EFEITO DO pH 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 tanto para o controle de plantas daninhas ao longo do ciclo das culturas quanto para a dessecação em pré-colheita, prática que uniformiza a maturação da lavoura e facilita a colheita mecanizada. Entre os fatores que mais influenciam a eficácia da aplicação desse herbicida está o pH da calda de pulverização, parâmetro que expressa a concentração de íons hidrogênio em uma solução e que, no caso do glifosato, um ácido fraco, determina a proporção de moléculas ionizadas e não ionizadas disponíveis para a absorção foliar. Este trabalho constitui uma revisão de literatura que teve como objetivo discutir o efeito do pH sobre a eficácia de caldas de herbicidas à base de glifosato, abordando o conceito de potencial hidrogeniônico, os principais fatores que o influenciam e as estratégias de manejo recomendadas. Os resultados indicam que o glifosato apresenta maior eficácia em condições de pH levemente ácido, geralmente entre 3,5 e 5,0, e que o conhecimento dos fatores que determinam o pH da calda, associado ao seu monitoramento e à correção quando necessário, é fundamental para otimizar o controle de plantas daninhas e o desempenho da dessecação pré-colheita, reduzindo custos com reaplicações.

Palavras-chave: Herbicida. Glifosato. Potencial hidrogeniônico. 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, comercializado em mais de 120 países e registrado para uso em mais de uma centena de culturas, representando nos últimos anos cerca de 29% de todo o mercado brasileiro de defensivos agrícolas (Mazzeu; Oliveira; Andrade, 2021). Essa ampla utilização está associada aos prejuízos causados pelas plantas daninhas às culturas agrícolas: a presença dessas espécies durante todo o ciclo de desenvolvimento de uma cultura pode acarretar perdas de produtividade de até 94%, evidenciando a alta suscetibilidade de diversas lavouras à interferência de plantas daninhas (Coelho; Bianco; Carvalho, 2009). 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, sendo o glifosato também amplamente empregado com outra finalidade importante: a dessecação das culturas em pré-colheita, prática discutida mais adiante neste trabalho.

Quimicamente, o glifosato [N-(fosfonometil)glicina] é um ácido orgânico fraco de baixa solubilidade em água em sua forma ácida, razão pela qual é comercializado na forma de sais, que aumentam sua solubilidade e viabilizam a formulação de concentrados aquosos (Amarante Júnior et al., 2002). Entre os sais em uso comercial, destacam-se o sal de isopropilamina (IPA), o sal de amônio, sais de metal alcalino como o sal de sódio e, mais recentemente, o sal de potássio (Seifert-Higgins, 2019). Embora esses sais forneçam o mesmo íon herbicida ativo, o contraíon que os acompanha confere às formulações comportamentos físico-químicos distintos, sobretudo quanto ao pH inicial e à estabilidade da calda de pulverização (Cunha; Alves; Marques, 2017). Contudo, a formulação é apenas um entre diversos fatores que determinam o pH final da calda no momento da aplicação, como será discutido ao longo desta revisão.

Entre os fatores que mais influenciam a eficiência da aplicação de herbicidas está justamente o pH da calda de pulverização. Por se tratar de um ácido fraco, a ionização do glifosato em solução depende diretamente do pH do meio: quanto menor o pH, menor a proporção de moléculas ionizadas, o que favorece a penetração cuticular, já que a forma molecular, não ionizada, é mais lipofílica e atravessa com maior facilidade a cutícula cerosa das folhas (Carvalho et al., 2009). De modo geral, o glifosato apresenta maior eficiência quando aplicado em pH próximo de 4,0, havendo relatos de bom controle em valores ainda mais baixos, entre 3,0 e 4,0 (Dan et al., 2009). O pH resultante da calda, entretanto, não depende apenas do sal formulador do glifosato, mas também da qualidade da água utilizada, da eventual associação de outros produtos fitossanitários no tanque e da ordem em que estes são adicionados (Burin, 2019). Diante disso, compreender o próprio conceito de pH e os diferentes elementos que interferem nesse parâmetro é essencial para orientar decisões técnicas que maximizem a eficácia do herbicida, seja no controle de plantas daninhas ao longo do ciclo das culturas, seja na dessecação em pré-colheita.

O objetivo desta revisão de literatura é discutir o efeito do pH sobre a eficácia de caldas de herbicidas à base de glifosato, abordando a importância do produto para o controle de plantas daninhas, o conceito de potencial hidrogeniônico, os principais fatores que determinam o pH da calda de pulverização 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 do pH 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.

Resultados e Discussão

O potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é a relação numérica entre o equilíbrio dos íons H+ e OH- em uma solução, representando seu caráter ácido ou alcalino, sendo determinado por uma escala que varia de 0 a 14 (Burin, 2019). Valores abaixo de 7 indicam soluções ácidas, o valor 7 corresponde à neutralidade e valores acima de 7 caracterizam soluções alcalinas. Na prática agrícola, o pH é apontado como o fator que mais influencia a estabilidade química da calda de pulverização, uma vez que as moléculas dos produtos fitossanitários reagem com os íons presentes na água em intensidade variável conforme o pH da solução (Burin, 2019). Esse parâmetro pode ser mensurado com precisão por meio do pHmetro, permitindo avaliar tanto a água isolada quanto a calda já formada, com produto e adjuvantes adicionados (Cunha; Alves; Marques, 2017). O pH está diretamente relacionado ao comportamento químico de herbicidas ácidos fracos, como o glifosato, influenciando a proporção de moléculas ionizadas e não ionizadas presentes na solução e, consequentemente, a capacidade de absorção do produto pelas plantas.

Fatores que influenciam o pH da calda de pulverização

O pH final da calda de pulverização não depende de um único fator, mas resulta da interação entre diversas variáveis, entre elas a formulação do herbicida, a qualidade da água utilizada, a associação de outros produtos fitossanitários no tanque e a ordem de mistura adotada. Em relação à formulação, o glifosato é comercializado principalmente na forma de sais, uma vez que sua forma ácida apresenta baixa solubilidade em água, entre os sais disponíveis comercialmente estão o sal de isopropilamina, o sal de amônio, o sal de sódio e o sal de potássio, cada um conferindo à formulação concentrada um pH próprio (Seifert-Higgins, 2019), conforme demonstrado experimentalmente por Cunha, Alves e Marques (2017) ao comparar a tensão superficial, o pH e a condutividade elétrica de caldas formadas com diferentes produtos fitossanitários e adjuvantes. A água utilizada no preparo da calda constitui outro fator determinante: águas de rios e açudes, por sofrerem influência de chuvas e ventos, tendem a apresentar maior quantidade de sedimentos, matéria orgânica e íons dissolvidos, como cálcio e

magnésio, em comparação a águas de poço ou deionizadas, podendo interagir quimicamente com o herbicida e alterar o pH e a condutividade elétrica da calda (Vargas et al., 1997; Rheinheimer; Souza, 2000). A associação de diferentes produtos fitossanitários no tanque de pulverização, prática adotada por cerca de 97% dos produtores brasileiros segundo levantamento nacional conduzido em dezessete estados (Gazziero, 2015), também pode alterar o pH resultante da calda, uma vez que cada formulação apresenta características físico-químicas próprias que interagem entre si quando misturadas. Por esse motivo, recomenda-se seguir uma ordem correta de preparo, corrigindo o pH da água antes da adição do herbicida e dos demais produtos, de modo a reduzir o risco de incompatibilidades físicas e químicas na calda (Burin, 2019).

Como o pH final influencia na eficácia da calda

A absorção do glifosato pela planta ocorre em duas fases: uma etapa inicial de penetração rápida pela cutícula foliar, seguida de uma fase de absorção mais lenta, sendo a primeira fortemente dependente das características físico-químicas da calda de pulverização. Por se tratar de um ácido fraco, o glifosato se ioniza em solução na proporção ditada pelo pH do meio: em pH mais baixo, predomina a forma molecular, mais lipofílica e, portanto, mais capaz de atravessar a cutícula cerosa e as membranas celulares; já em pH mais elevado, predomina a forma aniônica, cuja permeabilidade através das membranas é reduzida (Carvalho et al., 2009). Em experimento conduzido em campo e em laboratório, Carvalho et al. (2009) verificaram que o aumento da concentração de glifosato na calda promove acidificação gradativa da solução, com estabilização do pH próximo a 4,5, e que a adição de sulfato de amônio (15 g L-1) elevou o controle obtido pela menor dose de glifosato (360 g ha-1), igualando-o ao controle da maior dose aplicada isoladamente (720 g ha-1); os próprios autores relatam que, de modo geral, a adição de cátions monovalentes, como amônio e potássio, à calda de glifosato tende a resultar em maior eficácia biológica, ao passo que cátions bivalentes, como cálcio e magnésio, exercem efeito oposto. Resultado semelhante foi relatado por Carvalho et al. (2011), que verificaram maior controle de espécies como *Ipomoea triloba* quando o glifosato foi veiculado em solução de sulfato de amônio. Já para as formulações à base de sal de potássio, Martini et al. (2002, 2003) demonstraram bom desempenho do glifosato potássico no controle de grama-seda, inclusive quando as plantas foram submetidas à chuva simulada após a aplicação. Cabe destacar, contudo, que a relação entre pH e eficácia nem sempre é linear: ao testar cinco valores de pH de calda (7,0; 6,0; 5,0; 4,0 e 3,0) no controle de plantas daninhas do cafeeiro, Mazzeu, Oliveira e Andrade (2021) observaram diferenças de controle entre os tratamentos apenas na primeira avaliação, aos sete dias após a aplicação, enquanto nas avaliações posteriores, aos 14 e 21 dias, o controle foi satisfatório em todos os valores de pH testados, inclusive no tratamento testemunha sem correção. Esse conjunto de evidências reforça que o pH, embora exerça papel relevante sobre a velocidade e a eficiência da absorção do glifosato, interage com outros fatores, como a dose aplicada e o tipo de cátion presente na calda, na determinação do resultado final da aplicação.

Manejo do pH da calda

Diante da influência do pH sobre a eficácia dos herbicidas, o manejo adequado desse parâmetro é uma prática recomendada na tecnologia de aplicação. De acordo com Burin (2019), a maioria dos produtos fitossanitários, em presença de pH alcalino, acima de 7, tende a se decompor mais rapidamente e a apresentar instabilidade na calda, ao passo que Carvalho et al. (2009) indicam que o glifosato tem sua eficiência favorecida em pH próximo a 4,0. Resultado análogo foi observado por Sanchotene et al. (2007) para os herbicidas imazethapyr e imazapic, cuja eficiência no controle de arroz-vermelho foi significativamente maior quando a água de preparo foi acidificada a pH 4,5 em comparação a águas alcalinas de pH 8,7 e 9,4, o que reforça, por analogia, a importância do ajuste do pH também para herbicidas de comportamento químico semelhante ao do glifosato. A dureza da água, associada à presença de cátions como cálcio e magnésio, é outro fator que interage com o pH e pode comprometer a eficácia de herbicidas de carga negativa, sendo recomendada a correção da qualidade da água, com uso de adjuvantes acidificantes ou sequestrantes de cátions, antes da adição do herbicida ao tanque de pulverização (Prado et al., 2011). Na prática, recomenda-se que a verificação e o eventual ajuste do pH da calda, por meio de pHmetros eletrônicos, sejam realizados previamente à incorporação do produto formulado, respeitando-se a ordem correta de mistura quando houver associação com

outros defensivos (Gazziero, 2015; Burin, 2019), de modo a garantir maior estabilidade físico-química da calda e, consequentemente, maior eficiência biológica da aplicação, seja ela realizada para o controle de plantas daninhas ao longo do ciclo da cultura, seja para a dessecação em pré-colheita.

Conclusão

Com base na literatura revisada, conclui-se que o pH da calda de pulverização é um dos fatores mais relevantes para a eficácia de herbicidas à base de glifosato, tanto no controle de plantas daninhas ao longo do ciclo das culturas quanto na dessecação em pré-colheita, prática que contribui para uniformizar a maturação das lavouras e antecipar a colheita. Por se comportar como um ácido fraco, o glifosato apresenta maior eficácia em condições de pH próximo a 4,0, pois nessa faixa a molécula se encontra predominantemente na forma menos ionizada, mais apta a atravessar a cutícula foliar. Esse pH, contudo, não depende de um único fator, mas resulta da interação entre a formulação do produto, a qualidade da água utilizada e a eventual associação de outros produtos fitossanitários no tanque de pulverização. Além disso, a relação entre pH e eficácia nem sempre é direta ou linear, podendo ser modulada pela dose do herbicida e pelo tipo de cátion presente na calda, o que reforça a importância de uma análise integrada desses fatores.

Dessa forma, compreender o conceito de potencial hidrogeniônico e os fatores que determinam o pH da calda é essencial para orientar decisões técnicas relacionadas à escolha da formulação, à qualidade da água utilizada e à eventual necessidade de correção do pH antes da pulverização, contribuindo para reduzir perdas de eficácia, custos com reaplicações e riscos de seleção de plantas daninhas resistentes, além de preservar a qualidade das sementes quando o glifosato é utilizado na dessecação pré-colheita.

Referências

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. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014.

BURIN, F. Qualidade físico-química da calda de pulverização com associação de produtos fitossanitários. 2019. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOUTORADO-AGRONOMIA/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20Defendidas/Fernando%20Burin.pdf.

CARVALHO, S. J. P. de; DAMIN, V.; DIAS, A. C. R.; YAMASAKI, G. M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO2. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 6, p. 569-575, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600004.

CARVALHO, S. J. P. de; TAROZZO FILHO, H.; DIAS, A. C. R.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Participação do nitrogênio na indução de injúrias foliares e na eficácia do herbicida glyphosate. Revista Ceres, v. 58, n. 4, p. 516-524, 2011.

COELHO, M.; BIANCO, S.; CARVALHO, L. B. Interferência de plantas daninhas na cultura da cenoura (Daucus carota). Planta Daninha, v. 27, n. especial, p. 913-920, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170030.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L.; SOUZA, C. H. Efeito do pH da calda de pulverização na dessecação de braquiária brizanta com o herbicida glyphosate. Global Science and Technology, v. 2, n. 1, p. 1-6, 2009. Disponível em: https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/6.

GAZZIERO, D. L. Mistura de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. Planta Daninha, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000100010.

SEIFERT-HIGGINS, Simone; BATES, Christopher I.; ABRAHAM, William. Composição compreendendo glifosato ou um sal ou um éster de glifosato e método de controlar crescimento de planta. Titular: Monsanto Technology LLC. BR PI 0915368-3. Depósito em: 30 jun. 2009. Publicação do pedido: 7 jan. 2010. Expedição: 15 jan. 2019.

GUIMARÃES, V. F.; HOLLMANN, M. J.; FIOREZE, S. L.; ECHER, M. M.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; ANDREOTTI, M. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de estádios de dessecação e herbicidas. Planta Daninha, v. 30, n. 3, p. 567-573, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000300012.

LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; WALTER FILHO, V. V. Aplicação de dessecantes na cultura da soja: antecipação da colheita e produção de sementes. Planta Daninha, v. 19, n. 3, p. 381-390, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582001000300009.

MARTINI, G.; FERRARI PEDRINHO JUNIOR, A. F.; DURIGAN, J. C. Eficácia do herbicida glifosato-potássico submetido à chuva simulada após a aplicação. Bragantia, v. 62, n. 1, p. 39-45, 2003.

MARTINI, G.; FERRARI PEDRINHO JUNIOR, A. F.; FELICI, G. V.; PIVA, F. M.; DURIGAN, J. C. Eficácia de uma nova formulação de glifosato para o controle de grama-seda (Cynodon dactylon), em pomar de citros. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 24, n. 3, p. 683-686, 2002.

MAZZEU, L. D.; OLIVEIRA, I. A.; ANDRADE, P. P. Efeito do pH da calda de pulverização do herbicida glifosato no controle de plantas daninhas do cafeeiro. Revista Agroveterinária do Sul de Minas, v. 3, n. 1, p. 94-109, 2021. Disponível em: https://periodicos.unis.edu.br/agrovetsulminas/article/view/654.

PRADO, E. P.; ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G.; POGETTO, M. H. F. A. D.; AGUIAR-JÚNIOR, H. O.; CHRISTOVAM, R. S. Influência da dureza e potencial hidrogeniônico da calda de pulverização sobre o controle do ácaro-da-leprose em frutos de laranja doce. Bragantia, v. 70, n. 2, p. 389-396, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; SOUZA, R. O. Condutividade elétrica e acidificação de águas usadas na aplicação de herbicidas no Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v. 30, n. 1, p. 97-104, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000100015.

SANCHOTENE, D. M.; DORNELLES, S. H. B.; DEBORTOLI, M. P.; CAPITANIO JR., R.; MEZZOMO, R. F.; GONÇALVES, R. A. Influência de sais e do pH da água na eficiência de imazethapyr + imazapic no controle de arroz-vermelho. Planta Daninha, v. 25, n. 2, p. 415-419, 2007.

SOARES, I. A. A.; FREITAS, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; FREIRE, G. M.; AROUCHA, E. M. M.; GRANGEIRO, L. C.; LOPES, W. A. R.; DOMBROSKI, J. L. D. Interferência das plantas daninhas sobre a produtividade e qualidade de cenoura. Planta Daninha, v. 28, n. 2, p. 247-254, 2010.

VARGAS, L.; FLECK, N. G.; VIDAL, R. A.; CUNHA, M. M. da. Qualidade química da água usada para aspersão e seu efeito na atividade do herbicida glifosato. Ciência Rural, v. 27, n. 4, p. 543-548, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84781997000400003.

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 a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).