



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

ROBERT RYAN SANTOS SILVA

**EFEITO DE SEQUESTRANTE DE CÁTIOS NA DISPONIBILIDADE DE
HERBICIDAS EM ÁGUA**

MOSSORÓ

2025

ROBERT RYAN SANTOS SILVA

**EFEITO DE SEQUESTRANTE DE CÁTIONS NA DISPONIBILIDADE DE
HERBICIDAS EM ÁGUA**

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

Orientador: Prof. Dr. Daniel Valadão Silva

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.

S586e Silva, Robert Ryan Santos.
Efeito de sequestrante de cátions na
disponibilidade de herbicidas em água / Robert
Ryan Santos Silva. - 2025.
34 f. : il.

Orientador: Daniel Valadão Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Adjuvante. 2. calda de aplicação. 3. dureza.
I. Silva, Daniel Valadão, orient. II

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

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.

ROBERT RYAN SANTOS SILVA

**EFEITO DE SEQUESTRANTE DE CÁTIOS NA DISPONIBILIDADE DE
HERBICIDAS EM ÁGUA**

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

Defendida em: 28 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Valadão Silva (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Paulo Sergio Fernandes das Chagas (UFERSA)
Membro Examinador

Jorgiana Paula Mota de Lima Fonseca (RIZOBACTER)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me proporcionar vivenciar este momento tão importante em minha vida.

Quero agradecer também à minha mãe, Maria Aparecida da Silva Santos, e ao meu pai, Roberto Santos Silva, pois sempre me incentivaram a nunca desistir e estiveram presente em todas as minhas decisões durante a minha vida. Sem vocês, nada disso seria possível.

Agradeço também à minha irmã, Maria Gabriella da Silva Santos, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins. Obrigado, minha irmã.

Dedico esse trabalho também aos meus avós: Vó Inacinha, Vô Roque, Vô Damião e em especial a minha Vó Maria, em memória dela.

A UFERSA, por todos os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos por meio de profissionais de excelência e bastante competentes.

Ao meu orientador, professor Daniel Valadão, pela oportunidade de poder participar do grupo de pesquisa Nomato, e por sempre me orientar ao longo do curso sobre como me tornar um bom profissional.

A todos os meus amigos e colegas que fiz ao longo de toda a graduação, cada momento que vivi foi único e sempre irei levar comigo as boas lembranças que ficaram.

A todos os meninos do condomínio Terezinha Dantas, aos que já passaram por lá e aos que ainda residem no local. Em especial, aos meus colegas do AP 01, Roalyson e William. E aos meus amigos e vizinhos: Otacílio, Ruan, Marcos e Vinícius.

Também quero agradecer a Paulo, que me ajudou a montar todo o experimento e conduzi-lo desde o início.

A Carol e a Lyandra, que me ajudaram na montagem do experimento e na obtenção dos meus dados. Obrigado, meninas. Fica também o meu agradecimento a todos que me ajudaram durante a condução do meu trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos os meus familiares e amigos, que sempre torceram por mim, e me ajudaram a chegar até aqui, muito obrigado.

RESUMO

A qualidade da água utilizada no preparo da calda de pulverização é um fator importante para a eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas. Entre os aspectos que interferem nesse processo, destaca-se a dureza da água, caracterizada pela presença de cátions como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Esses íons podem interagir com os ingredientes ativos dos herbicidas, formando complexos insolúveis que reduzem a solubilidade e, consequentemente, a eficiência dos produtos aplicados. Nesta pesquisa, o objetivo foi avaliar a eficiência de um corretor sequestrante comercial (Rizospray® Corretor Sequestrante) como redutor da dureza da água utilizada no preparo da calda de aplicação dos herbicidas atrazina, 2,4-D e oxyfluorfen. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Manejo de Plantas Daninhas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema de parcelas subdivididas, com a parcela correspondente as doses de adjuvante (0,10, 20, 40 e 60 ml de Rizospray® Corretor Sequestrante para 100 L de água) e a sub-parcela constituída das épocas de coleta (logo após o preparo da calda, uma hora, quatro horas e vinte e quatro horas após o preparo). Os resultados mostraram que o adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante aumentou a disponibilidade dos herbicidas atrazina e oxyfluorfen, com a maior dose (60 g/L) favorecendo a concentração de atrazina ao longo do tempo, o que indicou melhor solubilização e estabilidade. Por outro lado, o 2,4-D não apresentou variação significativa, sugerindo que a dureza da água influencia menos a sua solubilidade. Para o oxyfluorfen, a disponibilidade foi maior nas doses mais altas (40 e 60 g/L), indicando que o adjuvante potencializa sua solubilização e estabilidade. Assim, a dose mais alta de Rizospray® (60 g/L) foi a mais eficiente, especialmente para atrazina e oxyfluorfen, melhorando a qualidade da calda e a eficácia dos herbicidas.

Palavras-chave: Adjuvante; calda de aplicação; dureza.

ABSTRACT

The quality of the water used in preparing the spray solution is an important factor for the effectiveness of herbicides in controlling weeds. Among the factors that interfere with this process, water hardness stands out, characterized by the presence of cations such as calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}). These ions can interact with the active ingredients of herbicides, forming insoluble complexes that reduce solubility and, consequently, the effectiveness of the applied products. The objective of this study was to evaluate the efficiency of a commercial sequestrant agent (Rizospray® Sequestrant Corrector) as a reducer of water hardness in the preparation of spray solutions for the herbicides atrazine, 2,4-D, and oxyfluorfen. The experiments were conducted in the Weed Management Laboratory at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), using a completely randomized design (CRD) with three replications. The treatments were arranged in a split-plot design, with the main plot representing the doses of the adjuvant (0.10, 20, 40, and 60 ml of Rizospray® Sequestrant Corrector per 100 L of water) and the sub-plot corresponding to the sampling times (immediately after the preparation of the solution, one hour, four hours, and twenty-four hours after preparation). The results showed that the adjuvant Rizospray® Sequestrant Corrector increased the availability of the herbicides atrazine and oxyfluorfen, with the highest dose (60 g/L) favoring the concentration of atrazine over time, indicating better solubilization and stability. In contrast, 2,4-D did not show significant variation, suggesting that water hardness has less influence on its solubility. For oxyfluorfen, availability was higher at the higher doses (40 and 60 g/L), indicating that the adjuvant enhances its solubilization and stability. Therefore, the highest dose of Rizospray® (60 g/L) was the most effective, especially for atrazine and oxyfluorfen, improving the quality of the solution and the efficacy of the herbicides.

Keywords: Adjuvant; application solution; hardness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Figura 1. Regressão linear da concentração média de atrazina em função do tempo para diferentes doses (ml.100 L ⁻¹ de calda) de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante.....	23
Figura 2	–	Figura 2. Regressão linear da concentração média de atrazina em função das doses do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml 100 L ⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.....	24
Figura 3	–	Figura 3. Concentração média do herbicida 2,4D ao longo do tempo para diferentes doses de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml.100 L ⁻¹ de calda).....	25
Figura 4	–	Figura 4. Concentração média do herbicida 2,4-D em função da dose de adjuvante Rizospray ® Corretor Sequestrante (ml.100 L ⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.....	26
Figura 5	–	Figura 5. Regressão linear da concentração média de oxyfluorfen em função do tempo para diferentes doses (ml.100 L ⁻¹ de calda) de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante.....	27
Figura 6	–	Figura 6. Regressão linear da concentração média de oxyfluorfen em função das doses do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml 100 L ⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela1	–	Resultados da análise de água de poço utilizada no experimento.....	21
---------	---	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Bel	Bacharel
Ca ²⁺	Cálcio
Mg ²⁺	Magnésio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
Cal	Pressão de vapor
CE	Condutividade elétrica
P	Fósforo
CL	Cloro
CO ₃ ²⁻	Carbonatos
Dr	Doutor
Fe ²⁺	Ferro
g	Gramas
Há	Hectare
HCO ₃ ⁻	Íons bicarbonate
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
i.a	Ingrediente ativo
K ⁺	Potássio
Km	Quilômetros
K _{ow}	Coeficiente de repartição carbono-água
L	Litro
ml	Mililitro
mmHg	Milímetro de mercúrio
UR	Umidade Relativa
mPa	Megapascal
Na ⁺	Sódio
Pa	Pascal
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial hidrogeniônico
Ppm	Parte por milhão

R^2	Coeficiente de determinação
SwL	Solubilidade em água
Zn^{2+}	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada
©	Copyright

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Herbicidas.....	16
2.2 Qualidade da calda de pulverização.....	17
2.3 Influência da dureza da água na eficácia de herbicidas.....	18
2.4 Adjuvantes.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Atrazina.....	23
4.2 2,4-D.....	25
4.3 Oxyfluorfen.....	27
5. CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O controle das plantas daninhas é um dos maiores desafios enfrentados pelos produtores brasileiros, impactando diretamente o desenvolvimento das culturas. Uma das estratégias adotadas pelos produtores, a fim de erradicar ou reduzir as perdas causadas por este problema, é o uso do controle químico nas plantações, ou seja, a aplicação de herbicidas. Notavelmente, a utilização de herbicidas desempenhou um papel importante na expansão e desenvolvimento da agricultura brasileira. Estudos indicam que, em comparação com outros métodos de controle antes utilizados como o manual e o mecânico, o controle químico apresenta uma redução de 97% no tempo necessário para o controle das plantas daninhas (GIANESSI, 2013).

A qualidade da calda de aplicação é um fator determinante para a eficácia do controle químico de plantas daninhas, pois influencia diretamente a absorção, translocação e desempenho dos herbicidas no campo. Uma calda mal preparada pode comprometer a eficiência do ingrediente ativo, resultar em aplicações ineficazes e até favorecer o desenvolvimento de resistência nas espécies infestantes (SILVA et al., 2011). Fatores como o pH, a dureza da água, a presença de impurezas, a ordem de mistura dos componentes e o uso adequado de adjuvantes são fundamentais para garantir uma calda estável e eficiente (PROCÓPIO et al., 2010; MATUO, 1990).

A dureza da água utilizada durante o preparo da calda tem sido um fator importante para a qualidade da aplicação e tem relação direta com a eficácia dos agrotóxicos. Tal dureza está relacionada às elevadas concentrações de compostos, como carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos de vários cátions (QUEIROZ, 2008). A dureza da água é expressa em partes por milhão (ppm) de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Nakayama e Bucks (1986), as classificações são definidas como: água mole a branda (0-135), média dura a dura (135-350) e muito dura (>350).

A presença de cátions como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na água utilizada na aplicação pode provocar a interação desses íons metálicos com as moléculas de herbicidas, especialmente os que possuem carga negativa, como o glifosato. Essa interação resulta na formação de complexos insolúveis ou menos ativos, que reduzem a absorção foliar e a translocação do herbicida dentro da planta. Como consequência, a eficiência da aplicação é reduzida, podendo resultar em controle insatisfatório das plantas daninhas.

Uma das alternativas utilizadas na tentativa de reduzir a dureza da água é o uso de adjuvantes ou sequestrantes no preparo da calda. Os adjuvantes são substâncias ou compostos sem propriedade fitossanitária, que podem aumentar a eficiência ou modificar determinadas propriedades da solução, com o objetivo de facilitar a aplicação ou minimizar possíveis problemas, melhorando, assim, as propriedades físicas da mistura (QUEIROZ, 2008). Esses produtos são importantes por trazerem diversos benefícios, sendo considerados ótimos espalhantes e redutores de deriva. Além disso, aumentam a aderência dos defensivos o que facilita a absorção das plantas (FAVERIN, 2024). Dentre os adjuvantes utilizados, destacam-se o uso dos surfactantes, ideias para a aplicação dos herbicidas, pois, melhoram a aderência dos líquidos na superfície da planta, reduz o escoamento do produto e aumenta o tempo de permanência das gotas sobre as folhas (FLECK, 1993).

Os sequestrantes, ou agentes quelantes, são chamados assim pois têm capacidade de “sequestrar” íons metálicos presentes em um soluto ou solução, e são justamente esses íons metálicos como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) que causam a dureza na água (ACORSI, 2024). Os adjuvantes que possuem ação sequestrante, inativam os elementos que prejudicam os resultados das pulverizações, além do Ca^{2+} e do Mg^{2+} , também agem sobre substâncias como o zinco (Zn^{2+}) e o ferro (Fe^{2+}) (ARO, 2017).

A redução da disponibilidade de moléculas ativas de herbicidas na calda, em função do uso de água dura, pode comprometer o controle das plantas daninhas, favorecendo sua interferência sobre os cultivos ou elevando os custos de produção devido à necessidade de reaplicações. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante para aumentar a disponibilidade dos herbicidas atrazina, 2,4-D e oxyfluorfen na calda de pulverização preparada com água dura+.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Herbicidas

O uso de agrotóxicos no Brasil teve expansão durante o período conhecido como "Revolução Verde", com o objetivo de aumentar a produção e facilitar a realização das atividades de campo. Desde então, o aumento na compra desses produtos foi progressivo, na década de oitenta não só houve o aumento no mercado de defensivos, como também no de insumos e de sementes melhoradas (SALOMÃO, 2020).

Em uma pesquisa realizada em 2024, entre os meses de janeiro e junho, o Brasil registrou um aumento de 8,3% no volume de defensivos utilizados. Desses, os herbicidas lideram a lista, representando 40% do volume total (ALMEIDA, 2024). Em um levantamento feito em 2023, evidenciou-se que o Brasil possui 540 herbicidas registrados no mercado, compostos por 142 ingredientes ativos. Segundo o IBGE, no ano de 2023 a aplicação média de herbicidas no Brasil foi de 6,9kg por hectare por ano. As pesquisas indicam que, em todo o território nacional destinado à produção, foram utilizadas cerca de 470 mil toneladas de herbicidas (SINDAG, 2023).

A atrazina (2-cloro-4-etilamina-6-isopropilamina-s-triazina) é um herbicida seletivo amplamente utilizado no Brasil, especialmente no manejo de plantas daninhas em culturas como milho e cana-de-açúcar. De acordo com dados recentes, a atrazina ocupa a quinta posição no ranking geral dos agrotóxicos mais vendidos no país, sendo o terceiro herbicida mais comercializado, atrás apenas do glifosato e do 2,4-D (GOTTEMS, 2021). Pertencente ao grupo químico das triazinas, a atrazina possui ação sistêmica e pode ser aplicada em pré e pós-emergência, com alta eficácia no controle de plantas daninhas de folhas largas. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição do fotossistema II, comprometendo a fotossíntese e levando à morte da planta. Quimicamente, trata-se de um composto polar, não iônico, fracamente básico, com solubilidade moderada em água. Apresenta pressão de vapor de $3,87 \times 10^{-5}$ Pa a 25 °C e de $1,91 \times 10^{-4}$ Pa a 30 °C, e seu coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) é de 2,68, características que influenciam seu comportamento ambiental e a mobilidade no solo (JAVARONI, 1998; SILVA, 2023).

O 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) é um herbicida seletivo de ação sistêmica amplamente utilizado no Brasil, ocupando a segunda posição entre os herbicidas mais comercializados no país, atrás apenas do glifosato (GOTTEMS, 2021). Seu uso é recorrente

para a dessecação em mistura com outros herbicidas, com alta eficácia no controle de plantas daninhas de folhas largas. No entanto, sua aplicação se estende a diversas outras culturas e sistemas de manejo, como trigo, arroz, cana-de-açúcar, pastagens e áreas não agrícolas, sendo também empregado em programas de dessecação pré-plantio e no manejo de plantas daninhas em gramíneas forrageiras. Quimicamente, o 2,4-D é um composto polar, iônico, ácido e moderadamente solúvel em água. Pertence ao grupo dos mimetizadores de auxinas, ou herbicidas reguladores de crescimento, pois em doses subletais induz sintomas semelhantes ao excesso de auxinas naturais, provocando alterações no crescimento celular que levam à morte das plantas sensíveis. Seu coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) é de 2,47, e sua pressão de vapor (PV) é de $1,86 \times 10^{-2}$ mPa a 20 °C (GABARDO, 2015; SANTOS, 2022).

O oxyfluorfen (2-cloro-1-(3-etoxi-4-nitrofenoxi)-4-(trifluormetil) benzeno) é um herbicida de baixa solubilidade em água, o que favorece sua utilização em regiões tropicais, onde há alta ocorrência de precipitações. Seu mecanismo de ação está relacionado à inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), envolvida na biossíntese de clorofila, levando à formação de espécies reativas de oxigênio e à destruição das membranas celulares. É eficaz principalmente no controle de plantas daninhas de folhas largas, com uso preferencial em pré-emergência (PEREIRA, 1987). Embora não possua registro oficial para a cultura do melão no Brasil, o oxyfluorfen tem sido amplamente utilizado no manejo de plantas daninhas nessa cultura, devido à sua eficiência prática no campo. Quimicamente, é um composto básico, polar e não iônico, com pressão de vapor de 2×10^{-7} mm Hg a 25 °C e coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) de 4,73 (PUBCHEM, 2025).

Quando se fala em uso de defensivos, muitos produtores optam pela combinação de produtos durante o preparo da calda, a fim de otimizar mais a aplicação no alvo. No caso dos herbicidas e dos demais defensivos, é ideal ter um conhecimento sobre a formulação presente para evitar problemas de incompatibilidade no tanque de pulverização. Apesar de tudo, a eficiência dos herbicidas depende de diversos agentes, dentre eles da qualidade da calda de aplicação (OLIVEIRA, 2003).

2.2 Qualidade da calda de pulverização

A água é o principal componente da calda de pulverização, sendo essencial para o preparo e aplicação adequada dos defensivos agrícolas. No entanto, a qualidade dessa água deve ser cuidadosamente avaliada, pois características como alcalinidade e concentração de sais dissolvidos podem comprometer o desempenho dos produtos utilizados. Um dos principais

parâmetros a ser considerado é o pH. Soluções com pH abaixo de 7 são consideradas ácidas e podem acelerar a degradação do ingrediente ativo (i.a.) ou interferir nas propriedades físico-químicas da formulação. Já em soluções com pH acima de 7, ou seja, alcalinas, pode ocorrer a hidrólise do ingrediente ativo, resultando na formação de compostos inativos e, conseqüentemente, na redução da eficácia do tratamento (CONTIERO, 2018).

Outro fator que influencia no desempenho da aplicação é a pureza da água, tendo em vista que a presença de compostos orgânicos ou argila afeta diretamente a atividade de um ingrediente ativo. Esse efeito pode ocorrer em casos em que a calda passa mais de uma hora dentro do pulverizador, podendo gerar, entre outros problemas, o entupimento e o desgaste de pontas de pulverização. Por fim, o poder tampão da água é outra condição relevante, considerando que consiste na capacidade da água em neutralizar ácidos a ela adicionada (CONTIERO, 2018).

Durante o preparo da calda de pulverização, é comum que a água utilizada seja proveniente de diferentes fontes, como poços, açudes, riachos ou cisternas. Dependendo da origem, essa água pode apresentar características físico-químicas bastante distintas, capazes de interferir na qualidade e na eficiência das aplicações agrícolas. Em alguns casos, mesmo com a utilização de herbicidas recomendados e em doses corretas, observa-se a ausência de resposta nas plantas daninhas, o que pode ser atribuído, entre outros fatores, à qualidade da água empregada no preparo da calda (PONTES, 2023). Uma das causas mais frequentes — e muitas vezes negligenciada por técnicos e produtores — é a dureza da água de aplicação.

2.3 Influência da dureza da água na eficácia de herbicidas

A água dura pode interferir na eficácia dos herbicidas de duas maneiras principais. Primeiramente, algumas formulações contêm surfatantes aniônicos, os quais, ao entrarem em contato com a água dura, podem sofrer substituição de íons como sódio (Na^+) e potássio (K^+) por cálcio e magnésio. Essa troca resulta na formação de compostos insolúveis, reduzindo a disponibilidade do ingrediente ativo na calda (QUEIROZ, 2008). Outro caso ocorre com herbicidas formulados como ácidos ou sais solúveis; ao entrarem em contato com a água dura, também podem formar precipitados inativos. Os herbicidas mais afetados são geralmente os de caráter ácido fraco, cujas cargas negativas se ligam com facilidade aos cátions da água, especialmente quando o pH da solução está próximo de 7 (MARQUES, 2022).

O impacto é ainda mais severo no caso de herbicidas sistêmicos, como o glifosato, que dependem de uma absorção eficiente para translocação nos tecidos da planta. A complexação

com cátions bivalentes reduz a absorção foliar e, consequentemente, a eficiência do controle. Essa ineficiência pode resultar em rebrote das plantas daninhas, falhas no manejo e até seleção de biótipos resistentes. Assim, ignorar a dureza da água compromete não apenas a eficiência técnica, mas também a sustentabilidade do sistema produtivo.

A correção da dureza da água pode ser realizada por meio do uso de agentes quelantes ou sequestrantes, aplicados antes do preparo da calda, para complexar íons de cálcio e magnésio e evitar sua interação com os ingredientes ativos. Já os tensoativos não iônicos contribuem para a estabilidade físico-química da calda, melhorando a dispersão dos componentes (KISSMAN, 1997; PLÁCIDO, 2022). Um exemplo prático é a aplicação de adjuvantes corretivos específicos para esse fim, que preservam a funcionalidade dos herbicidas.

2.4 Adjuvantes

Os adjuvantes desempenham um papel essencial na eficiência dos herbicidas, especialmente em condições em que a qualidade da água pode comprometer sua eficácia. Dentre esses adjuvantes, destacam-se os sequestrantes de cátions, que atuam neutralizando íons como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), ferro (Fe^{3+}) e alumínio (Al^{3+}), impedindo a formação de complexos que reduzem a absorção dos herbicidas pelas plantas.

A dureza da água é um fator crítico que pode interferir diretamente na ação de herbicidas com carga negativa, como o glifosato. Para minimizar esse efeito, adjuvantes sequestrantes são utilizados para preservar a atividade dos herbicidas. Um estudo conduzido por Gustavo Yoshio Hiraoka Dalmolin na Universidade Estadual Paulista (Unesp) em 2024 avaliou a capacidade de diferentes adjuvantes na redução da dureza da água e suas influências nas propriedades físico-químicas das caldas herbicidas. Os resultados indicaram que nem todos os adjuvantes apresentam a mesma eficácia, sendo fundamental analisar sua compatibilidade com os herbicidas utilizados.

Entre os sequestrantes mais empregados, o sulfato de amônio (AMS) se destaca por sua dupla função, além de neutralizar Ca^{2+} e Mg^{2+} , ele também fornece íons NH_4^+ , que favorecem a absorção do glifosato pelas plantas. Um estudo publicado na revista ACS Environmental Au (2024) revelou que o AMS melhora significativamente a eficácia de herbicidas mimetizadores de auxina, reduzindo a interação dos cátions da água com as moléculas do herbicida.

Outro agente quelante amplamente utilizado é o ácido cítrico, um composto biodegradável capaz de complexar íons Ca^{2+} e Fe^{3+} , além de reduzir o pH da calda, favorecendo

a estabilidade de alguns herbicidas. No entanto, sua capacidade de sequestro pode ser limitada em águas de alta dureza, conforme apontado em um estudo de 2024 publicado na Journal of the American Oil Chemists' Society. Além desses, o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) é outro agente quelante bastante utilizado na indústria. Contudo, seu emprego na agricultura tem restrições devido à sua persistência ambiental, o que pode gerar impactos negativos ao meio ambiente.

A eficiência de um sequestrante de cátions está diretamente relacionada ao pH da água, funcionando melhor em meios alcalinos. Polifosfatos, por exemplo, são eficazes na complexação de íons metálicos dissolvidos, formando cadeias estáveis. No entanto, essa estabilidade pode variar dependendo das condições ambientais. Estudos indicam que cerca de 20% do manganês complexado é liberado após três dias de permanência em tubulações, sendo que altas doses de cloro podem acelerar a decomposição desses complexos (TING; 2008).

A seleção do adjuvante ideal deve considerar não apenas a dureza da água, mas também o tipo de herbicida empregado. Para águas com dureza acima de 100 ppm de CaCO_3 , o uso de sequestrantes como AMS é recomendado para garantir a manutenção da eficácia dos herbicidas. Pesquisas recentes continuam explorando novas formulações de adjuvantes que possam aliar alta eficiência com menor impacto ambiental, aprimorando assim o manejo de herbicidas em diversas condições agronômicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados durante os meses de fevereiro a março de 2025 no Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo de Plantas Daninhas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte.

Cada experimento correspondeu a um herbicida avaliado: atrazina, 2,4-D e oxyfluorfen. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas das doses de adjuvante (0,10, 20, 40 e 60 ml de Rizospray® para 100 L de água), enquanto o tempo de coleta (logo após o preparo da calda, uma hora, quatro horas e vinte e quatro horas) foram considerados a subparcela.

O adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante, da empresa Rizobacter, foi o sequestrante utilizado neste estudo. Trata-se de um produto composto por fosfonatos, como o ácido fosfonometil e o ácido NTMP, que atuam como agentes quelantes. Possui ação específica na complexação de cátions como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), ferro (Fe^{3+}) e alumínio (Al^{3+}), frequentemente encontrados em águas com elevada dureza. Cada unidade experimental correspondeu a uma garrafa PET de 500 ml, adicionada com 250 ml de água de poço da fazenda experimental Rafael Fernandes (Alagoinha), pertencente a UFERSA.

A análise da água foi realizada por titulação colorimétrica com uma solução de EDTA, os resultados encontram-se descritos na Tabela 1. De acordo com a classificação proposta por Nakayama e Bucks (1986), a água do experimento foi classificada como dura. O volume de cada concentração do adjuvante ficou definida como: a testemunha (concentração zero), 10 ml correspondendo a 25 µl (vinte e cinco microlitros), 20 ml equivalendo a 50 µl, 40 ml resultando em 100 µl e 60 ml correspondente a 150 µl.

Tabela 1. Resultados da análise de água de poço utilizada no experimento

Tipo de amostra	pH (água)	CE dS/m	K+	Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CL	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	P mg/L	RAS	Dureza mg/L	Cátions mmol/L	Ânions mmol/L
Água de poço	7,49	0,77	0,70	2,09	3,31	1,83	4,00	0	4,40	-	1,3	257	7,90	8,40

Potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloro (CL), carbonatos (CO₃²⁻), íon bicarbonato (HCO₃⁻), fósforo (P).

As doses dos herbicidas aplicados foram calculadas a partir das doses recomendadas pela bula de cada produto. As doses, do produto formulado por hectare, escolhidas foram: 4

L/ha de atrazina, 1 L/ha de 2,4-D e 2 L/ha de oxyfluorfen. Todas essas doses foram ajustadas conforme o volume das garrafas, convertendo para: 5 ml de atrazina, 1,25 ml de 2,4-D e 2,5 ml de oxyfluorfen, considerando um volume de calda de 200 litros por hectare.

Ao todo realizou-se quatro extrações, totalizando quatro intervalos de tempos. De início, a primeira extração foi realizada imediatamente após a produção da calda. A segunda extração foi feita uma hora após a produção da calda, a terceira extração ocorreu quatro horas após a primeira extração. A quarta e última extração foi efetuada no dia seguinte após a montagem do experimento, totalizando vinte e quatro horas após a produção da calda.

Para cada garrafa, foram retiradas quatro amostras, totalizando, uma extração de 180 amostras durante toda a condução do experimento. A extração foi realizada por meio de seringas e filtros, sendo coletado por volta de 1 ml de cada diluição. Todas as amostras foram armazenadas em tubos de *vials*, e refrigeradas assim que concluída cada extração das 45 garrafas. Ao término de tudo, os tubos foram levados para a análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) para determinar a quantidade de compostos químicos presentes na água.

A análise dos dados foi realizada por meio de um delineamento em parcelas subdivididas, calculando médias e erros padrão para cada combinação de dose e tempo. A variação das concentrações dos herbicidas atrazina, 2,4-D e oxyfluorfen ao longo do tempo e em diferentes doses foi modelada por regressão linear, com bons ajustes para atrazine e oxyfluorfen. No entanto, para o herbicida 2,4-D, a regressão não apresentou um bom ajuste. A comparação entre os tratamentos foi feita com o teste de Tukey a 5% de significância. As análises foram conduzidas no software R, utilizando os pacotes 'ggplot2', 'dplyr' e 'ExpDes.pt'.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atrazina

As concentrações do herbicida variaram em relação ao tempo de avaliação e a dose do adjuvante (Figura 1). A disponibilidade de atrazina teve tendência de aumento quando não houve uso de adjuvante (0 g/L, testemunha). Porém, esse tratamento foi o de menor disponibilidade do herbicida em todas as épocas.

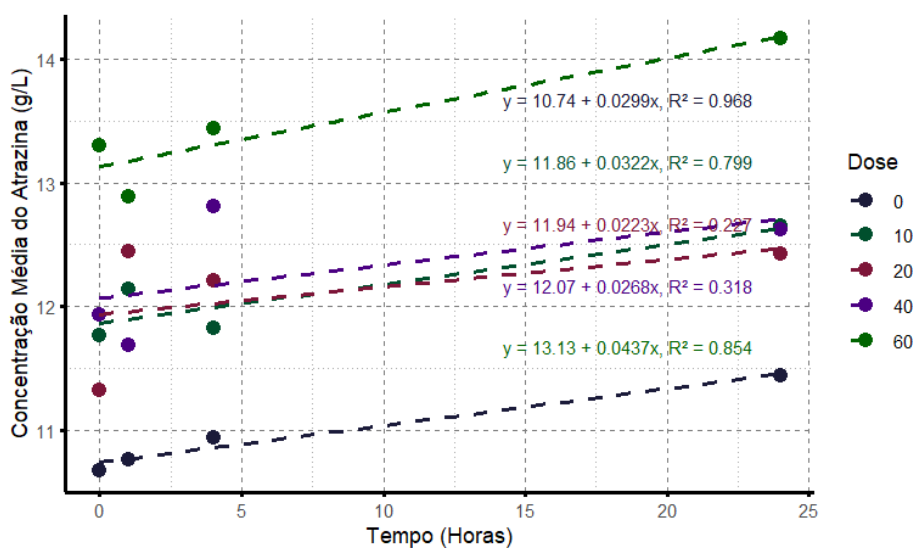


Figura 1. Regressão linear da concentração média de atrazina em função do tempo para diferentes doses (ml.100 L⁻¹ de calda) de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante.

Um trabalho feito por Perim (2011), observou-se que o uso de adjuvantes em combinação com Atrazina em calda, reduziu a tensão superficial da mistura após 12 horas da preparação. Este trabalho mostrou resultados mais expressivos sobre caldas que apresentaram pH mais ácidos (pH 3), diferente de caldas que apresentaram pH mais alcalino (pH 9), que resultam em um aumento na tensão superficial. A análise de regressão linear entre a concentração do herbicida e o tempo, demonstrou que a maior dose do adjuvante (60 g/L), apresentou uma concentração inicial mais alta. Com o passar do tempo, o coeficiente angular da curva se apresentou maior (coeficiente angular de 0.0437) comparada as outras doses. Além de ter apresentado um ajuste adequado ($R^2 = 0.854$), indicando que a variação dos dados é bem explicada pelo modelo (Figura 1).

O tratamento sem adjuvante (0 g/L), resultou em um comportamento mais previsível, pelo fato de ter apresentado um coeficiente angular menor (0.0299), o que pode estar relacionado a não ter adjuvante, com um excelente ajuste ($R^2 = 0.968$) (Figura 1). Em um estudo

feito por Locke *et al* (2002), com adjuvantes (não-íonicos, cationicos e aníonicos), mostrou que a mistura deles junto ao herbicida Atrazina, ocasionaram no aumento da solubilidade em água.

As outras doses (10, 20 e 40 g/L) apresentaram coeficientes angulares próximos, e coeficientes de determinação mais baixos (R^2 entre 0.227 e 0.799). Os coeficientes de determinação baixos indicam uma maior variabilidade nos dados principalmente as doses de 20 e 40 g/L (Figura 1). Esses resultados sugerem que o efeito do adjuvante nessas concentrações não é forte o suficiente para gerar uma mudança consistente ao longo do tempo.

A regressão linear entre as doses do adjuvante e a concentração de atrazina indica que a concentração do herbicida tende a aumentar com o incremento da dose do adjuvante, assim como mostra a Figura 2. Sobiech (2020), fala que herbicidas iônicos tendem a ser mais solúveis em água do que os não iônicos.

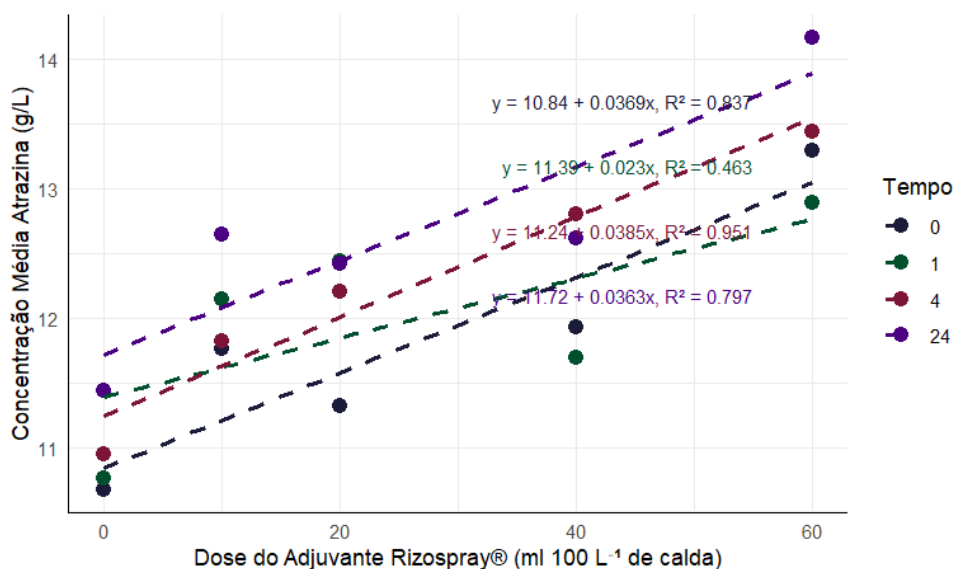


Figura 2. Regressão linear da concentração média de atrazina em função das doses do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml 100 L⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.

Isso sugere que o adjuvante pode estar promovendo maior solubilização do herbicida, facilitando sua dissolução, e possivelmente, a absorção na calda. HAZEN (2000), afirma que os adjuvantes são usados para melhorar as propriedades físico-química dos herbicidas. O coeficiente angular das equações de regressão indica a intensidade desse efeito em cada tempo analisado, sendo mais acentuada em alguns momentos.

O coeficiente de determinação (R^2) se apresentou maior no tempo de 4 horas ($R^2 = 0,951$), indicando um bom ajuste. Em contrapartida, o tempo de 1 hora foi o que apresentou

menor coeficiente angular ($R^2 = 0,463$), mostrando uma maior variabilidade dos dados e um ajuste menos satisfatório da regressão (Figura 2).

4.2 2,4-D

A análise de variância para os dados da variável concentração de herbicidas não apresentou significância para os fatores tempo e dose do adjuvante Rizospray®. De maneira, geral o uso de adjuvante não alterou a disponibilidade de 2,4-D na calda durante os tempos de avaliação (Figura 3).

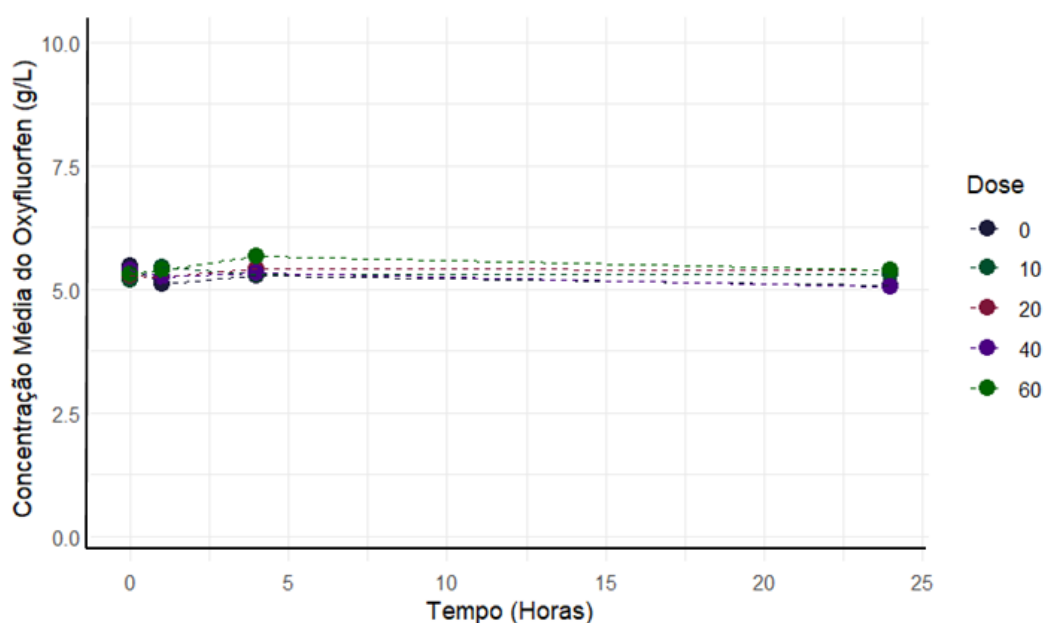


Figura 3. Concentração média do herbicida 2,4D ao longo do tempo para diferentes doses de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml.100 L-1 de calda).

Em algumas soluções, íons livres presentes na água dura, principalmente os de Ca^{2+} e Mg^{2+} , podem acabar se combinando com moléculas orgânicas, como ocorre com o 2,4-D. Isso por sua vez, acaba diminuindo a quantidade de ingrediente ativo disponível, o que faz com que, reduza a eficácia biológica do herbicida (QUEIROZ, 2008). Herbicidas com caráter ácido, como o 2,4-D, também pode apresentar redução na sua eficiência devido a elevados valores do pH da calda (WANAMARTA; PENNER, 1989).

O Aminol 806 (2,4-D), na forma de sal amina, possui em sua composição dimetilamina, que consiste em composto químico orgânico da classe das aminas. Em um estudo feito por Pinheiro (2012), íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) presentes na água dura, prejudicaram a adsorção da amina na superfície do quartzo devido à competição por sítios

negativos. Quando a dureza da água foi reduzida (por flotação iônica), o desempenho da amina melhorou significativamente. Assim como a dodecilamina, o 2,4-D também perde eficácia devido à competição dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} pelos sítios de interação na solução. No entanto, com o uso de adjuvantes sequestrantes, a dureza da água é reduzida, assegurando uma melhor absorção e eficácia do produto.

Em um estudo conduzido por Avila Neto (2024), foi avaliado o impacto do nível de dureza da água na eficiência do 2,4-D amina no controle de *Ipomoea spp.* Os dados mostraram que a medida que o tempo entre o preparo da calda com a aplicação aumentava, ocorria uma maior perda na eficiência do controle, principalmente em relação ao efeito da dureza da água.

Os dados apresentados na Figura 4 indicam que a concentração média do herbicida 2,4-D (g/L) se manteve estável ao longo do tempo, independentemente da dose aplicada. As curvas correspondentes aos diferentes tempos de avaliação (0, 1, 4 e 24 horas) mostram valores muito próximos entre si, com variações mínimas, sugerindo que não houve degradação significativa do ingrediente ativo durante o intervalo analisado. Isso demonstra que o 2,4-D apresentou alta estabilidade na calda, permanecendo quimicamente disponível mesmo após 24 horas do preparo

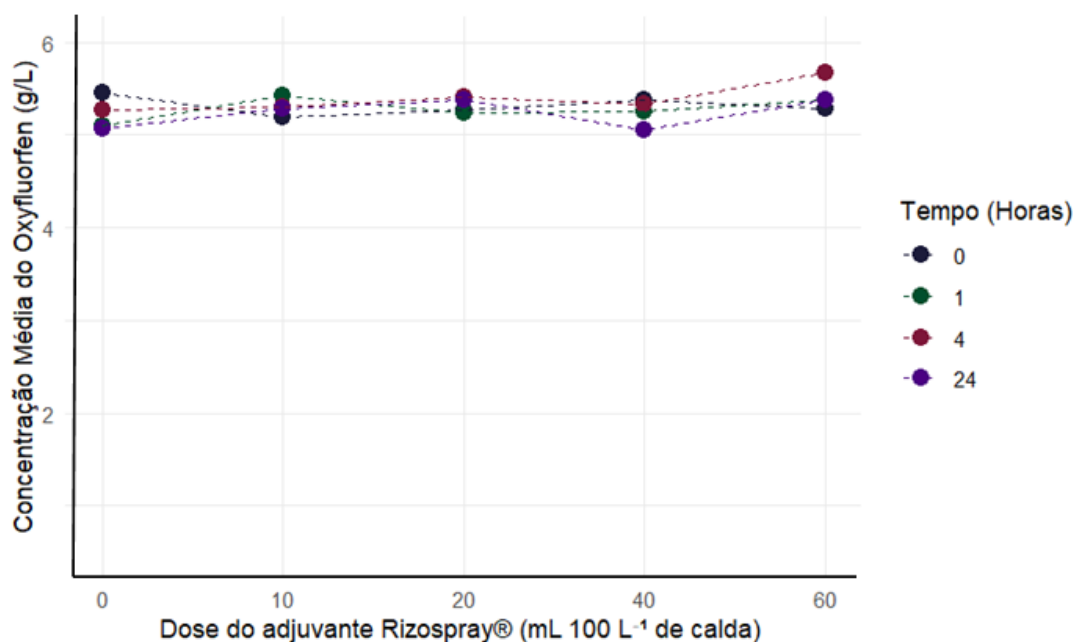


Figura 4. Concentração média do herbicida 2,4-D em função da dose de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml.100 L⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.

Estudos indicam que a solubilidade do 2,4-D é de 45 g.L⁻¹, mas essa solubilidade diminui em soluções de pH extremamente ácido devido à formação da espécie não dissociada (RUFFATTO, 2023). Da mesma forma, o dicamba, que apresenta o mesmo mecanismo de ação

que o 2,4-D, pode ser influenciado pelas condições do ambiente de aplicação. Em um estudo de Ferreira (2020), a mistura do dicamba com um adjuvante demonstrou boas características físico-químicas, considerando o pH elevado e valores satisfatórios de condutividade, ângulo de contato e tensão superficial.

Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam a estabilidade do 2,4-D na calda ao longo do tempo, indicando a ausência de degradação significativa do ingrediente ativo nas condições avaliadas. A manutenção da concentração do herbicida sugere que não ocorreram interações químicas adversas que comprometessem sua disponibilidade. No entanto, considerando que a solubilidade e a estabilidade do 2,4-D podem ser influenciadas por variáveis como a dureza da água e o pH da calda (QUEIROZ, 2008; RUFFATTO, 2023), torna-se fundamental o monitoramento rigoroso desses parâmetros.

4.3 Oxyfluorfen

O oxyfluorfen, apresentou uma linearidade desde o início (0 hora) até o final do experimento (24 horas). Após 1 hora, as concentrações apresentaram um crescimento nas duas últimas horas. Além disso, com o aumento das doses escolhidas, houve um crescimento proporcional da curva (Figura 5). A regressão linear sugere que, quanto maior for a dose do adjuvante, maior será o aumento da concentração ao longo do tempo, conforme demonstrado pelos coeficientes angulares mais elevados.

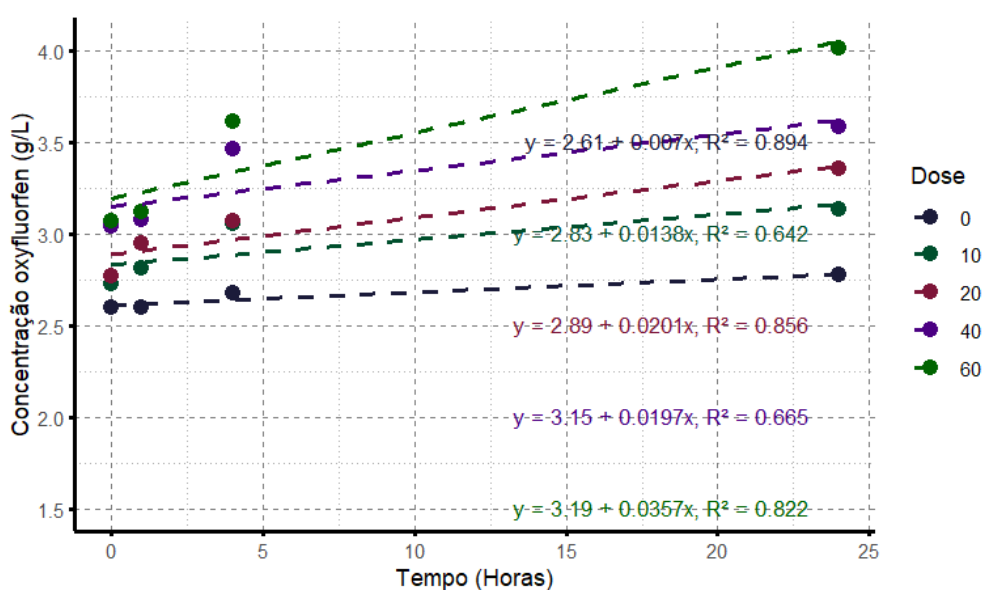


Figura 5. Regressão linear da concentração média de oxyfluorfen em função do tempo para diferentes doses (ml.100 L⁻¹ de calda) de adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante.

Isso sugere que fatores adicionais como a própria composição do herbicida influenciam na ação do adjuvante. Roskamp (2013), analisou a ação do saflufenacil, sobre diferentes níveis de dureza de água (0, 310 e 620 mg L⁻¹), sobre o controle de *Chenopodium album*, onde obteve-se que a dureza da água não interferiu na ação do herbicida.

O Goal® BR (oxyfluorfen), é descrito como um concentrado emulsionável. Savoy (2004), realizou um estudo mostrando que os concentrados emulsionáveis apresentam maior estabilidade em água dura. Em sua pesquisa, a emulsão foi mais estável em uma água com 178 ppm de CaCO₃, do que uma com 15 ppm de CaCO₃, além disso, a formação de espuma foi menor com o aumento da dureza da água.

As doses de 40 e 60 g/L apresentaram maior disponibilidade do herbicida na calda em relação a testemunha com incrementos de 28,5% e 40% respectivamente. Já as outras doses (0, 10 e 20 g/L), mostraram uma variação mais lenta na concentração ao longo do tempo. Em um estudo de Karpinski et al. (2015), foi observado que a adição de adjuvantes à calda do herbicida *oxyfluorfen* aumentou a eficiência da aplicação. Isso ocorreu devido a uma maior deposição da calda nas plantas tratadas, resultando em uma melhor cobertura e potencializando o efeito do herbicida.

Os valores dos coeficientes de determinação (R²) sugerem que, embora a tendência seja crescente, a relação não é perfeitamente linear, indicando que outros fatores podem influenciar a estabilidade do herbicida na solução (Figura 6). As vezes, o próprio pH da calda influencia no tempo em que o i.a vai se manter intacto (WHITFORD et al., 2009).

Quanto as doses, a regressão linear da dose em diferentes tempos de aplicação, mostrou que existe uma forte relação entre a dose do adjuvante com a concentração do herbicida, principalmente nos tempos mais longos, mostrados na Figura 8. A partir da análise, é possível afirmar que o adjuvante pode influenciar a solubilidade e a estabilidade do herbicida ao longo do tempo.

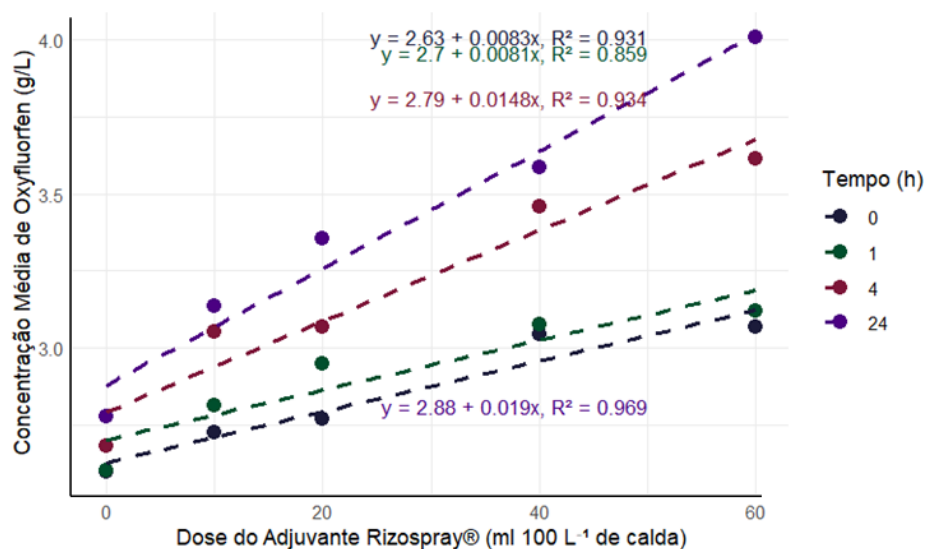


Figura 6. Regressão linear da concentração média de oxyfluorfen em função das doses do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante (ml 100 L⁻¹ de calda) para diferentes tempos de avaliação.

Green (2000), lista vários processos em que o adjuvante agrícola causa interferência, com relação a mistura em tanque, ele afirma que melhora as questões de compatibilidade, estabilidade, solubilidade, espuma e proteção. Holloway et al (2000), fala que o resultado da mistura, depende do tipo de adjuvante inserido. Os surfactantes são aqueles que apresentam um comportamento mais “fácil” de ser previsto, já emulsões e redutores de deriva, apresentam um efeito mais complexo aos demais. De maneira geral, o uso de corretores sequestrantes desempenha um bom resultado no preparo de caldas, aumentando a disponibilidade dos herbicidas na solução e melhora seu desempenho mesmo na presença de água dura.

5. CONCLUSÃO

A água dura utilizada no preparo da calda interfere diretamente na disponibilidade dos herbicidas atrazine e oxyfluorfen. O uso do adjuvante Rizospray® Corretor Sequestrante melhora a solubilização e estabilidade dos dois herbicidas. A dose mais alta de adjuvante (60 g/L) se mostra mais eficiente para minimizar os problemas de disponibilidade do herbicida.

REFERÊNCIAS

- ACORSI, RENAM LUIS. **Sequestrantes: função e importância nas formulações**. *Macler*, 25 nov. 2024. Disponível em: <https://www.macler.com.br/post/2024/11/25/sequestrantes-funcao-e-importancia-nas-formulacoes/>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- AL-GAILANI, AMTHAL et al. Evaluation of Natural Organic Additives as Eco-friendly Inhibitors for Calcium and Magnesium Scale Formation in Water Systems. **ACS Environmental Au**, v. 4, n. 6, p. 354-365, 2024.
- ALMEIDA, H. Defensivos agrícolas: crescem áreas tratadas no 1o semestre de 2024, diz pesquisa. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/areas-tratadas-por-defensivos-agricolas-crescem-93-no-1o-semester-de-2024-diz-pesquisa/>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- ARO. **O que são adjuvantes agrícolas?** | Brasquímica. Disponível em: <https://www.brasquimica.ind.br/blog/o-que-sao-adjuvantes-agricolas>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- AVILA NETO, R. C. et al. pH e dureza da água na eficiência de herbicidas imitadores de auxina. **Ciência rural**, v. 54, n. 4, p. e20230005, 2024.
- CONTIERO, R.L., BIFFE, D.F., and CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449.
- DALMOLIN, GUSTAVO YOSHIO HIRAOKA. **Capacidade de sequestro de cátions e propriedades físico-químicas em calda herbicida em mistura com adjuvantes**. 2024.
- DA SILVA, K. S. **Atrazina**. Disponível em: <https://weedout.com.br/atrazina/>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- DE CÁSSIA A. JAVARONI, R. **COMPORTAMENTO DOS HERBICIDAS ATRAZINA E ALACLOR APLICADOS EM SOLO PREPARADO PARA O CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/XtGWFGGrXtjsjRV5XqZpPw3P/?format=pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- FAVERIN, V. **Mercado de adjuvantes quadruplica em 9 safras; soja lidera demanda**. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/projeto-soja-brasil/mercado-de-adjuvantes-quadruplica-em-9-safras-soja-lidera-demanda/>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- FERREIRA, P.H.U., THIESEN, L.V., PELEGRINI, G. et al. **Propriedades físico-químicas, tamanho de gotículas e volatilidade do dicamba com herbicidas e adjuvantes em mistura em tanque**. *Sci Rep* 10, 18833 (2020).
- FLECK, N. G. **Controle químico de plantas daninhas**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 132 p.
- GABARDO, RENATA PRUSSAK. **Estudo para determinação de herbicida 2,4-D em água através de CLAE-DAD**. 2015.

GIANESSI, P.L. The Increasing Importance of Herbicides in Worldwide Crop Production. **Pest Management Science**, v.69, n.10, p.1099-1105, 2013.

GOTTEMS, LEONARDO. **TOP 10 best-selling agrochemicals in Brazil**. AgroPages, 21 jul. 2021. Disponível em: <https://news.agropages.com/News/NewsDetail---39821.htm>. Acesso em: 20 mar. 2025.

GREEN, J. M. Adjuvants in agricultural sprays: a review. **Pest Management Science**, v. 56, n. 3, p. 235-242, 2000.

HAZEN, J. L. Adjuvants: terminology, classification, e chemistry. **Weed Technology, Champaign**, v. 14, p. 773-784, 2000.

HOLLOWAY, J. W. et al. Adjuvants in pesticide formulations: effects on tank mix compatibility, spray characteristics and pesticide performance. **Pest Management Science**, v. 56, n. 3, p. 271-277, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

JORNAL DA SOCIEDADE AMERICANA DE QUÍMICOS DE PETRÓLEO. **Análise da eficiência do ácido cítrico como sequestrante de cátions em soluções aquosas**. Journal of the American Oil Chemists' Society,. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11746> . Acesso em: 20 mar. 2025.

KARPINSKI, P.K.K. et al. **Deposição da aplicação de herbicida na cultura da cebola em função de adjuvantes e distribuição especial das plantas**. In: IV SIEPE - Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão; XXIV EAIC - Encontro Anual de Iniciação Científica, 2015, Guarapuava - PR. Anais do IV Encontro Anual de Iniciação Tecnológica e Inovação - EAITI. Guarapuava: Unicentro, 2015.

KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: BASF, 1997. 824p.

LOCKE, M. A., REDDY, K. N., GASTON, L. A., & ZABLOTOWICZ, R. M. (2002). Modificação adjuvante das interações herbicidas em suspensões aquosas do solo. **Ciência do solo**, 167(7), 444-452.

MARQUES, L. **Dureza da água: o que é e como pode afetar a aplicação?** Disponível em: <https://elevagro.com/blog/dureza-da-agua-o-que-e-e-como-pode-afetar-a-aplicacao/>. Acesso em: 22 fev. 2025.

MATUO, T. Uso de adjuvantes em caldas de agrotóxicos. **Planta Daninha**, v. 8, n. 1, p. 29–36, 1990.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. St. Joseph: ASAE, 383p, 1989.

OLIVEIRA, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle

de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. **Planta daninha**, v. 21, n. 3, p. 435–442, 2003.

PENNER, D. Activator adjuvants. **Weed technology**, Champaign, v. 14, p. 785-791, 2000.

PEREIRA, WALTER S. P. **Herbicida de pré-emergência - Oxifluorfen**. Série Técnica IPEF, v. 4, n. 12, p. 45-60, set. 1987.

PERIM, LUCAS. **Efeitos de óleos nas características físicas e químicas da calda de aplicação e na ação da atrazina**. 2011. vii, 92 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2011.

PINHEIRO, V. DA S.; BALTAR, C. A. M.; LEITE, J. Y. P. Flotação com amina: a importância da qualidade da água. Rem: **Revista Escola de Minas**, v. 65, p. 549–552, 1 dez. 2012.

PLACIDO, HENRIQUE FABRICIO. **Adjuvante: como e quando usar para melhorar seu manejo**. FisioAgri. Disponível em: <https://www.fisioagri.com.br/adjuvante-como-e-quando-usar-para-melhorar-seu-manejo>. Acesso em: 07 mar. 2025.

PONTES, L. D. S. **QUALIDADE DA ÁGUA PARA PREPARO DE CALDA HERBICIDA NO CONTROLE DE CAPIM AMARGOSO**. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/32254/1/qualidadeaguacaldaherbicida.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

PROCÓPIO, S. O. et al. Tecnologia de aplicação de herbicidas: uma abordagem prática. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 1, n. 1, p. 109–118, 2010.

PUBCHEM. **Oxyfluorfen**. Disponível em: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Oxyfluorfen?utm_source=chatgpt.com#section=Vapor-Pressure. Acesso em: 24 mar. 2025.

QUEIROZ, ANGÉLICA ARAUJO; MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS; CUNHA, JOÃO PAULO ARANTES RODRIGUES DA. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 8-19, out./dez. 2008.

ROSKAMP, J.M.; TURCO, R.F.; BISCHOFF, M.; JOHNSON, W.G. **A influência do pH e dureza da água transportadora**. Tecnologia de ervas daninhas. 2013, 27, 527–533.

RUFFATTO, M. V. **Avaliação do uso de radiação UV, ozônio e catalisadores bem como suas combinações para degradação do herbicida 2,4-D**. Handle.net, 2023.

SALOMÃO, P. E. A.; FERRO, A. M. S.; RUAS, W. F. Herbicides in Brazil: a brief review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. e32921990, 2020.

SANTOS, T. A. dos; MORAIS, A. F. G. .; PINHO, P. da S. .; DIAS, V. O. .; SANTOS, L. S. dos .; CRUZ, L. R. da .; LEITE, H. M. F. . Influence of post-emergence 2,4-D herbicide on agronomic performance of creole maize compared to commercial cultivars in western Amazon. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e1511628599, 2022.

SAVOY, E. HENRY JAMES GOES to the Movies (review). **The Henry James Review**, v. 25, n. 3, p. 299–304, 2004.

SINDAG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. Disponível em <http://www.sindag.com.br/>. Acesso em: 13 de setembro de 2023

SILVA, A. A. et al. **Interação entre adjuvantes e herbicidas**. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Orgs.). *Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas*. Viçosa: UFV, 2011. p. 183–218.

SOBIECH, Ł.; OLIVEIRA, M.; SKRZYPCZAK, G.; IDZIAK, R.; WŁODARCZAK, S.; OCHOWIAK, M. **Efeito de adjuvantes e ajustador de pH na eficácia do herbicida sulcotriona**. *Agronomia* 2020, 10, 530. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040530>

TING, AARON; COELHO, JESSICA, M.; KUCHER, KATRINA, M. **Polyphosphate Sequestration of Manganese (II)**. 2008. 74 f. Major Qualifying Project Report (Degree of Bachelor of Science) - Faculty of Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 2008

WANAMARTA, G., PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v. 4, n. 1, p. 215-232, 1989.

WHITFORD, FRED et al. “Impact of water quality on pesticide performance”. **Purdue Extension**, PPP-86, Purdue University (2009).