

**Comportamento ambiental de herbicidas mimetizadores de auxina e seus efeitos sobre soja cultivada em sucessão**

Pedro Delefrate Neto<sup>1</sup>, Karla Cristina Guimarães Cabral dos Santos<sup>1</sup>, Poliana Almeida<sup>1</sup>, Brunna de Carvalho Caetano<sup>1</sup>, Luiz Felipe Oliveira Silva<sup>1</sup>, Matheus de Freitas Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Rio Verde, Faculdade de Agronomia, bolsista de iniciação científica – PIBIC.

<sup>2</sup>Professor da Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde, [matheusfreitas@unirv.edu.br](mailto:matheusfreitas@unirv.edu.br).

**Reitor:**

Prof. Dr. Alberto Barella Netto

**Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:**

Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

**Editor Geral:**

Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

**Editores de Seção:**

Profa. Dra. Ana Paula Fontana

Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva

Prof. Dr. Fábio Henrique Baia

Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob

Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

**Fomento:**

Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

**Resumo:** O plantio de soja em áreas de pastagens subutilizadas no cerrado brasileiro tem sido considerado um caminho importante para frear o desmatamento de áreas com vegetação nativa. Apesar do potencial no uso de áreas sob pastagem, principalmente degradadas, para aumento na produção de grãos, existe a limitação imposta pelo herbicida picloram para o cultivo da soja. Consequentemente, a alta persistência do picloram pode limitar a adoção desse oleaginosa devido a presença de resíduos em níveis suficientes para reduzir a produtividade da cultura. Uma vez que há níveis que inviabilizem o cultivo da soja, outras culturas devem ser recomendadas para a sucessão. No contexto ambiental, a longa persistência do picloram, com meia-vida estimada entre 150 a 230 dias e sua moderada/alta solubilidade em água, 430 mg L<sup>-1</sup> a 25° C elevam o potencial desse herbicida em lixiviar até camadas profundas do solo, contaminando lençóis freáticos. Diante ao cenário apresentado, esse projeto tem como objetivos: i) quantificar a lixiviação do herbicida picloram após 1 ano de sua aplicação em diferentes doses; ii) Avaliar o desempenho agrônomo de cultivares de soja nas áreas com possíveis resíduos de picloram. O experimento foi conduzido em parcela sub-dividida (2 x 4). Duas cultivares de soja (ciclo precoce e médio) foram alocadas nas parcelas principais e quatro doses de picloram (0; 0,20; 0,30 e 0,50 L ha<sup>-1</sup> de equivalente ácido de picloram) nas subparcelas. O herbicida foi aplicado em setembro de 2022, com as parcelas cobertas por um mix de forrageiras (*Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*). O estande de plantas e a produtividade de soja foram avaliadas. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm para quantificar resíduos de picloram. A extração, detecção e quantificação do picloram foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Uma redução significativa na produtividade e estande de plantas para ambas cultivares de soja foi observada, independente da dose inicial aplicada

do herbicida. O picloram foi detectado até 60 cm de profundidade no solo. O estudo demonstra que o picloram pode comprometer a viabilidade da soja em sucessão, além de representar um risco potencial para o meio ambiente devido à sua persistência e capacidade de lixiviação.

**Palavras-Chave:** Carryover. Persistência. Lixiviação. Produtividade.

***Environmental behavior of auxin-mimicking herbicides and their effects on soybeans grown in succession***

**Abstract:** *Planting soybeans in underutilized pasture areas in the Brazilian cerrado has been considered an important approach to curb deforestation in native vegetation areas. Despite the potential of using degraded pasture areas to increase grain production, there is a limitation imposed by the herbicide picloram for soybean cultivation. Consequently, the high persistence of picloram can limit the adoption of this crop due to residual levels sufficient to reduce productivity. If residual levels prevent soybean cultivation, other crops should be recommended in succession. Environmentally, the long persistence of picloram, with a half-life estimated between 150 to 230 days, and its moderate/high water solubility, 430 mg L<sup>-1</sup> at 25° C, increase the potential for this herbicide to leach into deep soil layers, contaminating groundwater. Given this scenario, this project aims to: i) quantify the leaching of picloram one year after its application at different doses; ii) evaluate the agronomic performance of soybean cultivars in areas with potential picloram residues. The experiment was conducted in a split-plot design (2 x 4). Two soybean cultivars (early and medium cycles) were allocated to the main plots, and four doses of picloram (0; 0,20; 0,30 e 0,50 L ha<sup>-1</sup> of acid equivalent of picloram) to the subplots. The herbicide was applied in September 2022, with the plots covered by a forage mix (Urochloa brizantha and Urochloa ruziziensis). Plant stand and soybean productivity were evaluated. Soil samples were collected at depths of 0-20, 20-40, and 40-60 cm to quantify picloram residues. Picloram extraction, detection, and quantification were performed by high-performance liquid chromatography (HPLC). A significant reduction in productivity and plant stand was observed for both soybean cultivars, regardless of the initial herbicide dose applied. Picloram was detected up to 60 cm deep in the soil. The study shows that picloram can compromise the viability of soybeans in succession and represents a potential environmental risk due to its persistence and leaching capacity.*

**Keywords:** Carryover. Persistence. Leaching. Productivity.

### **Introdução**

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, criado em regime extensivo em pastagens que ocupam cerca de 173 milhões de hectares. Para manter a produtividade dessas áreas, é fundamental o manejo de plantas daninhas, frequentemente realizado com herbicidas à base de picloram (MORAES et al., 2014). Esse herbicida, utilizado isoladamente ou em mistura, é eficaz no controle de dicotiledôneas perenes, plantas de difícil manejo com outros produtos (LIMBONGAN et al., 2021; THORNE et al., 2021).

Entretanto, o picloram apresenta desafios ambientais e agrônômicos, como sua longa persistência no solo, com meia-vida de 150 a 230 dias, e alta solubilidade em água (430 mg L<sup>-1</sup> a 25°C), aumentando o risco de lixiviação e potencial contaminação de lençóis freáticos (NASCIMENTO et al., 2015; VALE et al., 2019). Embora ainda não haja detecção significativa de picloram em águas subterrâneas, o herbicida é considerado “altamente lixiviável”, similar a outros herbicidas já encontrados, como atrazine e 2,4-D (DEMIR et al., 2019).

Agronomicamente, o picloram pode causar injúrias em culturas sucessoras, como a soja, por ser altamente residual no solo. Esse efeito de *carryover* é crítico em áreas anteriormente usadas para pastagem ou cana-de-açúcar, onde o picloram também é aplicado, limitando a adoção da soja, uma cultura sensível a herbicidas mimetizadores de auxina (SPERRY et al., 2022; SILVA et al., 2020). Nos últimos anos, a conversão de pastagens degradadas no cerrado brasileiro para soja tem sido vista como uma estratégia sustentável para aumentar a produção de grãos e reduzir o desmatamento de

áreas nativas, mas o picloram no solo pode reduzir a viabilidade da soja nessas áreas (The Nature Conservancy, 2016/2017). Diante ao cenário apresentado, esse estudo teve como objetivos: i) quantificar a lixiviação do herbicida picloram após 1 ano de sua aplicação em diferentes doses de um formulado comercial; ii) Avaliar o desempenho agrônomo de cultivares de soja nas áreas com possíveis resíduos de picloram.

### Material e Métodos

Os experimentos a campo iniciaram em 15 de setembro de 2022. A área experimental utilizada para condução do experimento está localizada nas coordenadas -17.77 (latitude) e -51.04 (longitude), no município de Rio Verde, Goiás, Brasil. O solo da área experimental é classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico (EMBRAPA 2013). A análise físico-química e a textura do solo foram realizadas momentos antes da implementação das culturas agrícolas.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em bloco inteiramente casualizados, com quatro repetições. As dimensões das parcelas experimentais terão 5 x 8,4 m (largura x comprimento). Para a avaliação do efeito dos resíduos de picloram sobre a soja, o esquema experimental foi em parcelas subdivididas 2 x 4. Nas parcelas foram alocados as cultivares de soja (2 cultivares de ciclo precoce e médio) e nas subparcelas as doses aplicadas de picloram (0; 0,20; 0,30 e 0,50 L ha<sup>-1</sup> de equivalente ácido de picloram).

No momento da aplicação a área estava sob cultivo de um mix de forrageiras (*Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*). A aplicação foi realizada com pulverizador pressurizado por CO<sub>2</sub>, equipado com barras e bicos espaçados a 0,50 m. A ponta usada na aplicação foi uma TTI 11002, a uma velocidade de 6 km h<sup>-1</sup> e pressão equivalente a 3 bar, assegurando uma taxa de aplicação igual a 150 L ha<sup>-1</sup>.

As cultivares de soja foram semeadas na área dia 10 de novembro de 2023 (13 meses após a aplicação do picloram). As cultivares de soja foram semeadas em espaçamento e população de plantas conforme sugerido pelo representante do cultivar. A fertilização das culturas e cultivares seguirá as recomendações da região, considerando a análise de solo e a demanda das culturas. Os tratamentos culturais para cada cultura e cultivar foi adotado conforme o monitoramento da ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas e as principais recomendações para as mesmas.

As avaliações referentes ao desempenho produtivo das culturas foram o estande de plantas, e produtividade (estimada em kg ha<sup>-1</sup>). Essas avaliações foram realizadas após as cultivares alcançarem o ponto de colheita ideal. Os resíduos de picloram no solo foi determinado através de amostragens compostas de cada tratamento antes da semeadura das cultivares. Uma amostra composta nas diferentes parcelas foi realizada para mensurar os resíduos de picloram decorrentes a aplicação de cada dose do herbicida. O perfil de amostragem foi estratificado nas camadas de 0-20, 20-40, e 40-60 cm.

A extração do herbicida nas amostras de solo foi realizada de acordo com a metodologia de Assis et al. (2011) com modificações. Testes de extração foram realizados e após a extração analisados por HPLC (Shimadzu, Japão) para confirmar os resultados obtidos por esses autores. O método consiste na pesagem de solo seco (2,00 g), previamente homogeneizado em frascos de 50 ml com tampa de rosca; em seguida, adicionar solução de extração (20,0 mL) KCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Vetec, Brasil). Os frascos contendo a mistura foram agitados em agitador vertical por 1 hora seguido de centrifugação por 6 minutos a 3000 rpm. Uma alíquota (1,5 mL) foi retirada do sobrenadante e filtrada através de uma membrana de 0,45 µm para análise por HPLC.

As determinações de picloram foram realizadas utilizando um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência modelo Shimadzu LC 20AT, detector de arranjo de fotodiodos (Shimadzu SPD-M20A), coluna C18 de aço inoxidável (Shimadzu VP-ODS Shim-pack 250 mm x 4,6 mm i. d., 5 µm de tamanho de partícula). As condições de análise foram: fase móvel composta por água (acidificada com ácido fosfórico 0,1%) e acetonitrila (60:40 - v/v); fluxo de 0,8 ml min<sup>-1</sup>; volume de injeção de 20 µL; temperatura da coluna 30°C; comprimento de onda: 223 nm (dos Santos et al., 2010). As análises foram realizadas em triplicata. A identificação do sinal do picloram foi comparada ao tempo de retenção. A solução estoque do herbicida foi preparada a partir de picloram padrão (ácido 4-amino-3,5,6-tricloropiridina-2-carboxílico; 99,6%) obtido da Sigma-Aldrich, Alemanha, a 1000 mg L<sup>-1</sup> de etanol e soluções de trabalho preparadas a partir dele. O método de extração do picloram em amostras de solo foi validado quanto

aos parâmetros de seletividade, linearidade, limites de detecção e quantificação, precisão e exatidão (Ribani et al., 2004).

Os dados foram submetidos aos testes de Levene e Shapiro-Wilks ( $p > 0,05$ ) para determinar a homocedasticidade das variâncias e a normalidade dos erros, respectivamente. Quando os dados atenderem os pressupostos acima citado, a Análise de Variância foi adotada pelo teste F ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). Quando significativo, as médias dos tratamentos referentes aos componentes produtivo das cultivares e as concentrações de picloram em cada profundidade nas duas épocas de coleta foram comparados por teste de comparação de médias ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). Para a avaliação da relação entre concentrações de picloram no solo e produtividade das culturas, uma análise de regressão foi adotada a fim de estimar as concentrações dos herbicidas que causam 10, 50 e 90% de redução na produtividade (quando existente).

### Resultados e Discussão

O picloram causou a redução de produtividade da soja, independente da dose aplicada e da cultivar testada, mesmo um ano após sua aplicação (Figura 1). Para a cultivar M 7110 IPRO, a redução de produtividade em áreas submetidas a aplicação de  $0,30 \text{ L ha}^{-1}$  foi igual a 86%, enquanto que para a cultivar CZ 37B60 IPRO, a redução foi igual a 76%, demonstrando que a M 7110 IPRO é mais sensível a concentrações do herbicida em relação a CZ 37B60.

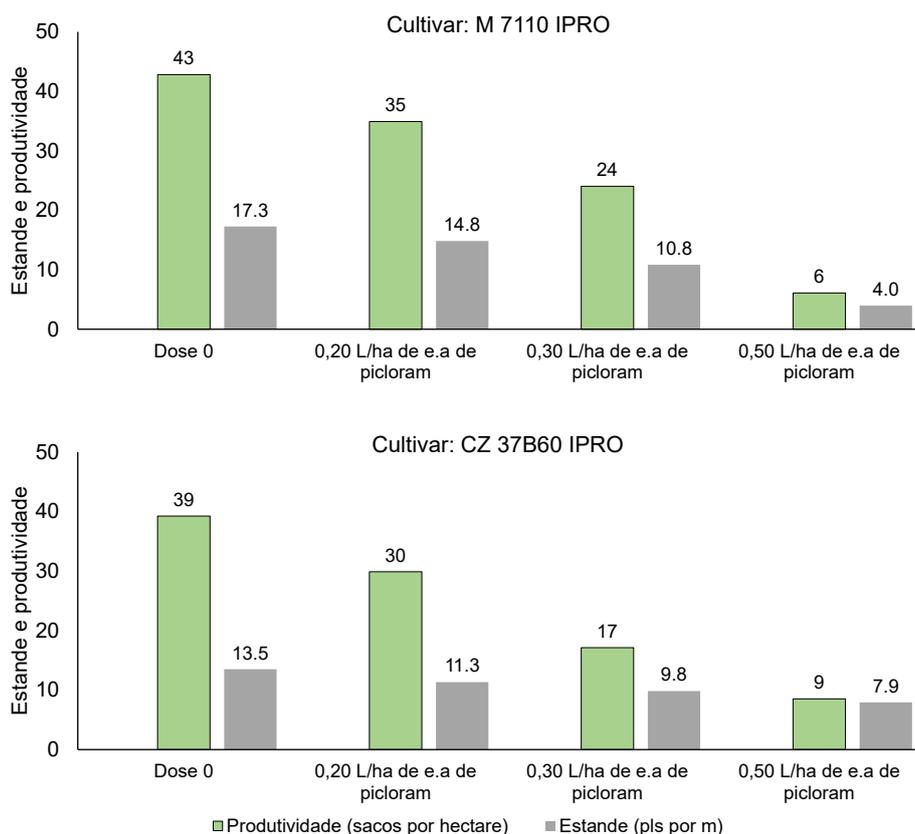


Figura 1 – Produtividade e estande de plantas das cultivares de soja M 7110 IPRO e CZ 37B60 IPRO semeadas 1 ano após a aplicação de diferentes doses do herbicida picloram. Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre as doses e a testemunha pelo teste Tukey ao  $p$ -valor  $< 0,05$ .

As concentrações do herbicidas picloram foram quantificadas até 60 cm do solo. Em todas as camadas foram detectadas a presença do herbicida (Figura 2). Houve um aumento da concentração quantificada de picloram devido ao aumento da dose de herbicida aplicado. Para as doses de 0,30 e

0,50 L ha<sup>-1</sup>, maiores concentrações do herbicida foram detectadas nas camadas inferiores de 20-40 e 40-60 cm comparado a camada superior de 0-20 cm (Figura 2). Esses resultados indicam que mesmo após 1 ano da aplicação do herbicidas, mesmo em menor dose recomendada pela bula, os resíduos do picloram podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da soja, reduzindo a produtividade de grãos. A dose aplicada também tem um efeito crescente sobre as reduções de produtividade de ambas cultivares. O herbicida picloram também demonstrou alta capacidade de lixiviar até camadas inferiores do solo, acumulando uma maior concentração em camadas inferiores.

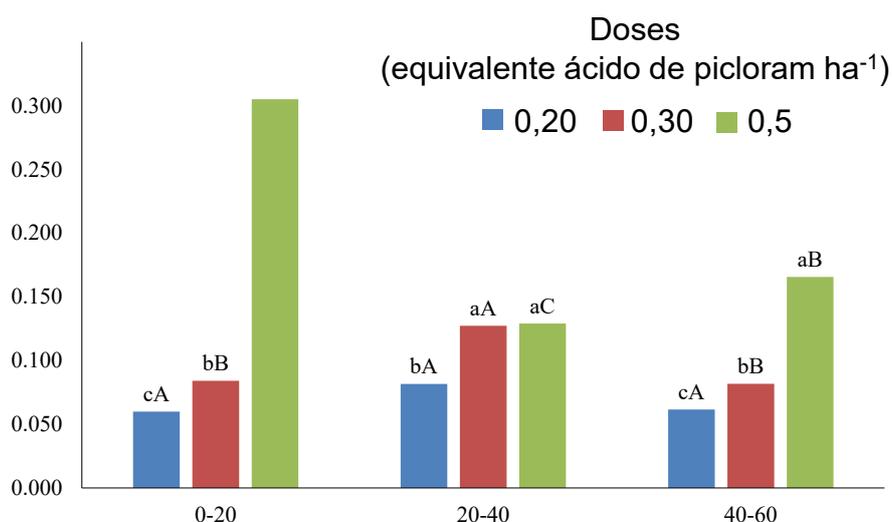


Figura 2 – Concentração de picloram (mg de ingrediente ativo kg<sup>-1</sup> de solo) no solo 1 ano após a aplicação de diferentes doses do herbicida picloram. Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre as doses em cada profundidade e letras maiúsculas indicam diferenças amostradas para cada dose aplicada teste Tukey ao p-valor < 0.05.

### Conclusão

O estudo demonstra que o picloram pode comprometer a viabilidade da soja em sucessão, mesmo um ano após sua aplicação, além de representar um risco potencial para o meio ambiente devido à sua persistência e capacidade de lixiviação.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de iniciação científica cedida ao primeiro autor, a Pró-reitora de Pesquisa e Inovação e Pró-reitoria de Pós-Graduação da UniRV pelo suporte financeiro para condução do trabalho.

### Referências Bibliográficas

CARMONA, Ricardo; ARAUJO NETO, Bernardo Sayão Carvalho; PEREIRA, Roberto Carvalho. Controle de *Acacia farnesiana* e de *Mimosa pteridofita* em pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1301-1307, 2001.

DE MORAES, Anibal et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

DEMIR, A. Ece Akay; DILEK, Filiz B.; YETIS, Ulku. A new screening index for pesticides leachability to groundwater. **Journal of environmental management**, v. 231, p. 1193-1202, 2019.

DURIGAN, Julio Cezar et al. Controle químico de parreira-brava (*Cissampelos glaberrima*) na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 22, p. 641-645, 2004.

EMBRAPA 2013. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Embrapa Soil, Brasília.

GOODALL, J.; BRAACK, M. Screening herbicides for the control of the wetland invader, *Sambucus nigra* L., in South Africa. **African Journal of Aquatic Science**, v. 44, n. 3, p. 295-299, 2019.

JOHNSON, Eric N. et al. Do repeated applications of residual herbicides result in herbicide stacking. **Soil Residual Herbicides: Science and Management. Topics in Canadian Weed Science**, ed, p. 53-70, 2005.

KOUAME, K. Badou-Jeremie et al. S-metolachlor persistence in soil as influenced by within-season and inter-annual herbicide use. **Environmental Advances**, v. 9, p. 100318, 2022.

LIMBONGAN, Amelia A.; CAMPBELL, Shane D.; GALEA, Victor J. Novel encapsulated herbicide delivery mechanism: its efficacy in mimosa bush (*Vachellia farnesiana*) control. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2505, 2021.

NASCIMENTO, Alex Favaro et al. Risk of soil recontamination due to using *Eleusine coracana* and *Panicum maximum* straw after phytoremediation of picloram. **International Journal of Phytoremediation**, v. 17, n. 4, p. 313-321, 2015.

SANTOS, M. V. et al. Efficacy and persistence of herbicides in pasture soils. **Planta Daninha**, v. 24, p. 391-398, 2006.

SILVA, Diecson Ruy Orsolin da et al. Simulated rainfall following the preplant application of 2, 4-D and dicamba in soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, 2020.

SPERRY, Benjamin P. et al. Soybean dose-response to 2, 4-D and dicamba at vegetative and reproductive growth stages. **Pest Management Science**, v. 78, n. 7, p. 2759-2766, 2022.

THORNE, Mark E.; LYON, Drew J. Rush skeletonweed (*Chondrilla juncea* L.) control in fallow. **Weed Technology**, v. 35, n. 6, p. 1045-1051, 2021.

VALE, Ricardo Lins et al. Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 925-932, 2019.