EFEITO DA DUREZA DA ÁGUA NA EFICÁCIA DE CALDAS DE HERBICIDAS À BASE DE GLIFOSATO

Isabele Andrade Garcia, João Victor Gomes Ramos, Leonardo Peres Moreira, Ingo Hoffmann Curti, Júlia Aparecida Botelho Paulucio, Samuel de Assis Silva.

Universidade Federal do Espírito Santo/ Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/ Departamento de Agronomia, CEP 29500-000 Alegre-ES, Brasil, isabeleandradegarcia@gmail.com, Joaogomesr12@gmail.com, leo.peres.moreira@hotmail.com, ingo.curti@edu.ufes.br, pauluciojulia@gmail.com, samuel.silva@ufes.br.

Resumo

O glifosato é o herbicida mais utilizado no mundo, sendo fundamental para o controle de plantas daninhas de diversos cultivos agrícolas. Entre os fatores que mais influenciam a eficácia da aplicação desse herbicida está a dureza da água utilizada para o preparo da calda de pulverização, parâmetro que expressa a concentração de cátions presentes na água. Este trabalho constitui uma revisão de literatura cujo objetivo foi discutir o efeito da dureza da água sobre a eficácia de caldas de herbicidas à base de glifosato, abordando o conceito da dureza de água, como a dureza interfere na eficácia da calda e o manejo recomendado. A metodologia consistiu em um levantamento de literatura, utilizando artigos científicos, dissertações e teses disponíveis. Os resultados indicaram que esse parâmetro avaliado pode interferir na eficácia do glifosato, principalmente pela formação de complexos estáveis do herbicida com os cátions. Conclui-se que o devido conhecimento sobre a dureza da água é de suma importância, associado às estratégias de manejo adequado da qualidade da água, para a mitigação do seu efeito negativo na eficácia do herbicida no controle das plantas daninhas.

Palavras-chave: Herbicida. Glifosato. Dureza. Qualidade da água. Tecnologia de aplicação.

Área do Conhecimento: Engenharia agronômica - Agronomia

Introdução

O glifosato é reconhecido como um dos herbicidas mais utilizados no Brasil e no mundo, empregado principalmente no controle de plantas daninhas em sistemas de plantio direto e em culturas tolerantes ao produto (Amarante Júnior et al., 2002). É um herbicida sistêmico e não seletivo, cujo mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), interrompendo a rota do ácido chiquímico e a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (Gomes, 2011). Sua ampla utilização está associada aos prejuízos causados pelas plantas daninhas às culturas agrícolas, em que a presença dessas espécies durante todo o ciclo de desenvolvimento pode acarretar perdas de produtividade.

Diante desse cenário, o controle químico eficiente das plantas daninhas é uma das principais ferramentas para garantir a produtividade e a rentabilidade da atividade agrícola. Contudo, diversos fatores podem interferir na eficácia da aplicação do glifosato, entre eles a qualidade química da água utilizada no preparo da calda de pulverização, especialmente sua dureza (Daramola et al. 2022). O glifosato é, segundo Daramola et al. (2022), o herbicida mais estudado quanto ao antagonismo causado por águas duras, sendo relatada redução na sua eficácia na presença de cátions como cálcio e magnésio na água de pulverização.

A dureza da água corresponde à concentração de cátions multivalentes dissolvidos, principalmente cálcio e magnésio, sendo expressa em miligramas por litro ou partes por milhão de carbonato de cálcio equivalente (Silva, 2025). Esses cátions podem interagir quimicamente com moléculas de herbicidas ácidos fracos, como o glifosato, formando complexos que reduzem sua disponibilidade e sua capacidade de absorção pelas plantas (Kroth, 2025). Como a qualidade da água disponível nas propriedades agrícolas é variável, dependendo da fonte utilizada, torna-se relevante compreender de que forma a dureza interfere na eficácia do glifosato e quais estratégias podem ser adotadas para minimizar eventuais perdas.

Nesse cenário, o objetivo desta revisão de literatura é discutir o efeito da dureza da água sobre a eficácia de caldas de herbicidas à base de glifosato, abordando o conceito de dureza da água, os mecanismos de interação entre os cátions presentes na água e a molécula do glifosato e as estratégias de manejo recomendadas para otimizar o desempenho da aplicação.

Metodologia

O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura, desenvolvida a partir do levantamento bibliográfico de artigos científicos, dissertações e teses relacionadas ao glifosato, à qualidade da água utilizada em pulverizações agrícolas e ao efeito da dureza da calda sobre a eficácia de herbicidas. A busca dos trabalhos foi realizada principalmente nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico e em repositórios institucionais de universidades públicas brasileiras.

Trata-se de uma revisão narrativa, de caráter não sistemático, pois o objetivo foi descrever e discutir o tema, e não quantificar o efeito da dureza por meio de síntese estatística. Foram utilizadas as palavras-chave “dureza da água”, “efeito da dureza da água no glifosato”, “manejo da dureza em caldas de pulverização” e “qualidade da água de pulverização”

A busca contemplou publicações em português e inglês, que tratavam diretamente da dureza da água, de sua classificação e métodos de determinação, do mecanismo de interação entre os cátions e o glifosato ou do manejo da calda de pulverização. Foram excluídos os trabalhos que não abordavam a qualidade da água de pulverização ou que não tinham relação com o glifosato.

A seleção priorizou publicações recentes, principalmente do período de 2020 a 2025, sem excluir estudos anteriores de reconhecida relevância para o tema. Entre estes, destaca-se o trabalho de Thelen, Jackson e Penner (1995), frequentemente citado na literatura sobre o antagonismo da água dura à atividade do glifosato. Foram selecionados 10 trabalhos, entre artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos, considerando sua relação com o objetivo da revisão e sua contribuição para a compreensão dos mecanismos de interação entre os cátions presentes na água e o herbicida, bem como das estratégias de manejo recomendadas.

Resultados e Discussão

O que é a dureza da água da calda?

A dureza da água é um parâmetro físico-químico definido como a concentração total de cátions multivalentes dissolvidos na solução, sendo expressa quantitativamente em miligramas por litro (mg L^{-1}) ou partes por milhão (ppm) de Carbonato de Cálcio (CaCO3) (Silva, 2025). Os principais íons que estão presentes nas águas agrícolas e que causam perda da eficácia dos herbicidas são os íons de Cálcio (Ca2+), Magnésio (Mg2+), Ferro (Fe2+ e Fe3+), Alumínio (Al3+) e Manganês (Mn2+) (Kroth, 2025).

A classificação da qualidade da água em relação ao grau de dureza possui 4 categorias (Nolasco, 2020). A Tabela 1 apresenta a categorização da água em função da concentração total de CaCO3.

Tabela 1 - Classificação da dureza total da água.

Dureza	Concentração de CaCO3(mg/L)
Mole ou Branda	<50
Moderada	Entre 50 e 150
Dura	Entre 150 e 300
Muito dura	>300

Fonte: Nolasco, 2020

A água utilizada para o preparo da calda de pulverização pode ser de fonte de superfície (riachos,

lagoas, canais, reservatórios ou lagos) e fontes subterrâneas (poços artesianos) (Daramola, 2022). Por possuir diversas fontes, sua composição e qualidade podem variar também. As águas brasileiras apresentam, em sua maioria, baixa dureza (Alves, 2020), o que reduz problemas na pulverização, mas ainda é importante a avaliação da dureza antes do preparo da calda de pulverização. O diagnóstico prévio da água pode ser realizado via análise laboratorial, utilizando uma solução de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA); fitas de teste, que, em contato com a água, alteram sua cor e ela corresponde a um valor tabelado de dureza; e kits que utilizam o Titulador Digital (Hexis, 2022). Essa determinação da dureza torna-se a primeira etapa para o planejamento da pulverização.

Efeito da dureza na eficácia do glifosato

A influência da dureza sobre a eficácia do glifosato está relacionada principalmente à interação entre os cátions presentes na água e a molécula do herbicida. Quando essa interação ocorre, parte do glifosato pode ficar menos disponível para ser absorvida pelas folhas, reduzindo a quantidade de ingrediente ativo que consegue entrar na planta e ser posteriormente translocada para os locais de ação. Por esse motivo, a água utilizada na pulverização deve ser considerada não apenas como um veículo para o herbicida, mas como um componente capaz de interferir no resultado final da aplicação. Daramola et al. (2022) destacam que a dureza é um dos principais fatores de qualidade da água capazes de afetar o desempenho de herbicidas, especialmente aqueles de caráter ácido, como o glifosato.

Alves (2020) avaliou o efeito conjunto da dureza e do pH da água sobre duas formulações de glifosato e verificou que a dureza elevada reduziu a eficácia do herbicida, principalmente nos primeiros níveis avaliados. O estudo também demonstrou que a resposta pode variar de acordo com a formulação utilizada. Os autores observaram maior controle de *Digitaria horizontalis* com a formulação à base de sal de amônio em comparação ao sal de potássio, enquanto o pH, dentro da faixa estudada, apresentou menor influência sobre o controle.

Esses resultados demonstram que a dureza da água não deve ser analisada de forma isolada. A intensidade do efeito sobre o glifosato pode variar de acordo com a formulação do produto, a concentração dos cátions, a espécie de planta daninha e as condições de aplicação. Dessa forma, não é adequado afirmar que toda água classificada como dura necessariamente provocará falha no controle, mas sim que o aumento da concentração de determinados cátions pode aumentar o risco de antagonismo e reduzir a eficácia do herbicida.

Além disso, a presença de outros cátions, como ferro, manganês e alumínio, também deve ser considerada. Daramola et al. (2022) destacam que cátions com maior potencial de interação com o glifosato podem provocar efeitos mais acentuados do que aqueles normalmente associados à dureza, como cálcio e magnésio. Portanto, a análise da água utilizada na pulverização pode fornecer informações importantes não apenas sobre sua dureza, mas também sobre outros componentes capazes de interferir no desempenho do herbicida.

Manejo da dureza da calda

Para evitar perda na eficácia da calda de pulverização por conta da dureza, é necessário realizar alguns manejos antes da mistura do herbicida à água. Primeiramente, deve-se realizar o diagnóstico da água, que irá permitir identificar sua dureza e outras características que possam interferir na aplicação. A partir dessas informações, pode-se determinar a necessidade de utilização de produtos para condicionamento da água ou até mesmo a mudança de fonte de água para o preparo da calda de pulverização.

Entre as alternativas utilizadas para reduzir os efeitos da água dura está o sulfato de amônio (AMS). Esse produto fornece íons amônio (NH_4^+), que podem competir com cátions como o cálcio pelos locais de associação com o glifosato. Experimentos realizados por Thelen, Jackson e Penner (1995) demonstraram que a adição de sulfato de amônio foi capaz de reduzir o efeito negativo do cálcio sobre a absorção do glifosato em plantas de girassol. Dessa forma, o uso adequado desse produto pode contribuir para reduzir o antagonismo provocado pela água dura.

Além disso, é importante realizar a devida escolha e o monitoramento da fonte de água utilizada na propriedade. A água pode ser proveniente de rios, córregos, açudes, reservatórios ou fontes subterrâneas, como poços, e sua composição pode variar de acordo com a origem e as características

do local. Por isso, quando possível, a realização de análises periódicas da água permite identificar alterações na dureza e em outros parâmetros que possam comprometer a aplicação. Daramola et al. (2022) ressaltam que características como pH, dureza, temperatura e turbidez podem influenciar o desempenho dos herbicidas e, em determinadas situações, exigir medidas de correção.

A ordem de mistura dos produtos também é um fator ao qual se deve atentar. Quando for necessário realizar o condicionamento da água, o tratamento deve ser feito antes da adição do glifosato, permitindo que o condicionador atue sobre os cátions presentes antes que eles possam interagir com o herbicida (Gazziero, 2021). Dessa maneira, evita-se que o glifosato seja colocado diretamente em contato com uma água de elevada dureza e posteriormente se tente corrigir o problema. A mudança na ordem de mistura pode fazer diferença na qualidade final da calda.

Assim, o manejo da dureza deve ser realizado de maneira preventiva, começando pela avaliação da qualidade da água e seguindo com a escolha do tratamento mais adequado. O uso de condicionadores não deve substituir a análise da água, pois a necessidade e a eficiência desses produtos dependem da concentração e do tipo de cátions presentes. Dessa forma, o conhecimento da qualidade da água permite reduzir o risco de antagonismo e contribuir para uma aplicação mais eficiente do glifosato.

Conclusão

Com base na revisão de literatura, conclui-se que a dureza da água pode interferir de forma negativa na eficácia de caldas de herbicidas à base de glifosato. Isso ocorre, principalmente, pela formação de complexos estáveis da molécula do glifosato com os cátions presentes na água, que reduz a atividade do herbicida.

O efeito, no entanto, depende da formulação do produto, da concentração dos cátions e da espécie daninha, não sendo toda água dura necessariamente causadora de falha no controle. Dessa forma, o manejo preventivo, que inclui o diagnóstico da água, o uso adequado de condicionadores, como o sulfato de amônio, e a atenção à ordem de mistura, é de suma importância, sendo necessário que produtores e profissionais responsáveis monitorem a qualidade da água utilizada no preparo da calda de pulverização.

Referências

ALVES, Thiago Miranda. A dureza da água e o pH interferem na eficácia de tratamentos com glifosato?. 2020.

AMARANTE JÚNIOR, O. P. de; SANTOS, T. C. R. dos; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. Química Nova, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

DARAMOLA OS, Johnson WG, Jordan DL, Chahal GS, Devkota P. Spray water quality and herbicide performance: a review. Weed Technology .2022; 36(6):758-767. doi:10.1017/wet.2022.97.

GAZZIERO, D. L. P.; OLIVEIRA, R. B. de; OVEJERO, R. F. L. BARBOSA, H. N.; PRECIPITO, L. M. B. Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 23 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937, n. 437). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132371/1/DOCUMENTOS-437-1.pdf.

GOMES, Giovanna Larissa Gimenes Cotrick. Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito. 2011. v, 97 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2011

Hexis-Científica. Quais são as diferentes maneiras de medir a dureza na água? Disponível em: <https://suporte.hexis.com.br/hexis/s/article/KA-en-US-HA34-1027267?language=en_US>. 2022

KROTH, William Augusto Ellert. Influência da qualidade da água na eficiência de herbicidas para o controle de Ipomoea spp. no norte do Mississippi–Estados Unidos. 2025.

NOLASCO, G.M., Gama, E.M., Reis, B.M., Reis, A. C. P., Gomes, F. J. S., & Matos, R. P. (2020). Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG, 2(2), 52-64.

SILVA, Sergio Murilo Santos da. Caracterização físico-química da água utilizada na universidade federal do Maranhão–Centro de Ciências de São Bernardo. 2025.

THELEN, K. D.; JACKSON, E. P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. Weed Science, v. 43, n. 4, p. 541-548, 1995. DOI: 10.1017/S0043174500081613.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. Além disso, agradecem ao Laboratório de Mecanização e Agricultura de Precisão e Digital (LABMAP) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).