



## Efeito residual da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em solos de textura contrastante<sup>(1)</sup>

**Kassio Ferreira Mendes<sup>(2)</sup>; Michael Ortigara Goulart<sup>(3)</sup>; Francielle Freitas da Costa<sup>(3)</sup>; Miriam Hiroko Inoue<sup>(4)</sup>; Valdemar Luiz Tornisielo<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - FAPEMAT.

<sup>(2)</sup> Estudante de Doutorado em Ciências (Química na Agricultura e no Ambiente); Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA da Universidade de São Paulo – USP; Piracicaba, SP; kassio\_mendes\_06@hotmail.com;

<sup>(3)</sup> Estudantes de Agronomia; Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT; <sup>(4)</sup> Professora do Departamento de Agronomia; Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT; <sup>(5)</sup> Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA da Universidade de São Paulo – USP.

**RESUMO:** O efeito residual é a capacidade de retenção molecular do herbicida no ambiente em função das características físicas, químicas e funcionais. Para tal, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito residual da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em amostras de Latossolo Vermelho (textura argilosa) e Neossolo Quartzarênico (textura arenosa) por meio de bioensaio com o *Cucumis sativus*. Foi adotado o esquema fatorial de  $2 \times 7 + 1$ , onde avaliou-se as doses de  $1,14 + 0,32 + 0,02 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1,50 + 0,42 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$  da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente, em que as duas doses foram aplicadas em ambos os solos, em sete épocas de aplicação (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 DAA - dias após aplicação), além da testemunha sem a aplicação da mistura formulada para cada textura de solo. Através de modelo log-logístico não-linear encontrou-se o  $t_{1/2}$ , o tempo de meia-vida da mistura formulada. Houve interação significativa entre as doses da mistura formulada no solo de textura argilosa e os dias entre a aplicação e a semeadura do bioindicador com  $t_{1/2}$  de 100 e 80 dias para a maior e menor dose da mistura formulada, respectivamente, entretanto, para o solo de textura arenosa, a interação não foi significativa, com valor médio de  $t_{1/2}$  igual a 52 dias. O comportamento desta mistura formulada nos solos é dependente dos teores de matéria orgânica e argila, visto que estes fatores determinam a eficiência no controle das plantas daninhas.

**Termos de indexação:** bioensaio, persistência no solo, tempo de meia-vida.

### INTRODUÇÃO

A utilização de herbicidas pré-emergentes com efeito residual prolongado, como a mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl é um dos fatores que determinam grande eficiência no controle de plantas daninhas durante o

período crítico de competição. Segundo Oliveira (2001), os fatores que afetam o efeito residual de herbicidas, são os climáticos (temperatura e umidade); edáficos (pH, matéria orgânica, teores de argila e de alumínio, comunidade microbiana, porosidade, estrutura e fertilidade); solubilidade e estrutura química do herbicida.

O efeito residual é a capacidade de retenção molecular no ambiente em função das características físicas, químicas e funcionais (Oliveira, 2001). A persistência dos herbicidas no solo varia com sorção, lixiviação e degradação e/ou transformação biológica, visto que esses fatores regulam a concentração, o fluxo e o tempo de permanência destas moléculas na solução do solo (Inoue et al., 2011a). Estes autores ainda afirmam que essa persistência pode ser avaliada por métodos biológicos, utilizando uma planta sensível (bioindicador) ao herbicida.

Para identificar o efeito residual de herbicidas no solo, o método de bioensaio em casa de vegetação é ferramenta simples, rápida e de baixo custo, além de ser sensível para detectar a eficácia e fitotoxicidade dos herbicidas (Riddle et al., 2013). Neste contexto, Inoue et al. (2012), verificaram que o bioindicador *Cucumis sativus* foi mais sensível aos herbicidas hexazinone, diuron, diuron + hexazinone e diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl.

Diante da preocupação com o destino ambiental de herbicidas, aliados a sua grande utilidade nos sistemas agrícolas, e da eficácia agrônômica relacionada à persistência da molécula no ambiente, objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito residual da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em dois solos de textura contrastantes com o método de bioensaios.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em casa de vegetação da Universidade do Estado de Mato Grosso *campus* universitário de Tangará da Serra –



MT. Foram utilizados dois solos de textura contrastantes com o objetivo de avaliar o efeito residual e o potencial de lixiviação da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl.

As amostras de solos foram provenientes do município de Tangará da Serra (latitude 14°39'07"S, longitude 57°25'23"O e altitude 440 m) e do município de Diamantino (latitude 14°21'13"S, longitude 57°30'26"O altitude 325 m) sendo caracterizadas como Latossolo Vermelho - LV (textura argila) e Neossolo Quartzarênico - NQ (textura arenosa) (Embrapa, 2013). Ambas as amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, removendo os resíduos da superfície e, posteriormente, foram secadas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm. As características físico-químicas estão descritas na **tabela 1**.

**Tabela 1** – Características físico-químicas das amostras de solos utilizados nos ensaios.

Solo	pH (H <sub>2</sub> O)	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>
NQ	4,02	0,65	0,01	0,63	4,30
LV	4,81	0,15	0,38	1,98	4,20

Solo	MO (g dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )
NQ	17	5,6	953	2	45
LV	31	8,3	247	163	590

NQ= Neossolo Quartzarênico (textura arenosa); LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa). MO= Matéria Orgânica; CTC= Capacidade de Troca Catiônica.

**Fonte:** Padrão Análises. Tangará da Serra – MT.

Foram utilizados vasos com volume de 3 L cada, onde foram preenchidos com os dois solos de textura contrastante. Foi adotado o esquema fatorial de 2 x 7 + 1, onde avaliou-se as doses de 1,14 + 0,32 + 0,02 kg ha<sup>-1</sup> e 1,50 + 0,42 + 0,03 kg ha<sup>-1</sup> da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente, em que as duas doses foram aplicadas em ambos os solos, segundo metodologia proposta por Inoue et al. (2011b), no que referem-se às recomendações técnicas para solos de textura arenosa e argilosa, e sete épocas de aplicação (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 DAA - dias após aplicação), além da testemunha sem a aplicação da mistura formulada para cada textura de solo.

As aplicações foram realizadas com pulverizador de pressão constante, à base de CO<sub>2</sub>, munido de quatro pontas do tipo leque XR110.02, espaçados 0,50 m entre si. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 200 L ha<sup>-1</sup>. A aplicação foi realizada na

parte superior da vaso em uma distância de 0,50 m entre a barra de aplicação e a superfície da coluna. No momento da aplicação, a umidade relativa variou de 37,0 a 79,3%, o vento de 1,7 a 4,2 km h<sup>-1</sup> e as temperaturas máximas e mínimas variaram de 13,8 a 36°C e 9,5 a 29,5°C, respectivamente. Após a última aplicação da mistura formulada foi semeado o biondicador (*Cucumis sativus*), sensível à mistura (Inoue et al., 2012). Os vasos, nos quais continham os bioindicadores, foram submetidos à irrigação de 15 mm diariamente, e armazenados em casa de vegetação.

Foi realizada uma avaliação de controle do bioindicador aos 21 DAS – dias após a semeadura, de acordo Sbcpd (1995), com as notas variando de 0 a 100%, visando à ausência de controle ou morte total das plantas, respectivamente.

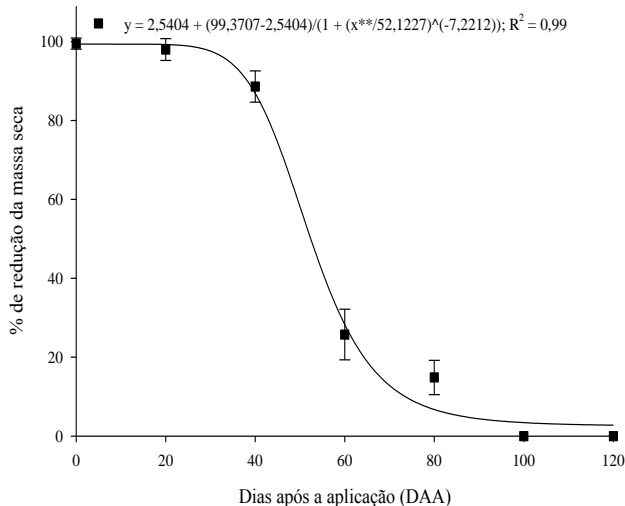
Para interpretação dos resultados, os valores de controle do bioindicador foram comparados aos do tratamento sem a mistura formulada (dose zero), contudo, quando não houve interação do controle, trabalhou-se com as médias dos tratamentos nas curvas. Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, foram ajustadas equações de regressão (p<0,01) pelo teste de F, com o programa Sigma Plot (Versão 10.0 for Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, CA), utilizando-se o modelo log-logístico não-linear proposto por Seefeldt et al. (1995):  $\hat{y} = a + (a - b)/(1 + (x/t_{1/2})^{-c})$ , em que a e b correspondem ao controle mínimo e máximo, respectivamente, do bioindicador; o c, ao declive da curva; e o t<sub>1/2</sub>, o tempo de meia-vida (dias) da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron, ou seja, o tempo necessário para que 50% do herbicida aplicado inicialmente seja dissipado do ambiente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Neossolo Quartzarênico, com textura arenosa, a interação dupla entre as doses da mistura e os dias após a aplicação não foi estatisticamente significativa (**Figura 1**). O maior controle observado neste solo, ocorreram entre 0 e 40 DAA da mistura formulada, com valores superiores a 80% (**Figura 1**). Inoue et al. (2011b) verificaram que herbicidas pré-emergentes, como é o caso da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, aplicados em solos com baixos teores de argila resultam em menor efeito residual, mesmo empregando doses elevadas.

A partir dos 80 DAA, o controle do bioindicador foi próximo de zero, significando que a mistura formulada aplicada inicialmente já tinha sido quase totalmente dissipada no solo (**Figura 1**). O t<sub>1/2</sub>

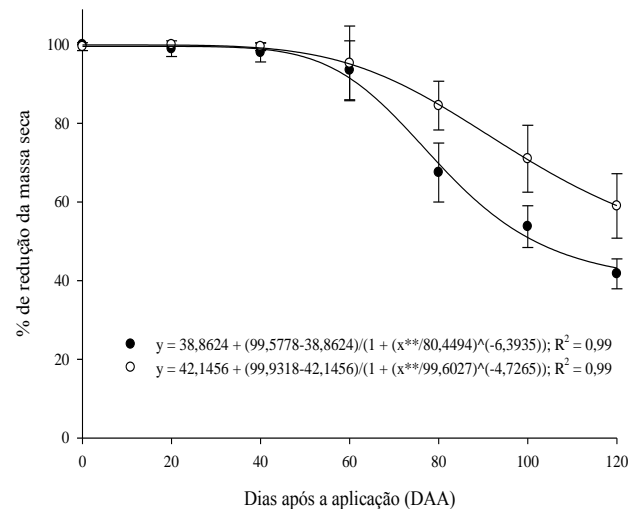
(tempo de meia-vida) da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl neste solo de textura arenosa (NQ) foi de aproximadamente 52 dias (**Figura 1**). Em solo de florestas, com textura franco-arenosa na Nova Zelândia, Garrett et al. (2015), encontraram a  $t_{1/2}$  de 18 dias para o hexazinone aplicado isoladamente. Em trabalhos desenvolvidos por Caracciolo et al. (2005) foi encontrado que o  $t_{1/2}$  do diuron em solo esterilizado e não esterilizado foram de 15 e 129 dias, respectivamente, demonstrando assim a importância dos microrganismos na dissipação desse herbicida. Aplicando  $630 \text{ g ha}^{-1}$  de sulfometuron-methyl em solos nos Estados Unidos, Trubey et al. (1998) encontraram valores do  $t_{1/2}$  variando entre 12 a 25 dias.



**Figura 1** - Porcentagem de controle da espécie bioindicadora (*Cucumis sativus* L.), em relação à testemunha, aos 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após aplicação (DAA) da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, com a média dos dados observados para ambas as doses ( $1,14 + 0,32 + 0,02 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1,50 + 0,42 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente) (■) em solo arenoso (NQ). Tangará da Serra, MT, 2014. A barra vertical associada com cada símbolo representa o desvio padrão ( $\pm$ DP) de cada valor de média ( $n = 8$ ). \*\* $p < 0,01$  pelo teste de F.

A interação dupla entre as doses da mistura formulada e os dias após a aplicação foi estatisticamente significativa, no Latossolo Vermelho, cuja textura é argilosa (**Figura 2**). A dose recomendada para solos argilosos ( $1,50 + 0,42 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$  de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente) proporcionou controle superior à 60% do bioindicador até aos 120 DAA, apresentando controle eficiente (próximo de 100%) até aos 60 DAA, para ambas as doses, contudo, a

dose recomendada para solos arenosos ( $1,14; 0,32$  e  $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$  da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente) provocou controle de 40% sobre o bioindicador aos 120 DAA, diferindo do controle proporcionado pela maior dose, que é recomendada para solos argilosos (**Figura 2**).



**Figura 2** - Porcentagem de controle da espécie bioindicadora (*Cucumis sativus* L.), em relação à testemunha, aos 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após aplicação (DAA) da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl na dose de  $1,14 + 0,32 + 0,02 \text{ kg ha}^{-1}$  (●) e na dose de  $1,50 + 0,42 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$  (○), respectivamente, em solo argiloso (LV). Tangará da Serra, MT, 2014. A barra vertical associada com cada símbolo representa o desvio padrão ( $\pm$ DP) de cada valor de média ( $n = 4$ ). \*\* $p < 0,01$  pelo teste de F.

Garcia et al. (2012) concluíram que a eficácia da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl está intrinsecamente ligada às quantidades de argila e MO, sendo possível traçar dois grandes grupos texturais que proporcionam respostas distintas do controle, nas quais são separadas por aproximadamente 25% de argila e  $17 \text{ g dm}^{-3}$  de MO.

O  $t_{1/2}$  da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl neste solo de textura argilosa (LV) foi de aproximadamente 80 dias para a menor dose recomendada para solos arenosos e 100 dias para a maior dose recomendada para solos argilosos (**Figura 2**). Já para o sulfometuron-methyl, Oliveira Jr et al. (2001) determinaram valores de  $t_{1/2}$  de 20 e 13 dias para Latossolo Vermelho, no Paraná (pH 6,3; 75% de argila) e em Minas Gerais (pH 4,8; 42% de argila).

Para o hexazinone, o  $t_{1/2}$  obtido por Queiroz et al. (2009), no Latossolo Vermelho Distrófico psamítico



(LVdq) foi 125 e 145 dias nas profundidades de 0 e 10 cm, respectivamente. Os autores salientam esta diferença, devido à menor atividade microbiológica em subsuperfície, já que este é o principal fator de dissipação do hexazinone no solo.

Houve grande expansão no uso de misturas e na aplicação sequencial de vários herbicidas em um único ciclo cultural; entretanto, o manejo de herbicidas, especialmente as misturas, requer grande cuidado, além do conhecimento a respeito das interações entre os produtos, visando obter o máximo de controle de plantas daninhas e minimizar injúrias às culturas (Silva et al., 2007). Portanto, deve-se dar preferência às misturas formuladas, como o diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl.

### CONCLUSÕES

A dose recomendada para o solo de textura argilosa da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, proporcionou maior efeito residual no solo argiloso quando comparado à dose recomendada para solos arenosos. No solo argiloso o  $t_{1/2}$ , para as doses de 1,5 + 0,42 + 0,03 kg ha<sup>-1</sup> e 1,14 + 0,32 + 0,02 kg ha<sup>-1</sup> foi de 100 e 80 dias, respectivamente. Entretanto, as duas doses citadas anteriormente, não diferiram entre si no solo de textura arenosa, obtendo um valor de  $t_{1/2}$  igual a 52.

O comportamento de herbicidas no solo, bem como a sua eficiência no controle de plantas daninhas, variam de acordo com as características físico-químicas, principalmente, teores de MO e argila, sendo assim estas propriedades do solo de suma importância na escolha do herbicida.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT, pelo apoio financeiro à pesquisa.

### REFERÊNCIAS

CARACCILO, A.B.; GIULIANO, G.; GRENNI, P.; GUZZELLA, L.; POZZONI, F.; BOTTONI, P.; FAVA, L.; CROBE, A.; ORRU, M.; FUNARI. Degradation and leaching of the herbicides metolachlor and diuron: a case study in an area of Northern Italy. *Environmental Pollution*, 134: 525-534, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed., Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

GARCIA, D.B; ALVES, S.N.R.; CASON, J.B.; CHRISTOFOOLETI, P.J. Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação

comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 11: 222-230, 2012.

GARRETT, L.G.; WATT, M.S.; ROLANDO, C.A.; PEARCE, S.H. Environmental fate of terbuthylazine and hexazinone in a New Zealand planted forest Pumice soil. *Forest Ecology and Management*, 337: 67-76, 2015.

INOUE, M.H.; SANTANA, C.T.C.; OLIVEIRA JR., R.S.; POSSAMAI, A.C.S.; SANTANA, D.C.; ARRUDA, R.A.D.; DALLACORT, R.; SZTOLTZ, C.L. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. *Planta Daninha*, 29: 429-435, 2011a.

INOUE, M.H.; TSCHOPE, M.C.; MENDES, K.F.; MATOS, A.K.A.; GOULART, B.F.; BEN, R. Seleção de bioindicadores para herbicidas residuais aplicados em pré-emergência. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, 10: 173-182, 2012.

INOUE, M.H.; MENDES, K.F.; SANTANA, C.T.C.; POSSAMAI, A.C.S. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 10: 232-242, 2011b.

OLIVEIRA JR., R.S.; KOSKINEN, W.C.; FERREIRA, F.A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Research*, 41: 97-110, 2001.

OLIVEIRA, M.F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. (Ed.). *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, 2001. p.315-362.

QUEIROZ, S.C.N.; FERRACINI, V.L.; GOMES, M.A.F.; ROSA, M.A. Comportamento do herbicida hexazinone em área de recarga do aquífero Guarani cultivada com cana-de-açúcar. *Química Nova*, 32: 378-381, 2009.

RIDDLE, R.N.; O'SULLIVAN, J.; SWANTON, C.J.; VAN ACKER, R.C. Field and greenhouse bioassays to determine mesotrione residues in soil. *Weed Technology*, 27: 565-572, 2013.

SBCPD - SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

SEEFELDT, S.S.; JENSEN, S.E.; FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, 9: 218-227, 1995

SILVA, J.F.; SILVA, J.F.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.149-188.

TRUBEY, R.K.; BETHEM, R.A.; PETERSON, B. Degradation and mobility of sulfometuron-methyl (Oust herbicide) in field soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2360-2367, 1998.