum*) using the herbicides Glyphosate, 2,4-D, and Oxyfluorfen, as well as the buffering effect of each herbicide. The experiment was conducted in a randomized block design, arranged in a 6×4 factorial scheme, with four replications. Six pH levels (3 to 8) were tested in the application solution, three herbicides and the control (distilled water at different pH without herbicide). Treatments were applied when the plants had 2 to 3 pairs of true leaves to assess the influence of pH on control efficacy. pH data were measured before and after herbicide addition to identify the buffering range of each product. Control efficacy was rated on a 0 to 100 scale, where 0 represented no symptoms and 100 indicated complete plant death. The results showed no significant difference in horse purslane control based on spray solution pH, indicating consistent herbicide efficacy without variation from the expected effect. It was concluded that water pH did not influence the control capacity of the tested herbicides. Based on these findings, pH adjusters can be disregarded for standalone applications of the evaluated herbicides in horse purslane control. However, further studies are needed to validate this practice under different soil and climate conditions.

Keywords: Water quality, Syrup brokers, Buffering effect, Glyphosate, 2,4-D, Oxyfluorfen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	– Gráfico de Eficácia dos herbicidas em diferentes níveis de pH e classificação do teste de Tukey	24
Figura 02	– Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (Glyphosate) para cada faixa de pH.	25
Figura 03	– Comparação entre testemunha e efeito do Glyphosate em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita.	27
Figura 04	– Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (Oxyfluorfem) para cada faixa de pH.	28
Figura 05	– Comparação entre testemunha e efeito do Oxyfluorfem em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita.	29
Figura 06	– Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (2,4-D) para cada faixa de pH.	30
Figura 07	– Comparação entre testemunha e efeito do 2,4-D em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita.	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Escala de notas utilizada para avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida.....	23
----------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Padrões da Dureza da água.....	16
Tabela 2	–	Análise de variância da eficácia de herbicidas em diferentes níveis de pH	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Dr	Doutor
Dra.	Doutora
Prof ^a	Professora
Me	Mestre
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
AMPA	Ácido aminometilfosfônico
PPO	protoporfirinogênio oxidase
NIS	Simportador de sódio/iodeto
Ka	Constante de dissociação ácida
DAA	Dias após aplicação

LISTA DE SÍMBOLOS

©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Qualidade da Água para Aplicação de Herbicidas.....	16
2.2	Herbicida Glyphosate	17
2.3	Herbicida Oxyfluorfem	18
2.4	Herbicida 2,4-D	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Condições experimentais	21
3.2	Design experimental.....	22
3.3	Avaliação de fitotoxicidade dos herbicidas no brejo.....	23
3.4	Análises estatísticas.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A gestão de plantas invasoras é um desafio constante na agricultura, sendo fundamental buscar estratégias que aumentem a eficiência dos métodos de controle e minimizem os impactos ambientais. Entre as plantas de difícil manejo que tem se tornado uma prioridade para os agricultores, destaca-se o Bredo (*Trianthema portulacastrum*), que apresenta rápida disseminação e tolerância a alguns herbicidas (Grichar, 2007). Essa dificuldade está associada ao grande número de sementes produzidas, já que uma planta madura pode produzir até 3.330 frutos por planta e 6 a 10 sementes por fruto como mostra Galinato et al. (1999).

O método mais utilizado para o manejo das plantas daninhas é o químico, através da aplicação de herbicidas em diversas espécies, porém, para alcançar elevados resultados na produção agrícola, seu sucesso depende da correta técnica de aplicação, que envolve reações da calda e as formulações químicas dos produtos e a qualidade da água. Segundo Oliveira et al. (2018), a eficácia dos herbicidas pode ser significativamente influenciada por diversos fatores, incluindo o pH da água utilizada para o preparo da calda. A escolha dos bicos de pulverização corretos também é uma etapa fundamental relacionado a eficiência da aplicação de herbicidas, pois impacta diretamente na deposição das gotas de pulverização na superfície alvo (Ferguson et al., 2018).

A água é um solvente universal e é o principal veículo em aplicações. Devido a isso, as suas propriedades nas pulverizações podem influenciar de maneira significativa o desempenho dos produtos nela misturados. Alguns herbicidas, como Glyphosate e 2,4-D, segundo Farias et al. (2014), podem ter sua eficiência afetada sobre a influência do pH e da dureza da água usada.

Trabalhos publicados demonstram que a água alcalina ou a presença de alguns compostos utilizados em nutrientes foliares na calda podem diminuir a eficiência dos herbicidas, especialmente de dessecantes à base de Glyphosate. (Mervosh e Balke, 1991; Nalejava e Matysiak, 1993).

Para contornar esse problema, recomenda-se ajustar o pH da calda para valores próximos a 4,5, além de utilizar água limpa, prática que potencializa a atividade dos herbicidas (Souza e Velloso, 1996). Outro fator relevante é o efeito tampão de certos herbicidas, que mantêm o pH da solução em níveis ideais, assegurando maior eficácia no controle (Silva et al., 2018).

Essa propriedade é importante porque, ao ser adicionada em água com pH fora do ideal, o herbicida atua como um sistema tampão, ajustando o pH da calda para o nível em que o produto é mais eficaz. Assim, garante uma melhor performance na aplicação e maior eficiência no controle de plantas indesejadas.

O pH da solução é um fator importante para a qualidade da calda, pois influencia na estabilidade, solubilidade e absorção foliar dos ingredientes ativos. Nesse contexto, os adjuvantes comerciais destinados à regulação do pH são empregados como ferramentas de correção da acidez ou alcalinidade da água para pulverização, com a proposta de oferecer um ambiente químico mais favorável à ação correta dos herbicidas. Os adjuvantes podem melhorar a penetração dos produtos nas plantas, tornando o uso de reguladores de pH, de forma estratégica, prática consolidada, e indispensável no manejo racional e eficaz de plantas daninhas.

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo avaliar a influência do pH da água sobre o controle do Bredo para os herbicidas: Glyphosate, o 2,4-D e o Oxyfluorfen e a ocorrência do efeito tampão para os mesmos herbicidas sobre as diferentes faixas de pH, visando a necessidade de utilização de corretores de pH.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade da Água para Aplicação de Herbicidas

A qualidade da água utilizada na aplicação de herbicidas exerce influência significativa sobre a eficácia dos produtos, visto que parâmetros físico-químicos, como pH, dureza, (concentração de íons cálcio e magnésio), temperatura, a presença de ferro, bicarbonatos, turbidez e matéria orgânica, podem comprometer a estabilidade química e absorção pelas plantas (Devkota e Johnson, 2016a).

Água dura, com alta concentração de íons como Ca^{2+} e Mg^{2+} , pode antagonizar a ação de herbicidas ácidos fracos. Estudos demonstram que o aumento da dureza da água de 0 para 1.000 mg L^{-1} reduziu a eficiência do mesotrione em até 28 %, (Devkota e Johnson, 2016a) e comprometeu a ação de 2,4-D isolado e em misturas com Glyphosate em mais de 20 % (Devkota e Johnson, 2016b). Em outro trabalho, (Schortgen e Patton, 2021) águas com dureza de 600 ppm de CaCO_3 antagonizam a atividade do 2,4-D com formulações solúveis em água (amina e colina), mas não foram antagonizadas em formulações insolúveis em água (éster).

Além disso, a interferência de dureza de água sobre herbicidas é confirmada por estudos de Roskamp et al. (2012), que mostraram valores médios de dureza da água no local de estudo variando de 0 a 800 ppm, e a adição de sulfato de amônio, auxilia na correção dos problemas de dureza da água. A amônia do sulfato de amônio compete por ligações com os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , evitando a complexação indesejada com o herbicida (Zollinger et al., 2010). Uma classificação da dureza da água pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões da Dureza da água.

DUREZA	CONCENTRAÇÃO da CaCO_3 (mg L^{-1})
Branda	Até 50
Pouco dura	Entre 50 e 100
Dura	Entre 100 e 200
Muito dura	Acima de 200

Fonte: ABDALLA et al. (2010).

O pH da água também influencia fortemente a eficácia. Condições muito alcalinas (pH 9) relacionadas a dureza ($400\text{--}800 \text{ mg/L}$) diminuíram significativamente o controle de plantas daninhas por dicamba e Glyphosate (Devkota e Johnson, 2019a). Água turva, com partículas em suspensão, pode adsorver herbicidas — especialmente Glyphosate — tornando-os

indisponíveis às plantas. Por isso, recomenda-se evitar o uso de água com turbidez visível, como a de rios ou açudes, ou realizar pré-filtração.

Em função desses efeitos, os pesquisadores da Universidade de Minnesota, (Yu, et al. 2025), recomendam testes na água antes da aplicação e o uso de condicionadores de calda como o sulfato de amônio, caso necessário. Além de apontarem que, embora muitas vezes negligenciada, a qualidade da água (pH e dureza) é um fator determinante na eficiência dos herbicidas, podendo gerar falhas no controle e necessidade de aplicações repetidas.

Em Extensões Agrícolas da Universidade Estadual da Virginia (Virginia Tech), Ling, et al. (2024) indicam que dureza acima de 120 ppm já pode exigir correções, e que tanto herbicidas quanto equipamentos (bicos e filtros) são afetados.

2.2 Herbicidas: Glyphosate

Introduzido em 1974, o Glyphosate [N-(fosfonometil)glicina] rapidamente se tornou o herbicida não seletivo mais utilizado mundialmente. Duke e Powles (2008) destacam que sua importância se relaciona com a introdução de culturas transgênicas resistentes ao Glyphosate em 1996.

No ambiente, o Glyphosate apresenta meia-vida média de cerca de 30 dias em climas temperados, mas sua persistência é maior em solos frios ou sedimentos, sendo degradado em ácido aminometilfosfônico (AMPA), o que estende seu impacto ambiental. Duke (2020) também comenta sobre forte adsorção ao solo e baixa tendência à bioacumulação. Klátyik et al. (2025) revisaram os efeitos tóxicos não apenas do princípio ativo, mas também dos coformulantes. Argumentam que, embora o Glyphosate isolado tenha baixa toxicidade, os adjuvantes podem aumentar efeitos adversos em organismos aquáticos e solo.

No contexto “One Health”, revisão de 2023 enfatizou riscos à microbiota, ecossistemas e saúde humana. Consta alteração da microbiota do solo, bem como alterações fisiológicas em plantas, animais e humanos expostos. Em nível agrônomo, o uso intensivo do Glyphosate levou ao surgimento de 38 espécies de plantas resistentes, em 37 países e 34 culturas, conforme Heap e Duke (2018), o que compromete sua eficácia e demanda novas estratégias de manejo.

Diversos estudos ressaltam que o Glyphosate, na forma de sais (como de isopropilamina, monoamônio, entre outros), tende a acidificar a calda de pulverização, diminuindo o pH da mistura. Segundo Mueller e Steckel (2019) demonstraram, a adição de Glyphosate junto a formulações de dicamba reduziu o pH da calda de 1,0 a 2,1 unidades,

resultando em valores entre 4,6 e 4,8, o que pode aumentar a volatilidade do dicamba e comprometer o controle de ervas daninhas

Adicionalmente, pesquisas de controle de pH mostram que, em solventes aquosos contendo Glyphosate, a acidez favorece a absorção da molécula pelas plantas, reduzindo a hidrólise alcalina que compromete a eficácia de herbicidas ácidos. Em experimentos específicos, observou-se que misturas com pH entre 3,5 e 5,5 promovem melhor desempenho do Glyphosate, enquanto valores acima de 7 podem diminuir sua ação herbicida (Ferreira et al., 2020). Ademais, emulsões contendo adjuvantes como ácido propiônico ou lecitina intensificam a acidificação da calda quando combinadas com Glyphosate, exigindo controle rigoroso do pH para evitar incompatibilidades químicas ou perda de eficácia.

2.3 Herbicidas: Oxyfluorfem

O Oxyfluorfem é um herbicida do grupo dos difenil éteres, utilizado principalmente no controle de plantas daninhas de folhas largas e algumas gramíneas em culturas como soja, algodão, arroz e frutíferas. Sua ação ocorre por inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO), levando à peroxidação lipídica e morte celular por estresse oxidativo. É caracterizado por baixa solubilidade em água, alta adsorção ao solo e meia-vida prolongada, especialmente em ambientes com baixa oxigenação, como sedimentos. Apresenta potencial de toxicidade aguda e crônica, incluindo efeitos hepatotóxicos, mutagênicos e disruptores endócrinos, conforme demonstrado por Stoker et al. (2024). Além disso, estudos como os de Yao et al. (2025) indicam que algumas bactérias são capazes de degradá-lo parcialmente, sugerindo caminhos para a biorremediação.

Em estudos sobre toxicologia endócrina, de Stoker et al. (2024) apontaram que o Oxyfluorfem atua como inibidor do simportador de sódio/iodeto (NIS), em humanos e ratos, causando problemas hepáticos, acúmulo na tireoide e problemas de desenvolvimento da puberdade.

Como não existem muitos estudos envolvendo esse herbicida, a manutenção das faixas de pH na água de preparo da calda próximas a neutralidade pode ser uma estratégia eficaz para preservar a atividade do Oxyfluorfem (Roskamp et al., 2013a), já que em água mais alcalina ou acida, há uma potencialidade de ocorrer a degradação química, elevar o risco de problemas de solubilidade, reduz a ionização, a depender da condição e herbicidas (Sarmah e Sabadie, 2002) (Roskamp e Johnson, 2013b) (Green e Hale, 2005). Restando as faixas próximas a neutralidade, ser caracterizada pelo equilíbrio entre solubilidade e absorção foliar, podendo refletir em uma maior eficácia do tratamento.

Previdello et al. (2006) descrevem o pKa como o valor de pH no qual as concentrações da forma ácida e da forma básica de uma substância estão em equilíbrio, ou seja, são iguais. Esse parâmetro é derivado da constante de dissociação ácida (K_a), sendo que, quanto maior o K_a , mais forte é o caráter ácido do composto. O pKa reflete, portanto, a tendência de uma molécula em doar ou aceitar prótons. Compreender o pKa de um composto é fundamental para prever seu grau de ionização em diferentes condições de pH. Dessa forma o Oxyfluorfen como indicado pela PPDB - Pesticides Properties DataBase (Banco de Dados de Propriedades de Pesticidas) não sofre interferência pela variação do pH.

2.4 Herbicidas: 2,4-D

O 2,4-D, é um herbicida caracterizado por sua alta volatilidade em algumas formulações, como as de ésteres isopropílicos, butílicos (Grover, 1976), sendo associado a casos de deriva, exigindo maior atenção quanto às condições ambientais no momento da aplicação. Sendo a deriva caracterizada pela perda indesejada, em geral causado pelo vento, de produtos para fora da área ou alvo da pulverização, o que ocasiona os principais problemas associados à aplicação de defensivos agrícolas, podendo comprometer áreas vizinhas e culturas sensíveis, além de acarretar perdas econômicas e ambientais.

Para redução de riscos por deriva, é recomendado a atenção as interações entre pontas de pulverização, e as gotas produzidas, pressão de trabalho, o uso de adjuvantes e características da calda (Godinho et al., 2020). As condições climáticas também desempenham papel fundamental na segurança da aplicação, sendo consideradas condições para aplicações menos eficientes e com maior risco de deriva, uma velocidade do vento menor que 2 e maior que 8 km/h, temperatura acima de 25 °C e umidade relativa do ar inferior a 50%, predispondo a evaporação, transporte e dispersão do produto, segundo a tabela de Carvalho (2013), descrita no trabalho de De Paula (2021).

A maioria dos herbicidas ácidos, como o 2,4-D, apresenta melhora significativa em sua eficácia quando aplicados em caldas com pH levemente ácido, em contraste com aqueles preparadas em meio alcalino. Isso ocorre em função da dissociação do herbicida: com pKa em torno de 2,8, o 2,4-D permanece menos ionizado em pH abaixo de seu pKa, o que favorece sua lipofilicidade e, conseqüentemente, sua penetração pela cutícula foliar, segundo Daramola et al. (2022). Quando o pH da água ultrapassa esse valor, a molécula se ioniza, reduzindo a difusão para o interior da planta, provocando menor absorção e eficácia reduzida.

Em estudos conduzidos por Devkota e Johnson (2019b), foi observado que a eficácia do controle por 2,4-D foi cerca de 5% superior quando aplicado com água acidificada (pH 4)

em comparação a caldas alcalinas (pH 9). Esse resultado confirma a relação direta entre o grau de ionização do herbicida e sua eficiência no controle das plantas-alvo.

Além do pH, a presença de cátions em águas duras, como cálcio, magnésio e ferro, pode formar complexos insolúveis com o 2,4-D, reduzindo sua disponibilidade para a planta. Estudos como os de Devkota e Johnson (2016a) e Schortgen e Patton (2021) apontam que em águas com alta dureza, especialmente acima de 300 mg L^{-1} de CaCO_3 , observa-se redução na atividade do herbicida, especialmente em formulações salinas, como o 2,4-D dimetilamina. Nesse contexto, a adição de sulfato de amônio na calda demonstrou atenuar esse efeito, liberando os íons metálicos por complexação e permitindo que uma maior quantidade de molécula ativa permaneça disponível para a absorção foliar

Pesquisas mostram que formulários ésteres de 2,4-D (como metílico, isopropílico e butílico) têm volatilidade significativamente maior que as formas salinas, sendo historicamente removidos ou restringidos devido ao risco de deriva atmosférica. Em contraste, os sais amínicos de 2,4-D — incluindo dimetilamina e colina — demonstraram volatilidade muito baixa, conforme medido em câmaras de volatilidade: no estudo de Ouse et al. (2018), o sal de dimetilamina liberou concentrado de vapor entre 30°C e 40°C , enquanto o sal de colina apresentou volatilidade ainda menor. Esses resultados corroboram o entendimento de que a escolha de formulação é crucial, sendo os ésteres curtos, altamente voláteis e inadequados para aplicações em áreas sensíveis, enquanto os sais amina e colina oferecem maior segurança ambiental e menos riscos de deriva por volatilização.

Em síntese, a literatura científica reforça que para maximizar a eficiência do 2,4-D, a calda deve ser preparada com água de pH ideal entre 4 e 6, ajustada sempre que necessário, sobretudo em águas alcalinas ou duras, como mostra Devkota e Johnson (2019a). A inclusão de adjuvantes, como corretores de pH e condicionadores de água à base de sulfato de amônio, também é recomendada pelos mesmos autores. Tais ajustes resultam em uma molécula não ionizada, melhor absorção foliar e consequentemente em controle mais eficaz das plantas daninhas, especialmente em ambientes com água de qualidade comprometedora. (Daramola, 2022) (Schortgen e Patton, 2024).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

O trabalho foi realizado nos meses de fevereiro, março e abril de 2025, em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA – Campus Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Mossoró/RN. O clima categorizado como semiárido e pela classificação de Köppen, se classifica como BSw^h, ou seja, seco e muito quente, tendo estações climáticas definidas: uma seca, compreendida de junho a janeiro, e uma chuvosa, compreendida de fevereiro a maio, como mostra Vanomark et al. (2018). A casa de vegetação usada para a condução do experimento está localizada sob as coordenadas geográficas de 5°12'22.6"S de latitude e 37°19'10.0"W de longitude.

As sementes foram coletadas de plantas existentes na área da horta experimental da UFERSA – Campus Mossoró. Antes da semeadura, as sementes passaram por um processo de quebra de dormência, devido a desuniformidade de germinação e emergência da espécie, sendo utilizada como base a metodologia descrita por Silva Neto (2022), adaptada conforme as necessidades do experimento.

Para o tratamento de superação de dormência foi utilizado um método de escarificação química com ácido sulfúrico concentrado. As sementes foram submergidas no ácido por 20 minutos e posteriormente foram submetidas a lavagem com água corrente por igual período de tempo a que se sucedeu o tratamento. Por fim, as sementes foram secas em estufa, durante 2 horas e semeadas após exposição a temperatura ambiente por 30 minutos.

Em seguida foram, semeadas em bandejas plásticas com 200 células, contendo substrato comercial TerraNutri[®] - substratos agrícolas. Aproximadamente três sementes foram depositadas em cada célula. O solo utilizado para as unidades experimentais foi o substrato comercial citado anteriormente, com uma mistura de areia lavada, na proporção de 1 para 1.

Foi necessário a realização do transplântio, removendo as mudas das bandejas de germinação para vasos de 250ml, com 15 dias de germinação. Em seguida foi realizado o desbaste após 25 dias de germinadas, de forma a selecionar as plântulas mais uniformes.

A irrigação foi mantida sob um turno de rega diário, apenas uma vez ao dia, irrigando até a capacidade de campo, durante o período em que ficaram nas bandejas, e também quando estavam nos vasos. Ao atingir o estágio fenológico de 2 a 3 pares de folhas definitivas, aproximadamente 45 dias após germinação, foi realizado o experimento aplicando os diferentes tratamentos.

Para a obtenção dos diferentes pH das águas, foi utilizado o sulfato de cálcio como substância alcalina e o ácido fosfórico como substância ácida. O processo consistiu na agitação da água destilada por 2 minutos, para uniformizar o pH, em seguida adicionado uma quantidade indefinida de ácido e/ou da base, para a obtenção de cada faixa de pH. Após 5 minutos sob agitação, foi reavaliada a necessidade da adição de mais ácido ou base, de forma que esse processo foi realizado até se encontrar uma estabilidade de pH para as faixas definidas, sendo usado uma métrica de 10 minutos sobre agitação e acompanhamento da faixa de pH para garantir a estabilidade.

Para a avaliação do poder tampão, foi aferido o pH das águas antes e 5 minutos após a adição e agitação dos herbicidas. Com a calda já pronta, para simular uma aplicação real no campo, aguardou-se o tempo de 30 minutos para posteriormente aplicar sobre as plantas.

A dose do Glyphosate foi definida pela bula do GLYPHOTAL[®] TR (formulação SL) na dose de 2L/ha, a dose do Oxyfluorfem foi definida pela bula do Goal[®] BR, (formulação CE) na dose de 3L/ha, Já a dose do 2,4-D foi definida com base na bula do AMINOL[®] (formulação SL) na dose de 1L/ha.

A aplicação foi realizada com um pulverizador de pesquisa Herbicat[®], utilizando uma barra com quatro pontas de pulverização TeeJet modelo XR 11002 VP, vazão de 0,2 GPM, que gera um jato plano simples com ângulo de 110°. Essa ponta é classificada com o espectro de gotas médias, adequadas tanto para aplicações de produtos de contato quanto sistêmicos, em condições de deriva controladas, mantendo um espaçamento de 0,5m entre elas, uma altura de barra de 0,5m do alvo, a uma pressão constante de 3,0 bar e volume de calda de 200L/ha. As condições meteorológicas durante as aplicações foram acompanhadas por meio de um termo-higrômetro digital, com temperatura média do ar de 29,4 °C e velocidade do vento de 4,2 km/h.

3.2 Design experimental

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x4 com quatro repetições, onde se analisou 6 níveis de pH da água para o preparo da calda, sendo pH de 3, 4, 5, 6, 7 e 8 e três herbicidas Glyphosate, o 2,4-D e o Oxyfluorfem e a testemunha (água destilada em diferentes pH sem herbicida). Resultando em 24 unidades experimentais por repetição, totalizando 96 para as quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico, com capacidade para 250 ml de solo, com uma única planta de Bredo por vaso.

3.3 Avaliação de fitotoxicidade dos herbicidas no breo

Os sintomas visuais de fitotoxicidade foram avaliados no breo, aos 21 dias após aplicação (DAA) dos herbicidas. Para isso, foram atribuídas notas com base na observação dos sintomas característicos causados pelos herbicidas seguindo escala de notas de 0 a 100, em que 0 representava a ausência total de sintomas e 100, a morte da planta. A Escala utilizada para avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida da SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas) adaptada por Yamashita e Guimarães (2006) (Quadro 1).

Quadro 1. Escala de notas utilizada para avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida.

Conceito	Notas (%)	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte total da planta.

Fonte: Adaptado de SBCPD (1995).

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio (versão 2023.06.1+524). Foi verificado a normalidade dos dados e a homogeneidade da variância submetendo os dados à análise de variância (ANOVA). Quando o valor de F foi significativo ($p < 0,05$) as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 01, que avalia a eficácia dos herbicidas em diferentes pH da solução, a análise de variância indicou efeito significativo dos herbicidas ($p < 0,001$), para todos os tratamentos, apresentando 100% de eficácia (a), comparados com a testemunha, com 0% de controle (b), caracterizando uma sensibilidade da planta ao uso desses herbicidas.

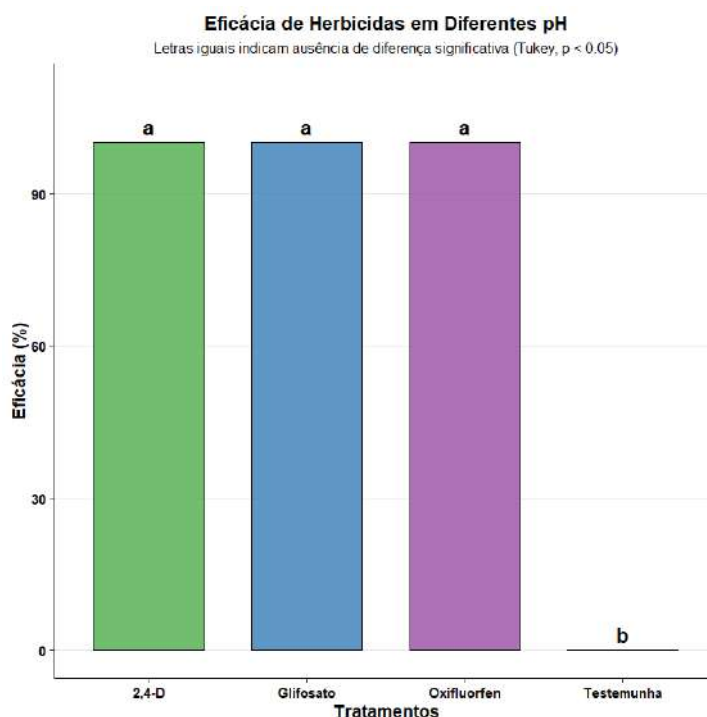


Figura 01: Gráfico de Eficácia dos herbicidas em diferentes níveis de pH e classificação do teste de Tukey. **Fonte:** Autor, 2025.

A análise de variância também indicou que não houve interação significativa entre pH e os herbicidas testados, indicando que as faixas de pH da solução não influenciaram na eficácia dos herbicidas (Tabela 2).

Resultados semelhantes foram observados por Gómez et al. (2006) ao analisar diferentes níveis de pH da água com o uso do herbicida Roundup Max 68 SG® no controle da grama-estrela-africana. O estudo concluiu que o emprego de modificadores de pH não aumenta a eficácia no controle de plantas daninhas, tornando sua utilização dispensável devido ao incremento nos custos de aplicação.

Tabela 2. Análise de variância da eficácia de herbicidas em diferentes níveis de pH

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Pr(>F)
pH	5	0	0	5.095	0.00049 ***
Herbicida	3	180000	60000	3.67×10 ³¹	<2e-16 ***
Bloco	3	0	0	0.402	0.75188
pH × Herbicida	15	0	0	0.626	0.84385
Resíduos	69	0	0		

Fonte: Autor, 2025.

Ao analisar o efeito tampão dos herbicidas, ambos se mostram com efeitos diferentes. Para o Glyphosate, o efeito tampão foi mais evidente, pois independente do pH da água, os valores do pH após adição do herbicida ficaram próximos de 4 (Figura 02).

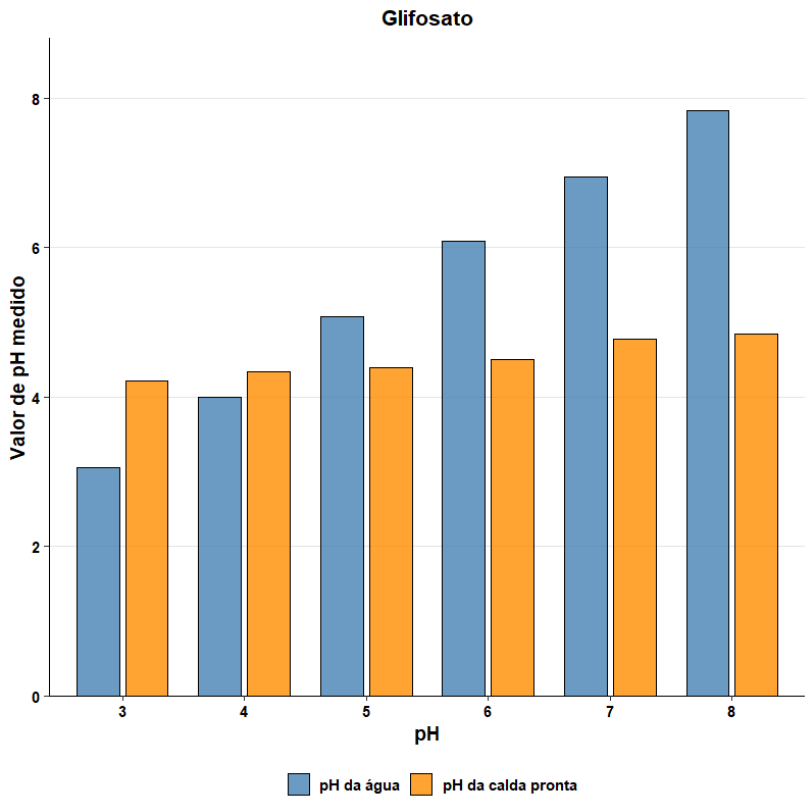


Figura 02: Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (Glyphosate) para cada faixa de pH. Fonte: Autor, 2025.

O efeito tampão do Glyphosate é uma característica das formulações do herbicida que ajuda a mitigar essa variação de pH. Ao adicionar Glyphosate à água, a solução tende a se ajustar a um pH próximo ao ideal para a formulação, mesmo que a água de partida tenha um pH diferente. Isso garante que o Glyphosate seja aplicado em condições mais favoráveis, maximizando sua eficácia (Baer e Marcel, 2014). Sendo os resultados encontrados, explicados pelo efeito tampão do próprio Glyphosate de forma que os níveis de pH não influenciaram nos parâmetros avaliados do herbicida pois o próprio herbicida alterou o pH da calda de aplicação e o resultado não diferiu do comportamento regulador da calda encontrado em outros trabalhos.

Avaliando o efeito do pH da calda sobre a eficiência de controle do herbicida Glyphosate, Souza (2023), concluiu que o produto Roundup original (princípio ativo Glyphosate) possui na sua formulação um tampão para o pH, que ajusta o pH para aproximadamente 6,5, independente do veículo ser ácido ou básico. Desta forma, o produto garante sua eficiência em diversas condições de pH, não sendo necessário qualquer tipo de regulação do pH da água por parte do aplicador.

Estudos mostram que a incorporação de Glyphosate à água acidifica e, além disso, o aumento do pH da água para um pH neutro da mistura não interfere na atividade herbicida do Glyphosate (Stahlman 1979). Portanto, não é necessário ajustar o pH da água ao aplicar Glyphosate, uma vez que mantém a solução de aplicação em um pH ácido ideal para a eficácia do herbicida (Kogan 2002).

Com base na Figura 03, foi possível observar o controle total das plantas de Bredo, independentemente do pH da água. Todos os níveis de pH receberam nota 100, indicando que as plantas foram completamente eliminadas, o que demonstra a alta eficiência deste herbicida.



Figura 03: Comparação entre testemunha e efeito do Glyphosate em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita. **Fonte:** Autor, 2025.

Díaz (2005), observou que a água com pH 5 é a mais indicada para o preparo da calda de pulverização com os herbicidas Glyphosate, glufosinato de amônio e suas misturas, com maior eficácia no controle de um amplo espectro de plantas daninhas, reduzindo a dosagem de ambos os produtos em até 40-50%. Esqueda Esquivel e Tosquy Valle, (2015) analisando diferentes doses do herbicida Glyphosate em diferentes valores de pH da água, verificaram melhores resultados em pH 5 e 7, enquanto o controle foi reduzido em pH 8.

Analisando o pH do Oxyfluorfem, observou-se que mesmo mantendo em um intervalo próximo ao pH original, promoveu uma leve elevação no pH da calda (Figura 04), diferente do efeito percebido no Glyphosate.

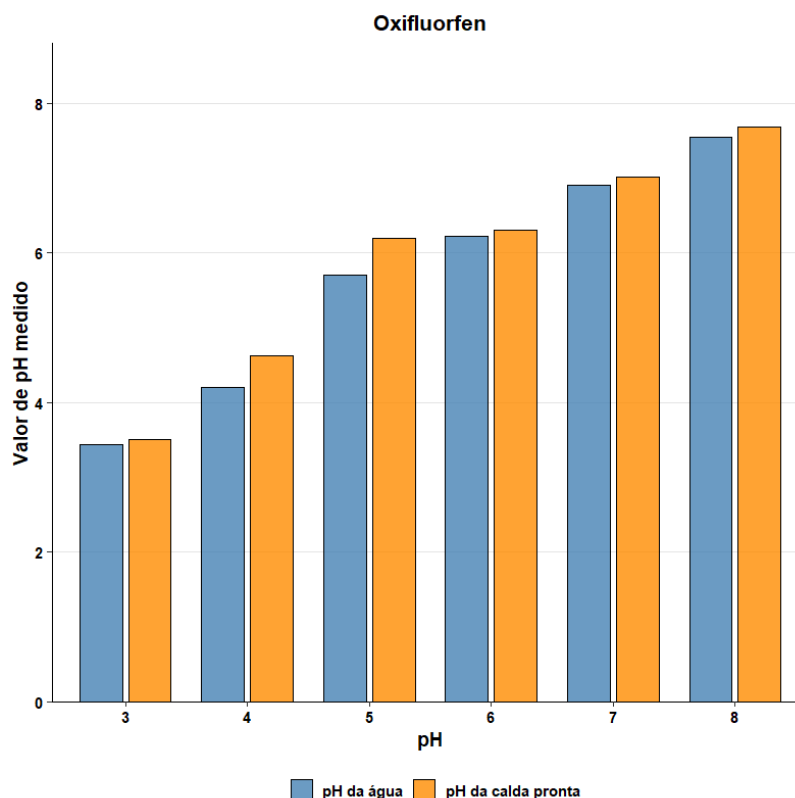


Figura 04: Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (Oxyfluorfen) para cada faixa de pH. **Fonte:** Autor, 2025.

De acordo com o site PPDB - Pesticides Properties DataBase (Banco de Dados de Propriedades de Pesticidas) a indicação da constante de dissociação pK_a a 25 °C, para o Oxyfluorfen é não aplicável, e não dissociável, indicando uma não interferência com o pH pelo princípio ativo, em contra partida seus coformulantes podem ter a capacidade de alteração do pH, o que justificaria os resultados.

Apesar da leve alcalinização do pH, o herbicida demonstrou controle eficiente sobre o Bredo. Isso se deve, em parte, à sua ação de contato e à estabilidade relativa em diferentes faixas de pH, o que permite uma rápida ação sobre as folhas da planta daninha, levando à necrose e à morte dos tecidos afetados.

De acordo com Dayan et al., 2018, os herbicidas matam rapidamente os tecidos vegetais aos quais são aplicados (atividade de contato), ou então são absorvidos e translocados para partes da planta nas quais não foram aplicados (atividade sistêmica), em geral agindo de forma mais lenta e completa na planta do que os herbicidas de contato.

O Oxyfluorfen apresentou um excelente desempenho no controle da planta daninha. Logo após o primeiro dia de aplicação, já foi possível observar os danos causados às plantas,

e ao terceiro dia, os sinais de morte estavam evidentes. Por isso, todas as plantas de Bredo receberam a nota 100, indicando que estavam completamente mortas. Além disso, não foi observada diferença no controle do Bredo em diferentes faixas de pH, conforme mostra a Figura 5.



Figura 05: Comparação entre testemunha e efeito do Oxyfluorfen em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita. **Fonte:** Autor, 2025.

Para o 2,4-D, a avaliação do seu poder tampão mostrou que, mesmo mantendo o pH próximo ao valor original, houve uma leve elevação no pH da calda até o pH 6, seguida de uma pequena acidificação ao atingir os pH 7 e 8 (Figura 06)

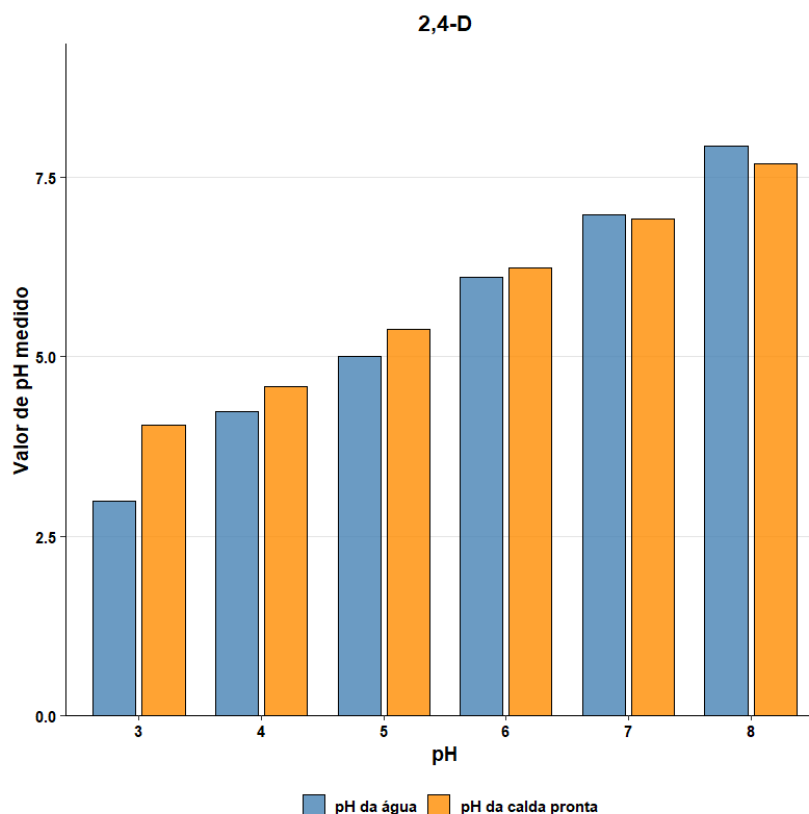


Figura 06: Gráfico com pH da água e pH da calda pronta (2,4-D) para cada faixa de pH. **Fonte:** Autor, 2025.

O efeito tampão do 2,4-D é inexistente como corroboram os dados de Avila et al. (2023), sendo característica do herbicida não alterar significativamente o pH, a não ser em condições de água de preparo de calda muito ácida.

Os resultados encontrados, podem ser explicados pela característica do produto, como mostram os dados apresentados pela Figura 06 o 2,4-D não apresenta variação do pH de forma tendencial, como o Oxyfluorfen, que possui a tendência de elevar o pH, nem de ajustes pelo efeito tampão como no Glyphosate, mas demonstram a tendência de elevação considerável do pH, sobre caldas muito ácidas. Um estudo de Devkota e Johnson (2019b), com o uso de 2,4-D colina e 2,4-D colina + Glyphosate, demonstrou maior eficiência no controle, quando o valor de pH era mais próximo de 4,0, enquanto não houve diferença estatística para os demais valores analisados.

Quanto ao controle das plantas no experimento mostrou-se menos uniforme e mais demorado, o que é explicado pelo próprio mecanismo de ação da molécula do herbicida. A variação do pH não afetou a estabilidade do 2,4-D nem sua absorção pela planta daninha. Embora o efeito tenha sido perceptível, houve variações na resposta entre os indivíduos da

espécie-alvo, indicando uma ação menos consistente e mais lenta em alguns casos. O resultado final, não foi impactado por essas variações aos 21 DAA, tendo um controle de todas as plantas, atribuindo-se nota 100 equivalente a morte total das plantas, como pode ser visto na Figura 07.



Figura 07: Comparação entre testemunha e efeito do 2,4-D em faixas de pH crescentes, da esquerda para a direita. **Fonte:** Autor, 2025.

Os resultados obtidos reforçam a relevância de se compreender o comportamento dos herbicidas frente às variáveis da calda de pulverização, especialmente no que se refere ao pH da água utilizada no preparo. Verificou-se que, nas faixas de pH avaliadas, a eficácia no controle das plantas daninhas não foi significativamente influenciada por esse parâmetro, indicando que diferentes faixas de pH proporcionam, para aplicações isoladas dos herbicidas testados, controle eficiente. Essa constatação contribui para uma aplicação mais eficiente e economicamente viável, promovendo o uso racional de herbicidas com base na sua resposta prática em campo. No caso do controle do Bredo, a escolha do herbicida mais adequado deve considerar critérios como custo, toxicidade e mecanismo de ação, não sendo necessário, dentro das condições analisadas, realizar correções de pH da calda como fator determinante para a eficácia da aplicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação sobre a eficiência dos herbicidas associados aos diferentes pH das águas para o preparo da calda no controle pós-emergência do brejo permitiu compreender melhor o comportamento dessa planta daninha frente a qualidade da água para o preparo de calda. Com base nas análises, foi possível identificar a sensibilidade dos herbicidas ao pH, além da faixa de pH da calda na qual o herbicida tem efeito tampão. Os resultados indicam que os herbicidas (Oxyfluorfen, Glyphosate e 2,4-D), não sofreram interferência significativa no controle do Brejo, quando, preparados isoladamente e o pH da água usada na calda é o único fator variável que se é analisado, mantendo, todos um controle excelente, dentro do prazo estipulado de 21 dias após aplicação. Os dados encontrados e um conjunto de estudos adicionais, podem possibilitar a otimização do controle do Brejo e uma redução do uso de produtos químicos como adjuvantes reguladores de pH, mesmo sendo necessário uma repetição do experimento, e a realização de testes sobre condições diferentes de solo, clima e condições ambientais, misturas e outros parâmetros de interferência analisados, para validar a prática a ser difundida aos produtores e profissionais, de forma consistente, para a orientação, sustentabilidade, economia e eficácia no manejo de plantas invasoras. Portanto o trabalho pode contribuir para a sustentabilidade agrícola, servindo de base para a manutenção as moléculas durante mais tempo, possibilitando a melhoria da eficiência dos herbicidas estudados.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, K. V. P. et al. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA. *Águas Subterrâneas*, v. 24, n. 1, p. 65–73, 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- AVILA, R. C. et al. pH and water hardness on the efficiency of auxin mimics herbicides. *Ciência Rural*, v. 54, n. 4, e20230005, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/bGG4PCyhYLqyFX3xddRshfC>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- BAER, K. N.; MARCEL, B. J. Glyphosate. In: WEXLER, P. (Ed.). *Encyclopedia of toxicology*. 3. ed. London: Academic Press, 2014. p. 767–769.
- CARVALHO, L. B. *Herbicidas*. 1. ed. Lages, SC: Edição do Autor, 2013. 72 p.
- DAYAN, F. E. et al. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (org.). *Herbicidas: mecanismos de ação, resistência e manejo*. Londrina: Mecenass, 2018. p. 45–67.
- DARAMOLA, O. S. et al. Spray water quality and herbicide performance: a review. *Weed Technology*, v. 36, n. 6, p. 758–767, 2022.
- DE PAULA, D. F. et al. Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas. In: MENDES, K. F. (Org.). *Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e ciências ambientais*. v. 2. Campina Grande: EDUEPB, 2021. p. 89–116. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/350847538>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Eficácia do glufosinato influenciada pelo pH da água de transporte, dureza, fertilizante foliar e sulfato de amônio. *Weed Technology*, v. 30, n. 4, p. 848–859, 2016a.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Efeito da dureza da água de transporte e do sulfato de amônio na eficácia de 2,4-D colina e 2,4-D colina pré-misturada com Glyphosate. *Weed Technology*, v. 30, n. 4, p. 878–887, 2016b.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Efficacy of dicamba and glyphosate as influenced by carrier water pH and hardness. *Weed Technology*, v. 34, n. 1, p. 101–106, 2019a.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Influência do pH da água de arraste, fertilizante foliar e sulfato de amônio na eficácia de 2,4-D e 2,4-D mais Glyphosate. *Weed Technology*, v. 33, n. 4, p. 562–568, 2019b.
- DÍAZ, J. C. et al. Programa de control de malezas de las unidades de producción cañeras. In: *Control integral de malezas en caña de azúcar*. La Habana: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), 2005.
- DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: um herbicida que ocorre uma vez por século. *Pest Management Science*, v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008.

- DUKE, S. O. Glyphosate: destino e impacto ambiental. *Weed Science*, v. 68, n. 3, p. 201–207, 2020.
- ESQUEDA ESQUIVEL, V. A.; TOSQUY VALLE, O. H. Efecto del volumen y el pH del agua en el control de *Ixophorus unisetus* (J. Presl.) Schltdl. con Glyphosate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 6, n. 1, p. 97–109, 2015.
- FARIAS, M. S. et al. Qualidade da água utilizada para aplicação de agrotóxicos na região central do Rio Grande do Sul. *Agrarian*, v. 7, n. 24, p. 355–359, 2014.
- FERGUSON, J. C. et al. Efeito do tamanho da gota de pulverização na eficácia do herbicida em quatro gramíneas anuais de inverno. *Crop Protection*, v. 112, p. 118–124, 2018.
- FERREIRA, P. H. U. et al. Propriedades físico-químicas, tamanho de gota e volatilidade do dicamba com herbicidas e adjuvantes em mistura em tanque. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 18833, 2020.
- GALINATO, M. I.; MOODY, K.; PIGGIN, C. M. *Upland rice weeds of South and Southeast Asia*. Makati City: International Rice Research Institute, 1999. 156 p.
- GODINHO JR, J. D. et al. Spray nozzles, working pressures and use of adjuvant in reduction of 2,4-D herbicide spray drift. *Planta Daninha*, v. 38, e020223622, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100022>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- GÓMEZ, José M.; PITY, Abelino; MISELEM, José M. Efecto del pH del Agua en la Efectividad de los Herbicidas Glyphosate, Fluazifop-p-butil y Bentazon. [S.l.], 2006. Documento técnico. Disponível em: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b828e19f-6272-4d75-9827-427b92d4eb49/content>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- GREEN, J. M.; HALE, T. Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. *Weed Technology*, v. 19, n. 2, p. 468-475, 2005.
- GRICHAR, W. J. Horse purslane (*Trianthema portulacastrum*), smellmelon (*Cucumis melo*), and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control in peanut with postemergence herbicides. *Weed Technology*, v. 21, n. 3, p. 688–691, 2007.
- GROVER, R. Relative volatilities of ester and amine forms of 2, 4-D. *Weed Science*, v. 24, n. 1, p. 26-28, 1976.
- HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science*, v. 74, n. 5, p. 1040-1049, 2018.
- HERTFORDSHIRE, University of. *Oxyfluorfen (Ref: RH 2915)*. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/502.htm>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- KLÁTYIK, Szandra et al. Toxicological concerns regarding glyphosate, its formulations, and co-formulants as environmental pollutants: a review of published studies from 2010 to 2025. *Archives of Toxicology*, v. 99, n. 4, p. 1-35, 2025. DOI: 10.1007/s00204-025-04076-2.

KOGAN, Marcelo et al. Programa para el control de la chufa en huertos frutales. *Agronomía y Forestal UC*, no. 17, p. 13-16, 2002. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

LING, E. et al. Spray water quality and pesticide characteristics. 22 fev. 2024. Disponível em: https://www.pubs.ext.vt.edu/content/pubs_ext_vt_edu/en/BSE/bse-350/bse-350.html. Acesso em: 29 jul. 2025.

MERVOSH, T. L.; BALKE, N. E. Effects of calcium, magnesium and phosphate on glyphosate absorption by cultured plant cells. *Weed Science*, v. 39, p. 347-353, 1991.

MUELLER, Thomas C.; STECKEL, Lawrence E. Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives. *Weed Technology*, v. 33, n. 4, p. 547-554, 2019.

OUSE, D. G. et al. A new approach to quantify herbicide volatility. *Weed Technology*, v. 32, n. 6, p. 691-697, dez. 2018.

PREVIDELLO, Bruno Alarcon Fernandes et al. O pKa de indicadores ácido-base e os efeitos coloidais. *Química Nova*, v. 29, n. 3, p. 600-606, 2006. DOI: 10.1590/S0100-40422006000300027.

ROSKAMP, Jared M.; CHAHAL, Gurinderbir S.; JOHNSON, William G. Influence of water hardness and co-applied herbicides on saflufenacil efficacy. *Crop Management*, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2012.

ROSKAMP, Jared M.; JOHNSON, William G. The influence of adjusting spray solution pH on the efficacy of saflufenacil. *Weed Technology*, v. 27, n. 3, p. 445-447, 2013a.

ROSKAMP, Jared M. et al. The influence of carrier water pH and hardness on saflufenacil efficacy and solubility. *Weed Technology*, v. 27, n. 3, p. 527-533, 2013b.

SARMAH, Ajit K.; SABADIE, Jean. Hidrólise de herbicidas sulfonilureias em solos e soluções aquosas: uma revisão. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 22, p. 6253-6265, 2002.

SCHORTGEN, Geoffrey P.; PATTON, Aaron J. Controle aprimorado de *Taraxacum officinale* com 2,4-D no campo a partir da adição de sulfato de amônio. *Weed Research*, v. 64, n. 2, p. 119-126, 2024.

SCHORTGEN, Geoffrey P.; PATTON, Aaron J. Influence of hard water on 2,4-D formulations for the control of dandelion. *Weed Technology*, v. 35, n. 3, p. 371-379, 2021.

SILVA, J. A.; SOUZA, M. L.; PEREIRA, R. T.; ALMEIDA, F. R. Fundamentos de Química Agrícola. São Paulo: Editora Agrícola, 2018.

SILVA, J. C.; SANTOS, M. A. Efeito do pH da água na absorção e translocação de herbicidas. *Agricultural Sciences Journal*, v. 25, n. 4, p. 123-130, 2019.

SILVA NETO, Jorge Alves; AQUINO, Gilsivan Sales Medeiros; PINTO, Pedro Sidarque Lima; HOLANDA, Ioná Santos Araújo. Otimização de método de superação da dormência de sementes de *Trianthema portulacastrum*. In: Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 7.,

2014, [S.l.]. Anais... [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: https://anais.infobibos.com.br/cbrg/7/Resumos/Resumo7CBRG_0343.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, J. A.; PEREIRA, M. L. Influência do pH da calda de pulverização na eficiência do herbicida oxyfluorfen. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 12, n. 3, p. 45-52, 2018.

SOUZA, Paula Cristina da Silva. Efeito do pH da calda sobre a eficiência de controle do herbicida Glyphosate. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) – Universidade de Marília (UNIMAR), Marília, 2023.

SOUZA, R. O.; VELLOSO, J. A. R. O. Tecnologia na aplicação de herbicidas. In: SOUZA, R. O.; VELLOSO, J. A. R. O. (Eds.). *Tecnologia e segurança na aplicação de produtos fitossanitários*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996. p. 41-53.

STAHLMAN, P. W.; PHILLIPS, W. M. Effects of water quality and spray volume on glyphosate phytotoxicity. *Weed Science*, v. 27, n. 1, p. 38-41, 1979.

STOKER, T. E. et al. Avaliação dos efeitos do herbicida difenil, oxyfluorfen, sobre os hormônios tireoidianos em ratos jovens. *Current Research in Toxicology*, v. 6, p. 100146, 2024.

VANOMARK, Giuliana Mairana Moraes de Sousa et al. Particionamento do balanço energético e evapotranspiração do meloeiro irrigado em condições semiáridas. *Bragantia*, v. 77, n. 1, p. 168-180, 2018.

YAO, Li et al. Metabolism of oxyfluorfen by actinobacteria *Micrococcus* sp. F3Y. *Frontiers in Microbiology*, v. 16, p. 1599015, 2025.

YU, E.; MILLER, R.; SARANGI, D. Spray water quality: An overlooked factor in herbicide performance. 06 mai. 2025. Disponível em: <https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2025/05/spray-water-quality-overlooked-factor.html>. Acesso em: 29 jul. 2025.

ZOLLINGER, Richard et al. Efeito da água dura e do sulfato de amônio na atividade de herbicidas ácidos fracos. *Journal of ASTM International*, v. 7, n. 6, p. JAI102869, 2010.