

Carryover de herbicidas aplicados em pré-emergência em solo com textura franco argiloso arenosa

Carryover of herbicides applied in preemergence in sandy clay loam soil

Carryover de herbicidas aplicados en preemergencia en suelo con textura franco arcillo arenosa

Recebido: 22/09/2025 | Revisado: 29/09/2025 | Aceitado: 29/09/2025 | Publicado: 01/10/2025

José Roberto Antoniol Fontes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3319-8132>
Embrapa Amazônia Ocidental, Brasil
E-mail: jose.roberto@embrapa.br

André Luiz Atroch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5102-6081>
Embrapa Amazônia Ocidental, Brasil
E-mail: andre.atroch@embrapa.br

Ronaldo Ribeiro de Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8917-4119>
Embrapa Amazônia Ocidental, Brasil
E-mail: ronaldo.moraes@embrapa.br

Resumo

Os herbicidas aplicados em pré-emergência (PRE) controlam as plantas daninhas em estádios iniciais de crescimento e possibilitam vantagem competitiva para as plantas cultivadas durante o período de atividade residual dos herbicidas no solo. Contudo, a atividade residual de um herbicida pode durar por tempo suficiente para causar injúrias em plantas cultivadas em sucessão, efeito denominado carryover. Assim, objetivou-se com este trabalho estimar o período de atividade residual dos herbicidas diuron, indaziflam, metribuzin e sulfentrazone aplicados em PRE em um Latossolo Amarelo com textura franco argiloso arenosa por meio de bioensaios. Cada herbicida representou um experimento, instalado em vasos, em viveiro a céu aberto e num delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As doses empregadas, em g ha⁻¹, foram: diuron – 0, 1250 e 2550; indaziflam – 0, 50 e 100; metribuzin – 0, 480 e 960; e sulfentrazone – 0, 400 e 800. Como espécies indicadoras foram empregados pepino (*Cucumis sativus*) para o diuron, indaziflam e metribuzin, e sorgo (*Sorghum bicolor*) para o sulfentrazone. A ação residual no solo de todos os herbicidas avaliados provocou injúrias nas plantas indicadoras, cuja duração e intensidade variou com as doses testadas. O período de ação residual mais curto que provocou carryover foi de 21 dias com aplicação do sulfentrazone com a menor dose (400 g ha⁻¹), e o mais longo, de 231 dias, com aplicação do indaziflam com a maior dose (100 g ha⁻¹).

Palavras-chave: Herbicidas; Carryover; Bioensaio; *Cucumis sativus*; *Sorghum bicolor*.

Abstract

Preemergence herbicides (PRE) control weeds at early growth stages and provide a competitive advantage for crop plants during the period of residual action in soil. However, the residual activity of a herbicide can last long enough to cause injury to plants grown in succession, an effect known as carryover. Therefore, the objective of this study was to estimate the residual activity period of the herbicides diuron, indaziflam, metribuzin, and sulfentrazone applied in PRE to a Oxisol with a sandy clay loam texture through bioassays. Each herbicide represented a separate experiment, installed in pots in an open-air nursery in a completely randomized design with three replicates. The doses, in g ha⁻¹, were: diuron – 0, 1,250, and 2,550; indaziflam – 0, 50, and 100; metribuzin – 0, 480, and 960; and sulfentrazone – 0, 400, and 800. Cucumber (*Cucumis sativus*) was used as indicator species for diuron, indaziflam, and metribuzin, and sorghum (*Sorghum bicolor*) was used for sulfentrazone. The residual action in the soil of all herbicides evaluated caused injuries to the indicator plants, and the duration and intensity of which varied with the tested doses. The shortest residual action period was observed with the application of sulfentrazone at the lowest dose (400 g ha⁻¹), and the longest with the application of indaziflam at the highest dose (100 g ha⁻¹), 21 and 231 days after application, respectively.

Keywords: Herbicides; Carryover; Bioassay; *Cucumis sativus*; *Sorghum bicolor*.

Resumen

Los herbicidas de preemergencia (PRE) controlan malezas en etapas tempranas de crecimiento y proporcionan una ventaja competitiva para las plantas de cultivo durante el período de acción residual del herbicida en el suelo. Sin embargo, la actividad residual de un herbicida puede durar lo suficiente como para causar daño a las plantas cultivadas en sucesión, un efecto conocido como carryover. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue estimar el período de actividad residual de los herbicidas diurón, indaziflam, metribuzina y sulfentrazona aplicados en PRE a un Latosol Amarillo con una textura franco arcillosa arenosa a través de bioensayos. Cada herbicida representó un experimento separado, instalado en macetas en un vivero al aire libre en un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas. Las dosis utilizadas, en g ha^{-1} , fueron: diurón - 0, 1250 y 2550; indaziflam - 0, 50 y 100; metribuzina - 0, 480 y 960; y sulfentrazona - 0, 400 y 800. Se utilizó pepino (*Cucumis sativus*) como especie indicadora para diurón, indaziflam y metribuzina, y sorgo (*Sorghum bicolor*) para sulfentrazona. La acción residual en el suelo de todos los herbicidas evaluados causó daños a las plantas indicadoras, cuya duración e intensidad variaron con las dosis probadas. El período de acción residual más corto se observó con la aplicación de sulfentrazona a la dosis más baja (400 g ha^{-1}), y el más largo con la aplicación de indaziflam a la dosis más alta (100 g ha^{-1}), 21 y 231 días después de la aplicación, respectivamente.

Palavras clave: Herbicidas; Carryover; Bioensayo; *Cucumis sativus*; *Sorghum bicolor*.

1. Introdução

O uso de herbicidas em culturas anuais, perenes e pastagens é a ação mais empregada em todo o mundo para controle de plantas daninhas, menos dependente de mão de obra, com alto rendimento operacional, relação benefício/custo mais favorável comparado ao controle manual e com eficácia de controle alta em períodos chuvosos. Os herbicidas que são absorvidos com a água de embebição de sementes de plantas daninhas em germinação e, ou por suas raízes são preferencialmente aplicados no solo e classificados como pré-emergentes. No solo os herbicidas sofrem degradação biológica, física e química (Fantke & Juraske, 2013; Mutua, Ngigi & Getenha, 2016) influenciada por fatores como pH, umidade, temperatura, matéria orgânica, textura do solo e teores de nutrientes (Lagat et al., 2011; Araújo et al., 2023).

A degradação do herbicida determina a sua persistência no solo, período no qual exerce sua atividade controlando as plantas daninhas antes do fechamento do dossel das plantas das culturas (Rizzardi, Rockenbach & Schneider, 2020) e melhorando a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência (Jursík et al., 2015). Um parâmetro adotado para caracterizar a persistência de herbicidas no solo é a meia-vida, tempo necessário para a dissipação de 50% da quantidade inicial aplicada (Charnay et al., 2005). Entretanto, a persistência dos herbicidas pode provocar danos a culturas implantadas na estação subsequente, efeito denominado carryover, e depende da frequência e das quantidades aplicadas, principalmente nas áreas cultivadas com culturas anuais (Melo et al., 2016; Rose et al., 2022).

O diuron aplicado em pré-emergência controla espécies daninhas mono e dicotiledôneas (Lu et al., 2019) e sua meia-vida é de 19 a 58 dias aplicado com dose de $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$ em solo de textura franco argiloso arenosa (Muhamad et al., 2013), 89 dias com dose de 4 kg ha^{-1} em solo de textura areia (Almeida et al., 2020) e de 128 dias em solo de textura muito argilosa com dose de $3,32 \text{ kg ha}^{-1}$ (Guimarães et al., 2018). Cadersa e Gungadurdoss (2010) relataram redução de 22 e 18% do número de folhas e altura de plantas de fumo (*Nicotiana tabacum*) transplantado 9 meses após aplicação do diuron ($2,4 \text{ kg ha}^{-1}$) em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). O indaziflam controla espécies daninhas mono e dicotiledôneas (Jeschke, 2016) e em solo de textura franco-arenosa a sua meia-vida variou de 86 a 99 dias quando aplicado com dose de $73,1 \text{ g ha}^{-1}$ (González-Delgado et al., 2017; González-Delgado & Shukla, 2020), podendo superar 150 dias (Kaapro & Hall, 2012; Sebastian, Nissen & Rodrigues, 2016). Guerra et al. (2014) relataram que o indaziflam provocou fitotoxicidade severa em sorgo (*Sorghum bicolor*), soja (*Glycine max*), pepino (*Cucumis sativus*), beterraba (*Beta vulgaris*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) aos 21 dias após aplicação (DAA) com doses de 0,5, 1,8, 2,3, 2,9 e $3,6 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente, doses muito abaixo da mínima (50 g ha^{-1}) recomendada em bula do produto comercial formulado com o princípio ativo registrado no Brasil (Bayer, 2025). O metribuzin controla espécies daninhas mono e dicotiledôneas (Majumdar & Singh, 2007) e as suas meias-vidas em solos de texturas muito

argilosa, franco argiloso arenosa e areia franca foram de 81, 86 e 138 dias com dose de 3,32 kg ha⁻¹ (Guimarães et al., 2018). Cornelius e Bradley (2017) relataram redução de crescimento de plantas de ervilha (*Pisum sativum*), ervilhaca (*Vicia villosa*) e trevo (*Trifolium incarnatum*) empregadas como plantas de cobertura de solo 92 DAA do metribuzin (420 g ha⁻¹) em solo de textura franco siltosa. O sulfentrazone controla espécies daninhas mono e dicotiledôneas (Walsh et al., 2015) e a sua meia-vida pode variar entre 34 e 172 dias aplicado com doses de 600 e 1400 g ha⁻¹ em solos de textura muito argilosa (Martinez et al., 2008) e franco argiloso arenosa (Brum, Franco & Scorz Júnior, 2013), respectivamente. Brandenberger et al. (2007) relataram que o sulfentrazone aplicado com dose de 450 g ha⁻¹ provocou redução da germinação de sementes de espinafre (*Spinacia oleracea*), repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) e trigo (*Triticum aestivum*) 140 dias DAA e do crescimento de plantas de brócolos (*Brassica oleracea* var. *italica*), espinafre e repolho 203 DAA. Entretanto, a atividade residual do sulfentrazone prejudicando plantas cultivadas pode perdurar por até 12 meses após a sua aplicação (Ohmes, Hayes & Mueller, 2000; Rachuy & Fennimore, 2021).

Para detectar a presença de herbicidas no solo uma das técnicas utilizadas é o bioensaio, onde plantas de espécies sensíveis aos herbicidas atuam como bioindicadoras de alta sensibilidade, alternativa eficaz e de custo reduzido em relação às técnicas analíticas (cromatografia, espectrometria, etc.) e sem exigência de equipamentos de laboratório (Mehdizadeh, Alebrahim & Roushani, 2017; Ribeiro et al., 2021). Bioensaios já foram empregados para estimar a persistência do diuron (Pyone et al., 2024), indaziflam (Rinella et al., 2025), metribuzin (Ribeiro et al., 2021) e sulfentrazone (Lourenço & Carvalho, 2015).

Assim, o objetivou-se estimar a persistência dos herbicidas diuron, indaziflam, metribuzin e sulfentrazone em um Latossolo Amarelo empregando a técnica de bioensaio com plantas de espécies indicadoras.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, de campo, num estudo de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) e, com uso de estatística descritiva simples com gráficos de linhas, classes de dado e, valores de média (Shitsuka et al., 2014). Foram instalados quatro experimentos em vasos em condição de viveiro a céu aberto na Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. Como substrato foi utilizada terra (Latossolo Amarelo distrófico) coletada na camada de 0-20 cm de profundidade em área utilizada para condução de experimentos com culturas anuais (feijão-caupi e milho) e sem histórico de aplicação prévia dos herbicidas empregados nestes experimentos. A terra foi peneirada em malha de 2 mm e na Tabela 1 estão apresentados valores de atributos químicos, físicos e a classificação textural de análises realizadas em amostra da terra utilizada.

Tabela 1 – Atributos de químicos e físicos de amostra de terra utilizada como substrato. Manaus, 2025.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	m
	g kg ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmole dm ⁻³ -----				----- % -----	
6,14	30,16	3	14	1,40	1,48	2,18	2,92	5,10	57,28	0
Areia		Silte		Argila						
	----- g kg ⁻¹ -----								Textura – franco argiloso arenosa	
552		117		331						

pH em água (1:2,5); MO - matéria orgânica (Walkley-Black); P - fósforo e K - potássio (Mehlich-1); Ca - cálcio e Mg - magnésio (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al - acidez total (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹); SB - soma de bases; T - capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio. Fonte: Dados da pesquisa.

Ao substrato foram adicionados cloreto de potássio, superfosfato simples e ureia com doses de 1,5, 2,5 e 2 g kg⁻¹, respectivamente, e homogeneização realizada em betoneira. Vasos com capacidade de 12 dm³ foram enchidos com o substrato, dispostos em viveiro ao nível do chão e irrigados até a saturação. Cada herbicida representou um experimento e os tratamentos avaliados estão apresentados na Tabela 2.

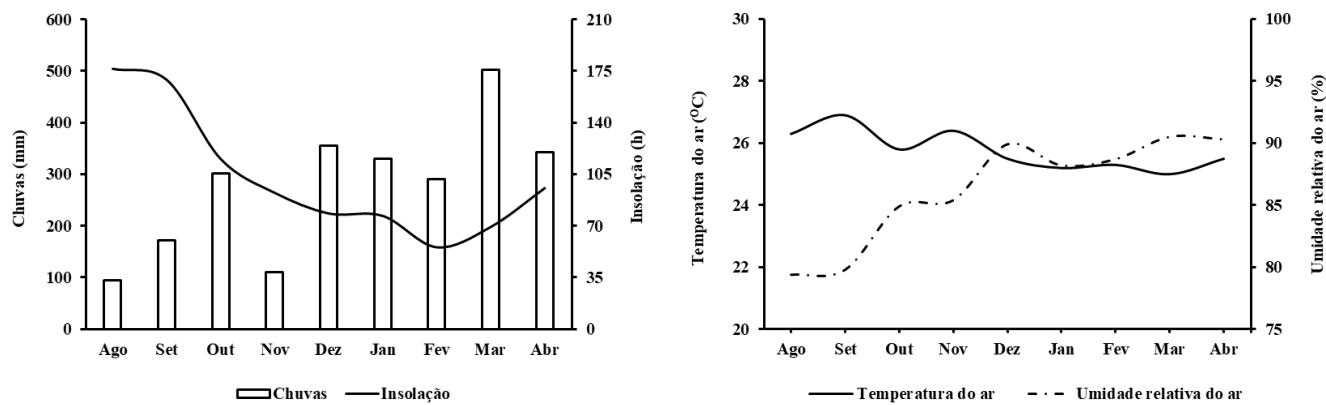
Tabela 2 – Herbicidas, doses e espécies vegetais indicadoras empregadas nos bioensaios para estimativa de “carryover” dos herbicidas. Manaus, 2025.

Herbicida	Formulação	Concentração (g L ⁻¹)	Doses (g ha ⁻¹)	Especie(s) indicadora(s)
Diuron	Suspensão concentrada	500	0,1250 e 2250	
Indaziflam	Suspensão concentrada	500	0, 50 e 100	Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)
Metribuzin	Suspensão concentrada	480	0, 480 e 960	
Sulfentrazone	Suspensão concentrada	500	0, 400 e 800	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)

Fonte: Dados da pesquisa.

Um dia após a irrigação os herbicidas foram aplicados sobre a superfície dos vasos com emprego de pulverizador costal pressurizado com dióxido de carbono e equipado com ponta de pulverização de leque plano 110.04, pressão e vazão constantes de 206,84 kPa e 300 L ha⁻¹, respectivamente. Um dia após a aplicação dos herbicidas foi realizada a semeadura das plantas indicadoras, com cinco sementes depositadas em furos com um cm de profundidade e depois cobertas com o substrato. Três dias após a emergência foi realizado desbaste deixando uma planta indicadora por vaso. Regas manuais foram realizadas como ação suplementar às chuvas sempre que necessário para evitar estresse hídrico das plantas. Para controle de insetos desfolhadores foi aplicado o inseticida lufenurom (concentrado emulsionável, 50 g L⁻¹) com dose de 0,5 ml do produto comercial por litro de água. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado com três repetições e em esquema fatorial dose x épocas de semeadura, que variou de acordo com os herbicidas: diuron 3 x 6, metribuzim 3 x 5, indaziflam 3 x 9 e sulfentrazone 3 x 3. Cada vaso representou uma unidade experimental. Vinte e um dias após a semeadura a parte aérea das plantas indicadoras foi coletada realizando corte do caule a um cm de altura em relação à superfície do substrato. A parte aérea foi lavada em água corrente para eliminar partículas de terra e seca em estufa com circulação forçada de ar a 65º C até atingir peso constante. A cada 21 dias o procedimento de semeadura, coleta e secagem de parte aérea de plantas indicadoras foi repetido conforme descrito anteriormente. A cada coleta foi realizada adubação com cloreto de potássio e ureia previamente dissolvidos em água com doses de 1,5 e 1 g por vaso, respectivamente. Para a análise dos dados foi considerado o valor da porcentagem de redução da massa de parte aérea seca com aplicação das doses dos herbicidas em relação ao tratamento sem aplicação dos herbicidas (Ferri & Vidal, 2003). Para análise dos dados experimentais utilizou-se o programa R (Ferreira et al., 2018), com análises de normalidade (Shapiro-Wilk), de variância e médias de tratamento comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na Figura 1 estão apresentados os dados climáticos registrados durante o período de execução dos experimentos.

Figura 1 – Chuvas (mm), insolação (h), temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa média do ar (%) registradas durante o período de condução do experimento. Manaus, 2025.



Fonte: Dados da pesquisa.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de F calculados das porcentagens de redução da massa de parte aérea seca (MPAS) das plantas indicadoras, verificando-se influência significativa da interação entre as doses dos herbicidas e épocas para todas as porcentagens.

Tabela 3 – Valores de F calculados para porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino (diuron, indaziflam e metribuzin) e de sorgo (sulfentrazone) em bioensaios de estimativa da persistência no solo de herbicidas. Manaus, 2025.

Fonte de variação	Herbicidas							
	Diuron		Indaziflam		Metribuzin		Sulfentrazone	
	g.l.	Fcalc	g.l.	Fcalc	g.l.	Fcalc	g.l.	Fcalc
Doses de herbicidas (DH)	2	177,43***	2	171,64***	2	76,17***	2	13,25***
Épocas (E)	5	64,93***	5	19,88***	4	39,26***	2	9,81***
DH X E	10	18,41***	10	9,37***	8	10,69***	4	3,92*
Erro	36	-	36	-	30	-	18	-
Total	53	-	53	-	44	-	26	-
Coeficiente de variação (%)	27,84		43,29		39,48		80,31	

g.l. – graus de liberdade. Fcalc – F calculado. *** e * significativo a 0,1 e 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios das porcentagens de redução da MPAS de plantas de pepino com aplicação do diuron nas épocas de avaliação.

Tabela 4 – Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino com aplicação do diuron nas épocas de avaliação. Manaus, 2025.

Dose (g ha ⁻¹)	Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino					
	Dias após a aplicação					
	21	42	63	84	105	126
0	0 bA	0 bA	0 aA	0 bA	0 aA	0 aA
1250	100 aA	100 aA	96 bA	18 bB	11 aB	6 aB
2250	100 aA	100 aA	100 bA	67 aB	15 aC	6 aC

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa.

Até 63 dias após a aplicação (DAA) a atividade residual do diuron aplicado com ambas as doses provocou redução total da MPAS do pepino. A emergência das plântulas ocorreu em todos os vasos de todos os tratamentos, contudo entre três e quatro dias após a emergência verificou-se amarelecimento das folhas cotiledonares e da primeira folha definitiva que evoluiu para necrose e morte das plantas. O diuron é um inibidor fotossintético que bloqueia a transferência de elétrons no fotossistema II, impedindo a formação de NADPH e a fixação de CO₂ (Jin et al., 2017), além de induzir a formação de espécies reativas de oxigênio e peroxidação de lipídeos de membranas celulares (Geoffroy et al., 2002). A partir dos 84 e 105 DAA não houve influência significativa do diuron aplicado com doses de 1250 e 2250 g ha⁻¹, respectivamente, no crescimento das plantas de pepino. O período de atividade residual de herbicidas no solo depende, entre vários fatores, da dose empregada (Rose et al., 2022). Araújo et al. (2023) relataram que a MPAS de pepino cultivado 120 DAA após a aplicação do diuron com dose de 3500 g ha⁻¹ foi significativamente inferior em relação às doses de 875 e 1750 g ha⁻¹. Os períodos de atividade residual do diuron que provocaram redução da MPAS de pepino com as doses aplicadas neste trabalho foram muito menores do que aquele relatado por Cadersa e Gungadurdoss (2010) em plantas de fumo transplantadas 9 meses após aplicação do diuron (2,4 kg/ha) em cana-de-açúcar. A atividade microbiana é via principal de degradação do diuron no solo (Ellegaard-Jensen et al., 2014; Egea et al., 2017) e, provavelmente, pools genéticos microbianos distintos e variações ambientais entre os locais podem ter influenciado resultados tão discrepantes. Ressalte-se ainda que o diuron pode ter meia-vida de 330 dias (Fontecha-Cámarra et al., 2008).

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios das porcentagens de redução da MPAS de plantas de pepino com aplicação do indaziflam nas épocas de avaliação.

Tabela 5 – Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino com aplicação do indaziflam nas épocas de avaliação. Manaus, 2025.

Dose (g ha ⁻¹)	Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino								
	Dias após a aplicação								
	105	126	147	168	189	210	231	252	273
0	0 bA	0 cA	0 cA	0 bA	0 bA	0 bA	0 bA	0 aA	0 aA
50	100 aA	52 bB	40 bBC	16 bCD	9 bCD	6 bCD	4 bD	3 aD	2 aD
100	100 aA	100 aA	100 aA	100 aA	82 aAB	63 aBC	32 aCD	19 aD	7 aD

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa.

Até 105 e 168 DAA não ocorreu emergência de plântulas de pepino com aplicação do indaziflam com doses de 50 e 100 g ha⁻¹, respectivamente. A absorção do indaziflam ocorre pelas raízes (González-Delgado & Shukla, 2020) e a inibição da

biossíntese de celulose, mecanismo de ação do indaziflam, ocorre logo após a exposição (em menos de uma hora) das plantas ao herbicida (Brabham et al., 2014). Somente a partir de 168 e 252 DAA o indaziflam aplicado com as doses de 50 e 100 g ha⁻¹, respectivamente, não induziram reduções da MPAS do pepino significativamente distintas da MPAS das plantas do tratamento sem aplicação do herbicida. Guerra et al. (2014) e Savaris et al. (2019) conduziram bioensaios para estimar o período de atividade residual do indaziflam (100 g ha⁻¹) em solos com a mesma classificação textural (franco argilosos arenosa) do presente trabalho (Tabela 1) e relataram injurias em plantas de beterraba e soja além de 150 DAA e de pepino até 100 DAA, respectivamente. O indaziflam é efetivo no controle de plantas daninhas com doses baixas em relação a outros herbicidas, um dos motivos pela sua escolha em diversas situações (Ramanathan; Gannon & Maxwell, 2023), contudo, mesmo aplicado com doses baixas pode provocar “carryover” em culturas subsequentes à sua aplicação (Guerra et al., 2014). Torres et al. (2018) conduziram experimento em condição controlada e verificaram que a atividade residual do indaziflam aplicado com dose de 12,5 g ha⁻¹ provocou fitotoxicidade severa em plantas de amendoim (*Arachis hypogaea*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) aos 60 e 40 DAA, respectivamente, e em soja com dose de 25 g ha⁻¹ aos 60 DAA.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios das porcentagens de redução da MPAS de plantas de pepino com aplicação do metribuzin nas épocas de avaliação.

Tabela 6 – Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino com aplicação do metribuzin nas épocas de avaliação. Manaus, 2025.

Dose (g ha ⁻¹)	Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de pepino				
	Dias após a aplicação				
	21	42	63	84	105
0	0 bA	0 bA	0 cA	0 aA	0 aA
480	100 aA	65 aB	26 bC	13 aC	4 aC
960	100 aA	87 aAB	58 aB	24 bC	4 aD

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa.

Até 63 DAA a atividade residual do metribuzin aplicado com ambas as doses provocou redução significativa da MPAS das plantas de pepino, com maior redução (58%) verificada com a dose de 960 g ha⁻¹. Aos 84 e 105 DAA, o metribuzin aplicado com as doses de 480 e 960 480 g ha⁻¹, respectivamente, não provocou redução significativa da MPAS do pepino. A exemplo do diuron, o metribuzin é um inibidor do fotossistema II (Leal et al., 2023) e as plântulas de pepino emergidas exibiram amarelecimento, necrose do limbo foliar e, por fim, morte das plantas. Cornelius e Bradley (2017) relataram redução de estande de ervilha e de trigo e de MPAS de ervilha e ervilhaca semeadas 93 DAA após aplicação de metribuzin (420 g ha⁻¹) em pré-emergência em solo de textura franco siltosa na cultura da soja. Comparando o resultado do presente trabalho com o resultado relatado por Cornelius e Bradley (2017), verificou-se menor período de atividade residual do metribuzin aplicado com dose de 480 g ha⁻¹ (até 63 DAA) em relação à dose de 420 g ha⁻¹ (93 DAA). A degradação do metribuzin no solo é essencialmente microbiana (Lin & Reinhard, 2005) e, provavelmente, condições ambientais e comunidades microbianas distintas nos locais de condução dos experimentos possam ser as causas da diferença entre os resultados.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios das porcentagens de redução da MPAS de plantas de sorgo com aplicação do Sulfentrazone nas épocas de avaliação.

Tabela 7 – Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de plantas de sorgo com aplicação do sulfentrazone nas épocas de avaliação. Manaus, 2025.

Dose (g ha ⁻¹)	Porcentagem de redução da massa de parte aérea seca de sorgo		
	21 DAA	42 DAA	63 DAA
0	0 bA	0 bA	0 aA
400	39 bA	29 abA	7 aA
800	86 aA	54 aA	0 aB

DAA – dias após a aplicação do herbicida. Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Dados da pesquisa.

Verifica-se que aos 21 DAA a atividade residual do sulfentrazone aplicado com dose de 400 g ha⁻¹ não influenciou significativamente a MPAS do sorgo em relação ao tratamento sem aplicação do herbicida, enquanto a dose de 800 g ha⁻¹ provocou reduções significativas da MPAS do sorgo, de 86 e 54%, aos 21 e 42 DAA, respectivamente. Aos 63 DAA o sulfentrazone, aplicado com ambas as doses, não afetou significativamente a MPAS do sorgo. Os sintomas observados nas plântulas de sorgo emergidas nos vasos que receberam a aplicação do sulfentrazone foram, incialmente, manchas no limbo foliar com coloração mais escura do que a área circundante e que depois evoluíram para necrose do tecido e morte das plântulas. O sulfentrazone é um inibidor da atividade da enzima protoporfirinogênio oxidase, localizada nos cloroplastos e mitocôndrias, provocando acúmulo de protoporfirinogênio IX no citoplasma, formação de protoporfirina IX e, na presença de luz e oxigênio, geração de espécies reativas de oxigênio que provoca peroxidação de lipídeos de membranas celulares e morte da célula (Qin et al., 2010; Wang et al., 2019). O período de atividade residual do sulfentrazone provocando “carryover” em plantas de sorgo restrito a 42 DAA no presente trabalho é inferior ao relatado por outros autores. Nalini et al. (2017) aplicaram o sulfentrazone em pré-emergência (360, 480 e 720 g ha⁻¹) em soja cultivada em solo com textura franco argiloso arenosa (a mesma do presente trabalho, Tabela 1) e semearam girassol e milheto 100 DAA do herbicida como plantas indicadoras e constataram reduções significativas da germinação de sementes (girassol 480 g ha⁻¹, milheto 360 g ha⁻¹), altura de plantas, MPAS (720 g ha⁻¹ para ambas as culturas) e produtividade de grãos (girassol 720 g ha⁻¹; milheto 360 g ha⁻¹). Rachuy e Fennimore (2021) verificaram que a atividade residual do sulfentrazone aplicado em solo com textura franco argilosa com doses de 112, 224, 336 g ha⁻¹ provocou injúrias em plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) seis meses após a aplicação com dose de 224 g ha⁻¹, 9 meses em cenoura (*Daucus carota*) com doses de 224 e 336 g ha⁻¹ e 12 meses em alface (*Lactuca sativa*) com doses de 112 e 224 g ha⁻¹, cebola (*Allium cepa*) com dose de 112 g ha⁻¹ e espinafre (224 e 336 g ha⁻¹). A explicação mais provável para a ocorrência de períodos tão distintos de atividade residual do sulfentrazone pode estar relacionada à microbiota do solo, uma vez que a degradação do herbicida é essencialmente realizada pela atividade microbiana que utiliza a molécula herbicida como fonte de carbono (Martinez et al., 2008; Martinez et al., 2010, Melo et al., 2017).

4. Conclusão

A ação residual no solo de todos os herbicidas avaliados provocou injúrias nas plantas indicadoras, cuja duração e intensidade nas plantas variou com as doses testadas. O período de ação residual mais curto foi verificado com aplicação do sulfentrazone com a menor dose (400 g ha⁻¹), e o mais longo com aplicação do indaziflam com a maior dose (100 g ha⁻¹), de 21 e 231 dias após a aplicação, respectivamente.

Referências

- Almeida, C. D. S. et al. (2020). Diuron sorption, desorption and degradation in anthropogenic soils compared to sandy soil. *Planta Daninha*, 38, e020217146.
- Araújo, G. R. et al. (2023). Cucumber bioassay and HPLC analysis to detect diuron residues in remineralized soils following *Canavalia ensiformis* cultivation as a phytoremediator. *Horticulturae*, 9, 1251.
- Bayer. (2025). https://cs-assets.bayer.com/is/content/bayer/ALION_BULA_10-03-2025pdf
- Brandenberger, L. P. et al. (2007). Injury potential from carryover of watermelon herbicide residues. *Weed Technology*, 21, 473-476.
- Brabham, C. et al. (2014). Indaziflam herbicidal action: a potent cellulose biosynthesis inhibitor. *Plant physiology*, 166, 1177-1185.
- Brum, C. S.; Franco, A. A. & Scorz Júnior, R. P. (2013). Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 558-564.
- Cadarsa, Y. & Gungadurdoss, M. (2010). Carryover of soil-applied herbicides on flue-cured tobacco. *University of Mauritius Research Journal*, 16, 1-13.
- Charnay, M. P. et al. (2005). Spatial variability in ¹⁴C-herbicide degradation in surface and subsurface soils. *Pest Management Science*, 61, 845-855.
- Cornelius, C. D. & Bradley, K. W. (2017). Carryover of common corn and soybean herbicides to various cover crop species. *Weed Technology*, 31, 21-31.
- Egea, T. C. et al. (2017). Diuron degradation by bacteria from soil of sugarcane crops. *Helyion*, 3, e00471.
- Ellegaard-Jensen, L. et al. (2014). Fungal–bacterial consortia increase diuron degradation in water-unsaturated systems. *Science of the Total Environment*, 466, 699-705.
- Fantke, P. & Jurasko, R. (2013). Variability of pesticide dissipation half-lives in plants. *Environmental Science & Technology*, 47, 3548-3562.
- Ferreira, E. B. et al. (2018). Package ‘ExpDes. pt’. *R package version, 1*.
- Ferri, M. V. W. & Vidal, R. A. (2003). Persistência do herbicida acetochlor em função de sistemas de preparo e cobertura com palha. *Ciência Rural*, 33, 399-404.
- Fontecha-Cámaras, M. A. et al. (2008). Kinetics of diuron and amitrole adsorption from aqueous solution on activated carbons. *Journal of hazardous materials*, 156, 472-477.
- Geoffroy, L. et al. (2002). Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 72, 178-185.
- González-Delgado, A. M. et al. (2017). Effect of application rate and irrigation on the movement and dissipation of indaziflam. *Journal of Environmental Sciences*, 51, 111-119.
- González-Delgado, A. M. & Shukla, M. K. (2020). Mobility, degradation, and uptake of indaziflam under greenhouse conditions. *HortScience*, 55, 1216-1221.
- Guerra, N. et al. (2014). Sensibility of plant species to herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam. *Planta Daninha*, 32, 609-617.
- Guimarães, A. C. D. et al. (2018). Role of soil physicochemical properties in quantifying the fate of diuron, hexazinone, and metribuzin. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 12419-12433.
- Jeschke, P. (2016). Progress of modern agricultural chemistry and future prospects. *Pest management science*, 72, 433-455.
- Jin, Y. et al. (2017). Diuron treatment reveals the different roles of two cyclic electron transfer pathways in photosystem II in *Arabidopsis thaliana*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 137, 15-20.
- Jursík, M. et al. (2015). Efficacy and selectivity of pre-emergent sunflower herbicides under different soil moisture conditions. *Plant Protection Science*, 51, 214-222.
- Kaapro, J. & Hall, J. (2012). Indaziflam—a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. *23 rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, 224-227.
- Lagat, S. C. et al. (2011). Metribuzin mobility in soil column as affected by environmental and physico-chemical parameters in Mumias sugarcane zone. Kenya. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6, 27-33.
- Leal, J. F. L. et al. (2023). Photosystem II- and photosystem I- inhibitor herbicides-driven changes in the dynamics of photosynthetic energy dissipation of *Conyza* spp. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45, 94.
- Lin, A. Y. C. & Reinhard, M. (2005). Photodegradation of common environmental pharmaceuticals and estrogens in river water. *Environmental toxicology and Chemistry*, 24, 1303-1309.
- Lourenço, R. C. & Carvalho, S. J. P. D. (2015). Bioindicator demonstrates high persistence of sulfentrazone in dry soil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45, 326-332.
- Lu, H. et al. (2019). A novel psbA mutation (Phe274–Val) confers resistance to PSII herbicides in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Pest Management Science*, 75, 144-151.

- Majumdar, K. & Singh, N. (2007). Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soils. *Chemosphere*, 66, 630-637.
- Martinez, C. O. et al. (2008). The effects of moisture and temperature on the degradation of sulfentrazone. *Geoderma*, 147, 56-62.
- Martinez, C. O. et al. (2010). Microbial degradation of sulfentrazone in a Brazilian rhodic hapludox soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 209-217.
- Mehdizadeh, M.; Alebrahim, M. T. & Roushani, M. (2017). Determination of two sulfonylurea herbicides residues in soil environment using HPLC and phytotoxicity of these herbicides by lentil bioassay. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 99, 93-99.
- Melo, C. A. D. et al. (2016). Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15, 67-78.
- Melo, C. A. D. et al. (2017). Isolation and characteristics of sulfentrazone-degrading bacteria. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52, 115-121.
- Muhamad, H. et al. (2013). The fate of diuron in soil in a Malaysian oil palm plantation. *Journal of Oil Palm Research*, 25, 149-158.
- Mutua, G. K., Ngigi, A. N. & Getenga, Z. M. (2016). Degradation characteristics of metribuzin in soils within the Nzoia River Drainage Basin, Kenya. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 98, 800-813.
- Nalini, R. R. P. et al. (2017). Persistence of sulfentrazone in soil under soybean and its carryover effect on bioindicators. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 67, 217-222.
- Ohmes, G. A.; Hayes, R. M. & Mueller, T. C. (2000). Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil. *Weed Technology*, 14, 100-105.
- Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.
- Pyone, W. W. et al. (2024). Phytotoxicity risk assessment of diuron residues in sands on wheat, chickpea, and canola. *PloS one*, 19, e0306865.
- Qin, X. et al. (2010). Structural insight into unique properties of protoporphyrinogen oxidase from *Bacillus subtilis*. *Journal of Structural Biology*, 170, 76-82.
- Rachuy, J. S. & Fennimore, S. A. (2021). Vegetable response to sulfentrazone soil residues at four planting intervals. *Weed Technology*, 35, 216-222.
- Ramanathan, S. S.; Gannon, T. W. & Maxwell, P. J. (2023). Dose-response of five weed species to indaziflam and oxadiazon. *Weed Technology*, 37(3), 303-312.
- Ribeiro, V. H. V. et al. (2021). Evaluating efficacy of preemergence soybean herbicides using field treated soil in greenhouse bioassays. *Weed Technology*, 35, 830-837.
- Rinella, M. J. et al. (2025). Simple bioassay for phytotoxic concentrations of the herbicide indaziflam in soil. *Rangeland Ecology & Management*, 100, 78-82.
- Rizzardi, M. A.; Rockenbach, A. P. & Schneider, T. (2020). Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. *Planta Daninha*, 38, e020222194.
- Rose, M. T. et al. (2022). Herbicide residues in Australian grain cropping soils at sowing and their relevance to crop growth. *Science of The Total Environment*, 833, 155105.
- Savaris, Q. M. et al. (2019). Determination of residual effect of indaziflam and amicarbazone in two soils through bioassay. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 18, 617.
- Sebastian, D. J.; Nissen, S. J. & Rodrigues, J. D. S. (2016). Pre-emergence control of six invasive winter annual grasses with imazapic and indaziflam. *Invasive Plant Science and Management*, 9, 308-316.
- Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia*. (2.ed). Editora Érica.
- Torres, B. A. et al. (2018). Saflufenacil and indaziflam herbicide effects on agricultural crops and microorganisms. *African Journal of Agricultural Research*, 13, 872-885.
- Walsh, K. D. et al. (2015). Biologically effective rate of sulfentrazone applied pre-emergence in soybean. *Canadian Journal of Plant Science*, 95, 339-344.
- Wang, D. W. et al. (2019). Discovery of novel N-isoxazolinylphenyltriazinones as promising protoporphyrinogen IX oxidase inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 12382-12392.