ARTIGO ORIGINAL

Miriam Hiroko Inoue¹
Kassio Ferreira Mendes^{2*}
Michael Ortigara Goulart¹
Tatiane Beatriz Mertens¹
Oliane Cristina de Souza¹
Miguel Augusto Zubko¹

Potencial de lixiviação e efeito residual de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em solos de textura contrastante

Leaching potential and residual effect of diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl in soils of contrasting textures

¹ Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Rodovia MT – 358, km 07, Jardim Aeroporto, 78300-000, Tangará da Serra, MT, Brasil

² Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, Avenida Centenário, 303, São Dimas, 13416-000, Piracicaba, SP, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: kassio_mendes_06@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Bioensaio
Comportamento no solo
Precipitação pluviométrica

KEYWORDS

Bioassay
Behavior in soil
Rainfall

RESUMO: A eficiência no controle de plantas daninhas e o destino de herbicidas no ambiente são influenciados por processos de lixiviação e efeito residual. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o potencial de lixiviação e o efeito residual de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em amostras de solos argilosos e arenosos. Para verificar o potencial de lixiviação, foram aplicados $1,14 + 0,32 + 0,02$ e $1,50 + 0,42 + 0,03$ kg ha⁻¹ nos solos arenoso e argiloso, respectivamente, em colunas, observando-se o controle de *Cucumis sativus* nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 e 25-30 cm, com simulação de seis precipitações (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm). Na avaliação do efeito residual, foi adotado o esquema fatorial de $2 \times 7 + 1$, em que avaliaram-se as doses de $1,14 + 0,32 + 0,02$ e $1,50 + 0,42 + 0,03$ kg ha⁻¹ em ambos os solos, com sete épocas de aplicação (zero, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias, entre a aplicação e a semeadura do bioindicador), além do controle sem a aplicação. Através de modelo log-logístico não linear, encontrou-se o $t_{1/2}$ da mistura formulada. Nas simulações de precipitações superiores a 60 mm, foram observados controles do bioindicador superiores a 90%, em todas as profundidades, em solo arenoso. No solo argiloso, verificou-se a presença da mistura formulada entre 0-15 cm, nas maiores simulações. Houve interação significativa, no efeito residual, entre as doses no solo argiloso com $t_{1/2}$ de 100 e 80 dias para a maior e a menor dose, respectivamente. Para o solo arenoso, a interação não foi significativa, com $t_{1/2}$ igual a 52 dias.

ABSTRACT: Weed control efficiency and herbicide allocation in the environment are influenced by leaching processes and residual effect. With this premise, the objective of this study was to evaluate the leaching potential and residual effect of diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl in samples of clayey and sandy soils. To assess the leaching potential, $1.14 + 0.32 + 0.02$ and $1.50 + 0.42 + 0.03$ kg ha⁻¹ of this association were applied in columns to sandy and loamy soils, respectively. *Cucumis sativus* control was monitored at the depths of 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, and 25-30 cm with six precipitation simulations (0, 20, 40, 60, 80, and 100 mm). A $2 \times 7 + 1$ factorial design was adopted to assess the residual effect, where the doses of $1.14 + 0.32 + 0.02$ and $1.50 + 0.42 + 0.03$ kg ha⁻¹ were evaluated in both soils, with seven application times (0, 20, 40, 60, 80, 100, and 120 days between the application and the bioindicator sowing) and a control (no application). The $t_{1/2}$ of the formulated mixture was determined using a nonlinear, log-logistic model. In the simulations above 60 mm, bioindicator control levels higher than 90% of that of the control were observed at all depths in sandy soil. In loamy soil, presence of the formulated mixture was observed at depths between 0-15 cm in greater rainfall simulations. Regarding the residual effect in loamy soil, there was significant interaction between the doses with $t_{1/2}$ of 100 and 80 days for the highest and smallest doses, respectively. No significant interaction was observed for sandy soil, with $t_{1/2}$ equals 52 days.

Recebido: 23 jun. 2015

Aceito: 18 fev. 2016

1 Introdução

A associação de dois ou mais herbicidas é uma técnica amplamente empregada no controle das plantas daninhas, juntamente com outras técnicas de manejo. Entre as vantagens apresentadas pela associação de herbicidas, está o aumento do espectro de controle (Damalas & Eleftherohorinos, 2001), a redução de custos e a prevenção do surgimento de plantas daninhas resistente aos herbicidas (Gressel, 1990).

A utilização de herbicidas em pré-emergência com efeito residual prolongado é um dos fatores que determinam a eficiência no controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição (Inoue et al., 2012). Os fatores que afetam o processo de degradação e movimentação de herbicidas são fatores 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 produto (Oliveira, 2001).

O efeito residual (*carryover*) 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,b). Esses autores ainda afirmam que essa persistência pode ser avaliada por métodos biológicos, utilizando-se uma planta sensível (bioindicador) ao herbicida.

O potencial de lixiviação de herbicidas, bem como sua biodisponibilidade às plantas e aos microrganismos, diminui em solos ricos em matéria orgânica e argilosos (Inoue et al., 2008). Precipitações e manejo de irrigação são fatores que influenciam na lixiviação, visto que promovem o movimento vertical de herbicidas no solo, aumentando o potencial de lixiviação quando as moléculas apresentam alta solubilidade (Martini et al., 2011).

Para identificar o efeito residual e o potencial de lixiviação 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 a 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.

O diuron, pertencente ao grupo das ureias, tem como modo de ação a inibição do fotossistema II, pelo qual se interrompe o fluxo de elétrons entre os fotossistemas II e I, impedindo a realização da fotossíntese e, consequentemente, após uma série de reações, provoca a morte da planta (Oliveira Junior, 2011). Sua solubilidade é de 42 mg L⁻¹ e a principal dissipação da molécula do diuron é a degradação biológica, além de ser relativamente persistente no solo, apresentando meia-vida de 90-180 dias (Rodrigues & Almeida, 2011). Inoue et al. (2008) verificaram que o diuron apresenta alta estabilidade no solo argiloso, mesmo aplicando doses elevadas.

O hexazinone, pertence ao grupo das triazinonas, e tem ação no fotossistema II, paralisando a fotossíntese a partir da inibição do processo de transporte de elétrons da quinona Qa para a Qb (Oliveira Junior, 2011). Este herbicida apresenta alta

solubilidade, cerca de 33 mg L⁻¹ a 25 °C, e é mais degradado por microrganismos (Kidd & James, 1991). De acordo com Queiroz et al. (2009), o tempo de meia-vida do hexazinone no Latossolo Vermelho Distrófico psamítico é de 125-145 dias.

O sulfometuron-methyl, o qual pertence ao grupo das sulfonilureias, é inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), o que resulta na interrupção da divisão celular e no crescimento da planta, levando à sua morte (Oliveira Junior, 2011). Segundo Sondhia (2009), a solubilidade do sulfometuron-methyl se eleva com o aumento do pH do solo, sendo de 1.627 mg L⁻¹ em pH 7,0. A meia-vida deste herbicida varia entre 30-120 dias, e pode ser degradado tanto por hidrólise quanto por biodegradação (Oliveira, 2001).

Garcia et al. (2012) relataram que a mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl apresenta potencial de lixiviação em solo de textura arenosa mesmo na ausência de precipitação, atingindo a camada de 10 cm, com controle de 80% sobre *Ipomoea triloba*. Esses autores concluíram que o controle da mistura formulada sobre a espécie estudada foi superior a 40% na profundidade de 25 cm, avaliando em colunas de PVC de 50 cm, com simulação de 40 mm de precipitação em solo arenoso. Para o solo de textura argilosa, os mesmos autores verificaram que a mistura formulada provocou 80% de controle de *I. triloba* na profundidade de 25 cm, simulando a precipitação de 40 mm.

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

2 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 e altitude 325 m), sendo caracterizadas como Latossolo Vermelho - LV (textura argila) e Neossolo Quartzarênico - NQ (textura arenosa), respectivamente (EMBRAPA, 2013). Ambas as amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, removendo-se os resíduos da superfície, sendo, posteriormente, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm. As características físico-químicas estão descritas na Tabela 1.

Para avaliar o potencial de lixiviação, foram realizados dois ensaios, sendo um para cada tipo de solo, cujo delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com esquema fatorial de 6 × 6 e quatro repetições, simulando seis precipitações (0, 20, 40, 60, 80, 100 mm) e a coluna seccionada em seis profundidades do solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm).

Tabela 1. Características físico-químicas das amostras de solos utilizados nos ensaios.**Table 1.** Physical chemical characteristics of the soil samples used in the tests.

Solo	pH (H ₂ O)	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ⁺² +Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	Ca ⁺²	K ⁺	P (mg dm ⁻³)
NQ ^{1/}	4,02	0,65	4,30	1,33	0,63	0,01	3
LV ^{2/}	4,81	0,15	4,20	3,67	1,98	0,38	4
Solo	M.O. (g dm ⁻³)	CTC (cmol _c dm ⁻³)	V (%)	Areia	Silte (g kg ⁻¹)	Argila	
NQ ^{1/}	17	5,6	23,71	953	2	45	
LV ^{2/}	31	8,3	49,00	247	163	590	

^{1/}NQ= Neossolo Quartzarênico (textura arenosa); ^{2/}LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa); M.O.= Matéria Orgânica; CTC= Capacidade de Troca Catiônica; V = Saturação de Bases. Fonte: Padrão Análises. Tangará da Serra-MT.

O potencial de lixiviação da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl foi avaliado pelo método de colunas de solo, em que foram utilizadas colunas de PVC, sendo que estas foram parafinadas internamente para evitar o fluxo preferencial pelas bordas da coluna. Com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro, as colunas foram preenchidas com os dois solos de textura contrastantes e a sua parte inferior foi selada com sombrite, para realizar a retenção do solo na coluna. Após este processo, as colunas foram umedecidas no sentido ascendente para preencher os poros do solo por capilaridade. Posteriormente, as colunas foram colocadas sobre a bancada para drenagem do excesso de água.

A mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl foi aplicada de acordo com as recomendações técnicas para cada tipo de solo, na cultura da cana-de-açúcar. Para o solo arenoso, foi aplicada a dose de 1,14 + 0,32 + 0,02 kg ha⁻¹ da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente. Já para o solo de textura arenosa, seguindo a mesma ordem da mistura formulada citada anteriormente, foram aplicados 1,50 + 0,42 + 0,03 kg ha⁻¹. Ambas as doses foram aplicadas na parte superior da coluna, seguidas de seis simulações de precipitação com lâminas d'água de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm.

Após 24 h, as colunas foram cortadas longitudinalmente com o auxílio de uma serra elétrica para realizar a semeadura do bioindicador (*Cucumis sativus*), selecionado via maior sensibilidade à mistura formulada (Inoue et al., 2012). Logo, estas foram submetidas à irrigação diária de 15 mm, para proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal.

Transcorridos 21 dias após semeadura, foram realizadas as avaliações de controle, por notas de porcentagem, utilizando-se a escala de zero a 100, em que zero é a ausência de controle e cem corresponde à morte total dos bioindicadores (SBPCD, 1995). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), utilizando-se o *software* estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002).

Para verificar o efeito residual da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, foram utilizados vasos com volume de 3 L cada, os quais foram preenchidos com os dois solos de textura contrastante. Foi adotado o esquema fatorial de 2 × 7 + 1, em que avaliaram-se as doses de 1,14 + 0,32 +

0,02 kg ha⁻¹ e 1,50 + 0,42 + 0,03 kg ha⁻¹ da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente. As duas doses foram aplicadas em ambos os solos, segundo metodologia proposta por Inoue et al. (2011a,b), no que refere-se às recomendações técnicas para solos de textura arenosa e argilosa, em sete épocas de aplicação (zero, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias entre a aplicação e a semeadura do bioindicador), além do controle, sem a aplicação da mistura formulada para cada textura de solo.

As aplicações, tanto no ensaio de lixiviação quanto no de efeito residual, foram realizadas com pulverizador de pressão constante, à base de CO₂, munido de quatro pontas do tipo leque XR110.02, espaçadas 0,50 m entre si. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 200 L ha⁻¹. A aplicação foi realizada na parte superior da coluna, 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⁻¹ 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 bioindicador (*Cucumis sativus*), sensível à mistura (Inoue et al., 2012). Os vasos, os 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 dias após a semeadura, de acordo com SBPCD (1995), com as notas variando de zero a 100%, semelhantes ao ensaio de potencial de lixiviação.

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 pelo teste F, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002) e, posteriormente, foram plotadas equações de regressão e as curvas com o programa Sigma Plot (Versão 10.0 for Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, CA).

Para os dados relacionados ao efeito residual, foram ajustadas equações de regressão ($p < 0,01$) pelo teste de F, utilizando-se o modelo log-logístico não linear proposto por Seefeldt et al. (1995), conforme descrito na Equação 1:

$$\hat{y} = a + (a - b)/(1 + (x/t_{1/2})^c) \quad (1)$$

Em que:

a e b = controle mínimo e máximo, respectivamente, do bioindicador;

c = declive da curva;

$t_{1/2}$ = 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.

3 Resultados e Discussão

No solo arenoso, ocorreu a maior lixiviação da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl (Tabela 2). Observa-se a fitotoxicidade do bioindicador (>79,2%) na profundidade de 10-15 cm sem aplicação da lâmina de água, no solo de textura arenosa, apresentando 4,5% de argila, 17 g dm⁻³ de MO e CTC igual a 5,6 cmol_c dm⁻³. Comparando-se com resultados obtidos por Garcia et al. (2012), no solo de textura arenosa com teores de 11,5% de argila e 10 g dm⁻³ de MO, o diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, na dose de 1,3 + 0,39 + 0,03 kg ha⁻¹, respectivamente, ocasionaram controle de 80% em *Ipomoea triloba* para a profundidade de 10 cm, sem precipitação. Os autores ainda salientaram que, mesmo na ausência de simulação de precipitação e os solos na capacidade de campo, esses herbicidas em mistura podem lixiviar até 15 cm de profundidade e promover controle eficiente das plantas daninhas.

Solos com baixos teores de matéria orgânica possuem baixa capacidade de sorção, favorecendo as perdas dos herbicidas por lixiviação. Neste contexto, os teores de MO e argila do solo de textura arenosa, presente neste ensaio, podem ter contribuído para o aumento do potencial de lixiviação da mistura formulada. Mendes et al. (2014) encontraram correlação significativa entre o coeficiente de sorção (K_d) do diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl, e os teores de MO e CTC dos solos brasileiros.

No caso de solos brasileiros tropicais, altamente intemperizados, a fração argila é predominantemente composta por óxidos e hidróxidos de Fe e Al, e argilas silicatadas 1:1, de baixa reatividade (caulinita), sendo que a maior parte da CTC é devida à MO do solo, o que explica a simultaneidade de significância para as correlações (Oliveira Junior et al., 2001). Ressalta-se que,

em geral, as recomendações brasileiras de doses de herbicidas aplicados ao solo baseiam-se na textura – e não no teor de MO – como parâmetro principal de referência inicial, o que desperta dúvidas quanto à adequação desse critério (Oliveira Junior et al., 2001).

Com a simulação de 40 mm de precipitação, a mistura formulada atingiu a maior profundidade da coluna (25-30 cm), apresentando controle de aproximadamente 75%, diferindo das demais profundidades. As simulações de 80 e 100 mm proporcionaram maior lixiviação da mistura formulada em todas as profundidades da coluna, não diferindo entre si, com controle superior a 91,5% em todas as profundidades da coluna.

Mendes et al. (2013), utilizando o bioindicador *C. sativus*, verificaram que o hexazinone, na dose de 0,37 kg ha⁻¹, apresentou movimentação vertical em todas as extensões das colunas de 30 cm, as quais continham Neossolo Quartzarênico (13,8% de argila e 5 g dm⁻³ de MO), nas simulações de 60 a 100 mm de precipitação. Além disso, os autores verificaram que, na ausência de precipitação (0 mm), o hexazinone alcançou a profundidade de 15 cm. Segundo os mesmos autores, a lixiviação do hexazinone pode estar relacionada à sua fraca sorção no solo, visto que o valor do K_{oc} é de 19-300 L kg⁻¹. Desta maneira, o hexazinone tem uma tendência de permanecer na solução disponível do solo. Já Garcia et al. (2012) observaram que o hexazinone, em solo de textura arenosa, chegou a 17 cm de profundidade, com simulação de 40 mm de precipitação, causando 80% de controle em plântulas de *I. triloba*. Esses autores concluíram que não houve diferença significativa de lixiviação de diuron até a profundidade de 10 cm nas lâminas de 0 e 40 mm, tanto no solo arenoso (pH 4,5; 10 g dm⁻³ de MO e 11% de argila) quanto no argiloso (pH 4,8; 24 g dm⁻³ de MO e 59% de argila). A baixa solubilidade e a hidrofobicidade do diuron também justificam sua baixa lixiviação (Prata et al., 2000; Inoue et al., 2008).

O efeito da mistura de diuron + hexazinone, na profundidade de 20 cm, proporcionou controle do bioindicador de 20 e 76,6% em solo de textura argilosa (pH 4,2; 18 g dm⁻³ de MO e 55% de argila) e arenosa (pH 5,0; 5 g dm⁻³ de MO e 13,8% de argila), respectivamente, de acordo com resultados obtidos por Mendes et al. (2013) em estudo de lixiviação destes herbicidas.

Em relação ao sulfometuron-methyl, Garcia et al. (2012) verificaram que este herbicida proporcionou controle superior a 60% na profundidade de 20 cm em solo de textura arenosa, simulando precipitação de 20 mm. Além disso, os autores

Tabela 2. Porcentagem de controle das plântulas de *Cucumis sativus* cultivadas nas colunas com amostras de solo com textura arenosa (NQ) após a aplicação da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl (1,14 + 0,32 + 0,02 kg ha⁻¹, respectivamente) e simulação de diferentes precipitações.

Table 2. Percent control of *Cucumis sativus* seedlings grown in soil columns of samples of sandy texture (NQ) after application of the formulated mixture of hexazinone + diuron + sulfometuron-methyl (1.14 + 0.32 + 0.02 kg ha⁻¹, respectively) and simulation of different rainfall.

Profundidade na coluna (cm)	Lâmina aplicada (mm)					
	0	20	40	60	80	100
0-5	95,0 aA	94,0 aA	94,5 aA	95,0 aA	95,7 aA	94,7 aA
5-10	90,2 bB	90,7 bB	90,7 bB	93,7 aA	94,0 aA	94,7 aA
10-15	79,2 cC	86,0 cC	89,2 bB	91,0 bB	94,0 aA	94,0 aA
15-20	0,0 eD	57,2 dD	85,2 cC	89,7 bB	91,5 bA	94,5 aA
20-25	0,0 cD	0,0 cE	80,5 bD	91,0 aB	92,5 aA	93,2 aA
25-30	0,0 cD	0,0 cE	74,7 bE	91,2 aB	92,7 aA	94,7 aA

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). C.V. = 2,69%.

observaram que o sulfometuron-methyl aplicado em solo arenoso, submetido à precipitação de 40 mm, alcançou a profundidade de 35 cm da coluna, entretanto, com controle de apenas 20% sobre *C. sativus*. Neste trabalho, os autores concluíram que os herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e hexazinone apresentam maior tendência a serem lixiviados por influência pluviométrica do que o diuron e o sulfometuron aplicados isoladamente.

Observa-se que a maior lâmina aplicada, na qual foram simulados 100 mm, a mistura formulada não atingiu a profundidade de 25 cm e, na simulação de 80 mm, a mistura apresentou controle de 59,7% para o bioindicador na profundidade de 20 cm (Tabela 3). Não houve diferença no controle do bioindicador entre as diferentes precipitações simuladas na superfície de 0-5 cm para o solo arenoso e argiloso, verificando controles superiores a 92%.

Em Latossolo Amarelo (31,6-48,4% de argila e 0,60-3,32% de MO), Dores et al. (2013) relataram que o diuron não foi detectado na solução lixiviada aos 50 cm de profundidade da coluna preenchida com solo após duas simulações de chuva de 200 mm. A sorção do diuron é considerada alta nos solos e é influenciada, principalmente, pelo teor de argila e carbono orgânico (Inoue et al., 2006).

Apesar de o diuron ter demonstrando menor potencial de lixiviação no solo, com os valores de K_d de 14,3; 2,7 e 1,4 L kg⁻¹ nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-50 cm, respectivamente, a mobilidade vertical do herbicida pode aumentar se este penetrar nos horizontes mais profundos do solo, nos quais os teores de MO são baixos (Dores et al., 2013). No entanto, os autores afirmam que práticas agrícolas que resultam na acumulação de MO próxima à superfície do solo podem contribuir para uma maior retenção do diuron na camada superficial devido à forte correlação com a MO, facilitando assim uma maior degradação do herbicida antes que este atinja as camadas mais profundas do solo, controlando o banco de sementes de plantas daninhas viáveis no solo.

O hexazinone apresenta alta solubilidade (29.800 ppm a 25 °C) e necessita de menos umidade no solo para se movimentar, quando comparado ao diuron (42 ppm a 25 °C) (Bouchard et al., 1985). Neste contexto, o controle nas maiores profundidades pode estar relacionado à atuação do hexazinone e do sulfometuron-methyl, já que a sorção do diuron é alta,

independentemente das características químicas do solo, além de este não se movimentar a mais de 15 cm da superfície (Inoue et al., 2006). Garcia et al. (2012) concluíram que o hexazinone promoveu controle de 100 e 40% nas profundidades de 10 e 15 cm, respectivamente, com lâmina de 40 mm.

De acordo com Garcia et al. (2012), o sulfometuron-methyl atingiu 20 cm com controle de 80% em solo de textura arenosa, cujo teor de MO apresentou 10 g dm⁻³ e pH 4,5. Em solos cujo pH é inferior ao pKa, que, no caso, corresponde a 5,2 (Senseman, 2007), este herbicida predomina na forma neutra e, em condições de pH acima de 5,2, passa a apresentar-se na forma dissociada. Por consequência, à medida que o pH se eleva, aumenta a possibilidade de lixiviação, já que apresenta alta solubilidade em água (1.627 mg L⁻¹) em pH 7,0 (Sondhia, 2009). Neste contexto, o pH dos solos arenoso e argiloso utilizados neste trabalho corresponde a 4,0 e 4,8, respectivamente. Portanto, o sulfometuron-methyl não lixiviou nos solos utilizados em função do pH.

A mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl demonstrou maior potencial de lixiviação em solo de textura arenosa, evidenciando os riscos de contaminação, enquanto que, no solo argiloso, a mistura formulada não ultrapassou a camada de 25 cm na maior precipitação de 100 mm. Estes resultados se assemelham aos obtidos por Garcia et al. (2012), os quais observaram que os herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e hexazinone provocaram fitotoxicidade de 80% em *C. sativus* até a profundidade de 20 cm, com a simulação de 20 mm de precipitação em solo de textura argilosa. Os autores ainda verificaram que a simulação de 40 mm proporcionou este controle na profundidade de 25 cm no solo argiloso.

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 1A). O maior controle observado, neste solo, ocorreu entre zero e 40 dias entre a aplicação da mistura formulada e a semeadura do bioindicador, com valores superiores a 80%. Isto ocorreu devido ao menor efeito residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos com baixos teores de argila, mesmo empregando-se doses elevadas (Inoue et al., 2011b).

A partir dos 80 dias entre a aplicação da mistura formulada e a semeadura do bioindicador, o controle foi próximo de zero,

Tabela 3. Porcentagem de controle das plântulas de *Cucumis sativus* cultivadas nas colunas com amostras de solo com textura argilosa (LV) após a aplicação da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl (1,50 + 0,42 + 0,03 kg ha⁻¹, respectivamente) e simulação de diferentes precipitações.

Table 3. Percentage of *Cucumis sativus* control seedlings grown in soil columns of samples of clayey soil (LV) after application of the formulated mixture of hexazinone + diuron + sulfometuron-methyl (1.50 + 0.42 + 0.03 kg ha⁻¹, respectively) and simulation of different rainfall.

Profundidade na coluna (cm)	Lâmina aplicada (mm)					
	0	20	40	60	80	100
0-5	93,2 aA	96,25 aA	93,0 aA	95,7 aA	92,0 aA	93,5 aA
5-10	0,0 dB	71,5 cB	81,5 bB	90,25 aB	88,2 aA	91,2 aA
10-15	0,0 eB	0,0 eC	59,5 dC	74,7 cC	83,0 bB	90,7 aA
15-20	0,0 dB	0,0 dC	0,0 dD	44,5 cD	59,7 bC	86,5 aB
20-25	0,0 bB	0,0 bC	0,0 bD	0,0 bE	0,0 bD	27,2 aC
25-30	0,0 aB	0,0 aC	0,0 aD	0,0 aE	0,0 aD	0,0 aD

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV = 7,67%.

significando que a mistura formulada aplicada inicialmente já tinha sido quase totalmente dissipada no solo. O $t_{1/2}$ (tempo de meia-vida) da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, neste solo de textura arenosa, foi de aproximadamente 52 dias (Figura 1A). Provavelmente, isto se

deve à intensa atividade microbiana em solos permeáveis, nos quais as trocas gasosas são facilitadas (King et al., 1998), haja vista que a degradação no ambiente dos herbicidas estudados neste trabalho é realizada por microrganismos (Kidd & James, 1991; Rodrigues & Almeida, 2011; Miranda Filho & Novo,

Figura 1. Porcentagem de controle de *Cucumis sativus*, em relação ao controle, aos zero, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias entre a aplicação de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl e a semeadura do bioindicador, com a média dos dados observados para ambas as doses ($1,14 + 0,32 + 0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1,50 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente) (■) em solo arenoso (A) e nas doses de $1,14 + 0,32 + 0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ (●) e $1,50 + 0,42 + 0,03 \text{ kg ha}^{-1}$ (○), em solo argiloso (B). A barra vertical associada com cada símbolo representa o desvio padrão (+DP) de cada valor de média ($n = 4$). ** $p < 0,01$ pelo teste de F.

Figure 1. Percentage of control *Cucumis sativus*, compared to the control at 0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 days between the application of diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl and bioindicator sowing, with the average of the data observed for both doses ($1.14 + 0.32 + 0.02 \text{ kg ha}^{-1}$ and $1.50 + 0.03 \text{ kg ha}^{-1}$, respectively) (■) in sandy soil (a) and in doses of $1.14 + 0.32 + 0.02 \text{ kg ha}^{-1}$ (●) and $1.50 + 0.42 + 0.03 \text{ kg ha}^{-1}$ (○) in clay soil (B). The vertical bar associated with each symbol represents the standard deviation ($\pm$ SD) of each average value ($n = 4$). ** $p < 0.01$ by F test.

2006). Além da influência dos fatores físicos do solo na atividade microbiana, a presença de nutrientes e matéria orgânica no solo estimula a atividade dos microrganismos e acelera o processo de degradação dos herbicidas no ambiente (Head, 1998).

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.

De acordo com Tran et al. (2013), uma das principais vias de degradação de compostos no ambiente é conhecida como cometabolismo, no qual o microrganismo utiliza-se de uma fonte de carbono e secreta enzimas que realizam as alterações das moléculas presentes no solo. Desta forma, fica evidenciada a influência da matéria orgânica sobre a velocidade de degradação dos herbicidas no solo.

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 1B). A dose recomendada para solos argilosos (1,50 + 0,42 + 0,03 kg ha⁻¹ de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente) proporcionou controle superior a 60% do bioindicador até aos 120 dias entre a aplicação da mistura formulada e a semeadura do bioindicador, apresentando controle eficiente (próximo de 100%) até aos 60 dias para ambas as doses. Contudo, a dose recomendada para solos arenosos (1,14; 0,32 e 0,02 kg ha⁻¹ da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl, respectivamente) provocou controle de 40% sobre o bioindicador aos 120 dias entre a aplicação da mistura formulada e a semeadura do bioindicador, diferindo do controle proporcionado pela maior dose que é recomendada para solos argilosos.

O $t_{1/2}$ da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl neste solo de textura argilosa foi de aproximadamente 80 dias para a menor dose recomendada para solos arenosos e 100 dias para a maior dose recomendada para solos argilosos. Maiores resultados de persistência foram encontrados por Alves (2010), o qual observou que a mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em condição de restrição hídrica, tanto na dose de 0,9 + 0,25 + 0,02 kg ha⁻¹ quanto na dose de 1,08 + 0,3 + 0,02 kg ha⁻¹, foi eficiente no controle de *I. triloba* (99% de controle) até 120 dias após a aplicação em Latossolo Vermelho Eutrófico, cujo teor de argila corresponde a 57% e o teor de MO é de 22 g dm⁻³.

Estudos realizados por Garcia et al. (2012) observaram que a eficácia da mistura formulada de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl está ligada às quantidades de argila e MO, sendo possível traçar dois grandes grupos texturais que proporcionam respostas distintas no controle, os quais são separados por aproximadamente 25% de argila e 17 g dm⁻³ de MO, tendo em vista que as moléculas podem ser adsorvidas na argila e na matéria orgânica, enquanto que o processo de degradação é influenciado pela composição orgânica do solo.

Oliveira Junior et al. (2001) determinaram valores de $t_{1/2}$ do sulfometuron-methyl 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), respectivamente. Para o hexazinone, o $t_{1/2}$ obtido

por Queiroz et al. (2009) no Latossolo Vermelho Distrófico psamítico (LVdq) foi de 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. E o $t_{1/2}$ para o diuron foi menor em solos cuja taxa de dissipação foi mais intensa, sendo 40 dias para Latossolo Vermelho (pH 6,2; 8 g dm⁻³ de MO e 72% de argila) e 46 dias para o Latossolo Amarelo (pH 6,3; 22 g dm⁻³ de MO e 79% de argila); nos demais solos, os valores de $t_{1/2}$ foram de 89, 90 e 91 dias para o Latossolo Vermelho (pH 5,0; 8 g dm⁻³ de MO e 72% de argila), o Latossolo Vermelho Amarelo (pH 5,9; 3,7 g dm⁻³ de MO e 27% de argila) e o Latossolo Vermelho Amarelo (pH 5,0; 3,7 g dm⁻³ de MO e 27% de argila), respectivamente (Rocha et al., 2013).

A mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl tem-se demonstrado uma excelente ferramenta no manejo de plantas daninhas, haja vista que apresenta persistência e mobilidade moderada, possibilitando controle prolongado ao longo do tempo e em plantas daninhas que conseguem se desenvolver em profundidade. Contudo, é fundamental ter o conhecimento das características físico-químicas dos solos, de modo a ajustar a dose adequada e evitar problemas ambientais.

4 Conclusões

A mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl teve mobilidade vertical nos solos avaliados, sendo esta influenciada pelas precipitações pluviométricas simuladas. Maior potencial de lixiviação ocorre em solo arenoso, verificando a atuação da mistura formulada em 30 cm de profundidade. Já para o solo argiloso, foi constatada a presença da mistura formulada na camada de 15 cm mesmo nas maiores simulações de precipitação.

A dose recomendada para solos argilosos da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl proporcionou maior efeito residual no solo argiloso quando comparada à dose recomendada para solos arenosos, com $t_{1/2}$ variando de 80 a 100 dias e 52 dias, respectivamente.

Referências

- ALVES, S. N. R. *Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo na cultura da cana-de-açúcar*. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- BOUCHARD, D. C.; LAVY, T. L.; LAWSON, E. R. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. *Journal of Environmental Quality*, v. 14, n. 2, p. 229-233, 1985. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq1985.00472425001400020015x>.
- CARACCILO, A. B.; GIULIANO, G.; GRENNI, P.; GUZZELLA, L.; POZZONI, F.; BOTTONI, P.; FAVA, L.; CROBE, A.; ORRÙ, M.; FUNARI, E. Degradation and leaching of the herbicides metolachlor and diuron: a case study in an area of Northern Italy. *Environmental Pollution*, v. 134, n. 3, p. 525-534, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2004.08.014>. PMID:15620598.
- DAMALAS, C. A.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Dicamba and atrazine antagonism on sulfonyleurea herbicides used for Johnsongrass

- (*Sorghum halepense*) control in corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, v. 15, n. 1, p. 62-67, 2001. [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2001\)015\[0062:DAAAOS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0062:DAAAOS]2.0.CO;2).
- DORES, F. G. C.; SOUZA, L.; VILLA, R. D.; PINTO, A. A. Assessment of metolachlor and diuron leaching in a tropical soil using undisturbed soil columns under laboratory conditions. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, v. 48, n. 2, p. 114-121, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2013.726900>. PMID:23305279.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- GARCIA, D. B.; ALVES, S. N. R.; CASON, J. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 11, n. 2, p. 222-230, 2012. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v11i2.172>.
- 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*, v. 337, p. 67-76, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.028>.
- GRESSEL, J. Synergizing herbicides. *Reviews of Weed Science*, v. 5, n. 1, p. 49-82, 1990.
- HEAD, I. M. *Bioremediation: towards a credible technology*. London: Microbiology, 1998. 608 p.
- INOUE, M. H.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; CONSTANTIN, J.; TORNISIELO, V. L. Sorption-desorption of atrazine and diuron in soils from southern Brazil. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, v. 41, n. 5, p. 605-621, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/03601230600701767>. PMID:16785170.
- INOUE, M. H.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de texturas contrastante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, n. 1, p. 631-638, 2008.
- 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*, v. 10, n. 3, p. 232-242, 2011a.
- INOUE, M. H.; SANTANA, C. T. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. R.; 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*, v. 29, n. 2, p. 429-435, 2011b.
- 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*, v. 10, n. 2, p. 173-182, 2012.
- KIDD, H.; JAMES, D. R. *The agrochemicals handbook*. Cambridge: Royal Society of Chemistry Information Services, 1991. 1200 p.
- KING, R. B.; LONG, G. M.; SHELDON, J. K. *Practical environmental bioremediation: the field guide*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1998. 208 p.
- MARTINI, L. F. D.; AVILA, L. A.; SOUTO, K. M.; CASSOL, G. V.; REFATTI, J. P.; MARCHESAN, E.; BARROS, C. A. P. Lixiviação de imazethapir + imazapic em função do manejo de irrigação do arroz. *Planta Daninha*, v. 29, n. 1, p. 185-193, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000100021>.
- MENDES, K. F.; GOULART, B. F.; POSSAMAI, A. C. S.; INOUE, M. H.; MATOS, A. K. A.; TSHCOPE, M. C. Lixiviação do hexazinone e da mistura hexazinone + diuron em colunas de solos com texturas distintas. *Revista Agroambiente Online*, v. 7, n. 2, p. 218-224, 2013.
- MENDES, K. F.; REIS, M. R.; DIAS, A. C. R.; FORMIGA, J. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; TORNISIELO, V. L. A proposal to standardize herbicide sorption coefficients in Brazilian tropical soils compared to temperate soils. *Journal of Food Agriculture and Environment*, v. 12, n. 3-4, p. 424-433, 2014.
- MIRANDA FILHO, H. S.; NOVO, M. C. S. S. Fitotoxicidade de sulfonilúreias em duas cultivares de batata. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 5, n. 1, p. 10-18, 2006. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v5i1.40>.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 141-192.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Research*, v. 41, n. 2, p. 97-110, 2001. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00219.x>.
- OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. (Eds.). *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 315-362.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L. Degradação e adsorção de diuron em solos tratados com vinhaça. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 24, n. 1, p. 217-223, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000100024>.
- 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*, v. 32, n. 2, p. 378-381, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000200020>.
- 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*, v. 27, n. 3, p. 565-572, 2013. <http://dx.doi.org/10.1614/WT-D-12-00146.1>.
- ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; SILVA, G. S.; QUEIROZ, M. E. L. R.; GUIMARÃES, F. C. N.; TIRONI, S. P.; GALON, L.; SILVA, A. A. Meia-vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. *Ciência Rural*, v. 43, n. 11, p. 1961-1966, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013001100007>.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. *Guia de herbicidas*. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.
- SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.
- SENSEMAN, S. A. *Herbicide handbook*. 9. ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p71-78>.

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

SONDHIA, S. Leaching behaviour of metsulfuron in two texturally different soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 154, n. 1-4, p. 111-115, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0381-8>. PMID:18548324.

TRAN, N. H.; URASE, T.; NGO, H. H.; HU, J.; ONG, S. L. Insight into metabolic and cometabolic activities of autotrophic and heterotrophic microorganisms in the biodegradation of emerging trace organic contaminants. *Bioresource Technology*, v. 146, n. 1, p. 721-731, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.083>. PMID:23948223.

Contribuição dos autores: Miriam Hiroko Inoue contribuiu com a revisão gramatical e ortográfica do trabalho; Kassio Ferreira Mendes contribuiu com a escrita científica e implantação estatística do experimento; Michael Ortigara Goulart realizou os experimentos no campo e a escrita científica; Tatiane Beatriz Mertens, Oliane Cristina de Souza e Miguel Augusto Zubko realizaram os experimentos no campo.

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT).

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.