

GUSTAVO RODRIGUES DA SILVA

COMPORTAMENTO DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586a
2013

Silvia, Gustavo Rodrigues da, 1986-
Comportamento do fomesafem em solos brasileiros /
Gustavo Rodrigues da Silvia. – Viçosa, MG, 2013.
x, 47f. : il. ; 29cm.

Orientador: Francisco Affonso Ferreira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Plantas - Efeito dos herbicidas. 2. Solos - Lixiviação.
3. Impacto ambiental. 4. Pesticidas - Aspectos ambientais.
5. Solos - Classificação. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.


CDD 22. ed. 632.954

GUSTAVO RODRIGUES DA SILVA


COMPORTAMENTO DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 4 de março de 2013.




Leonardo d'Antonino
(Coorientador)



Maria Aparecida Nogueira Sediama



José Eustáquio de Souza Carneiro



Francisco Affonso Ferreira
(Orientador)

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida, saúde e força para conclusão de mais uma etapa.

Aos meus pais João Gualberto e Maria das Graças, pelo apoio incondicional e pela dedicação durante toda a minha vida.

À minha irmã Fernanda e tia Conceição, pelo apoio, carinho e alegria.

Aos meus avós Vicente, Tereza, Sebastião e Maria Rita (*in memoriam*), pelo exemplo de vida e pelo carinho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao orientador professor Francisco Affonso Ferreira, pela orientação, cooperação e amizade.

Aos coorientadores professores Antônio Alberto da Silva e Leonardo d'Antonino, pela atenção, disponibilidade de tempo e amizade, bem como pelas sugestões e críticas, que muito contribuíram para a qualidade final deste trabalho.

Ao professor Lino Roberto Ferreira, pelos conselhos, que contribuíram na execução do trabalho.

Ao Técnico Agrícola Luís Henrique Lopes de Freitas, pela amizade e disponibilidade na montagem de experimentos.

Aos colegas de pós-graduação Rafael e Fernanda, pela amizade e ajuda na condução dos experimentos.

Às estagiárias Laís e Dinha, pela amizade, companheirismo e ajuda na condução dos experimentos.

A todos os amigos integrantes da Equipe Planta Daninha desta Universidade, pela convivência, os quais direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao CNPq, Capes e Fapemig, pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA

GUSTAVO RODRIGUES DA SILVA, filho de João Gualberto da Silva e Maria das Graças Rodrigues do Vale Silva, nasceu na cidade de Viçosa, Minas Gerais, em 16 de junho de 1986.

Em janeiro de 2011, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia em março de 2011, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 4 de março de 2013.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS	4
SORÇÃO DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS	6
RESUMO	6
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
REFERÊNCIAS	18
MOBILIDADE DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS.....	20
RESUMO	20
ABSTRACT	20
INTRODUÇÃO	21
MATERIAL E MÉTODOS	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
REFERÊNCIAS	32

PERSISTÊNCIA DO FOMESAFEN EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO	34
RESUMO	34
ABSTRACT	34
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
REFERÊNCIAS	44
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

RESUMO

SILVA, Gustavo Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013.
Comportamento do fomesafen em solos brasileiros. Orientador: Francisco Affonso Ferreira. Coorientadores: Leonardo d'Antonino e Antonio Alberto da Silva.

A sorção e a lixiviação do fomesafen foram avaliadas em solos com diferentes características físico-químicas, e a persistência, em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. No primeiro experimento, avaliou-se o processo de sorção do fomesafen em Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo e Organossolo. Utilizou-se areia lavada, como material inerte, para determinação das razões de sorção do fomesafen. Para isso, o *Sorghum vulgare*, híbrido BRS655, foi utilizado como bioindicador. Aos 21 dias após a semeadura, foram realizadas avaliações de intoxicação das plantas e colheita da parte aérea para determinação da matéria seca. No cálculo do C_{50} utilizou-se o modelo log-logístico não linear, obtendo-se a seguir as relações de sorção do herbicida nos diferentes solos. No segundo experimento, a lixiviação do fomesafen foi avaliada nos solos: Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (5,7) e original (5,0), Argissolo Vermelho-Amarelo e Organossolo. Os solos foram acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, marcadas e seccionadas a cada 5 cm de distância. Aplicou-se o fomesafen no topo das colunas, na dose de 500 g ha^{-1} . Após 12 horas procedeu-se à simulação de chuva, com aplicação de uma lâmina de água de 80 mm. Após 72 horas as colunas foram abertas, e o solo foi seccionado a cada 5 cm, sendo removido para vasos de 280 cm^3 , semeando-se o sorgo para as avaliações de

intoxicação. A colheita da parte aérea para determinação da matéria seca ocorreu aos 21 dias após plantio. No terceiro experimento, avaliou-se a persistência de três doses do fomesafen em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com feijão, cultivar Ouro Vermelho, nos sistemas de plantio direto e convencional. Em ambos os sistemas de plantio foram aplicadas as doses de 125, 250 e 500 g ha⁻¹ de fomesafen. A cada 15 dias foram realizadas coletas de solo e plantio de sorgo, para determinar a persistência do herbicida. A intoxicação das plantas foi avaliada aos 21 dias após semeadura. Os teores de matéria orgânica e de argila dos solos foram os atributos que mais afetaram a sorção do fomesafen. A sua lixiviação foi mais afetada, em ordem decrescente de importância, pelo teor de matéria orgânica, pela textura e pelo pH do solo, e a sua persistência, pela dose do fomesafen e pelo sistema de plantio.

ABSTRACT

SILVA, Gustavo Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013.
Behaviour of fomesafen in brazilian soils. Adviser: Francisco Affonso Ferreira.
Co-Advisers: Leonardo d'Antonino and Antonio Alberto da Silva.

The sorption and leaching of fomesafen were evaluated in soils with different physicochemical characteristics and its persistence in a Red-Yellow Latosol cultivated with common bean in no-tillage and conventional system. The first experiment evaluated the sorption process of the fomesafen in Ultisol, Cambisol and Histosol. Besides soil, washed sand was used as an inert material for determination of the sorption ratio of fomesafen in the soil. The bioassay method was applied, using *Sorghum vulgare* plants as bio-indicator of herbicide presence. Plant poisoning evaluation and harvest for dry matter determination were carried out 21 days after sorghum sowing. To calculate C_{50} , the nonlinear log-logistic model was applied and sorption ratios of the herbicide were obtained in different soils. In the second experiment it was evaluated the leaching of fomesafen in four soils: Inceptisol, Latosol with pH corrected and original, Ultisol and Histosol. To this end, we used bioassays employing the hybrid sorghum plant BRS655 as indicative of the presence of fomesafen in soils. The soils were packed in PVC columns of 10 cm diameter and 50 cm in length, marked and sectioned every 5 cm away. Was applied fomesafen at the top of the columns, at a dose of 500 g ha^{-1} of fomesafen. 12 hours after proceeded we simulated rainfall applying a level of water of 80 mm. Evaluations were performed poisoning plant and harvest for determination of shoot dry matter at 21 days after planting

sorghum in the soil of each column. The objective of third experiment was to evaluate the persistence of fomesafen in Red-Yellow Ultisol cultivated with common bean in no-tillage and conventional systems, featuring two separate experiments. The experimental design was a randomized block with four replications arranged in a split plot, where the plots represent the herbicide doses (0.0, 125, 250, 500 g ha⁻¹) and subplots ages of soil collected (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 and 150 days after herbicide application). Soil samples were collected from 15 to 15 days, in central interrows of the plots and transferred to plastic pots of 280 cm³, which was seeded sorghum as a biological indicator of the presence of fomesafen. At 21 days after emergence was evaluated poisoning of plants, on a scale where 0 (zero) representing the complete absence of symptoms and 100, death of the plant. The content of organic matter and clay of soils were the attributes that more influenced the sorption of fomesafen. Their leaching was more affected, in descending order of importance by organic matter content, texture and pH of the soil and its persistence by dose of fomesafen and plantation system.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento da ciência das plantas daninhas permitiu o avanço do sistema de plantio direto com cultivo de extensas áreas e pouca demanda de mão de obra. O grande avanço na síntese de novas moléculas altamente eficientes no controle de diferentes espécies de plantas daninhas, associado aos estudos de biotecnologia, tem permitido ganhos em produtividade de diversas culturas.

O manejo integrado de plantas daninhas é uma alternativa para garantir a sustentabilidade do sistema agrícola. Esse manejo é caracterizado pelo uso de dois ou mais métodos de controle, com o objetivo de manter a população de plantas daninhas abaixo do nível que induz as perdas econômicas, com o mínimo de impacto ambiental, permitindo a máxima eficiência na produção no menor espaço de tempo possível (FERREIRA et al., 1998). O método de controle mais utilizado atualmente é o químico. Todavia, quando o emprego de herbicidas é o único método usado, pode levar ao desequilíbrio no sistema de produção, e o uso indiscriminado pode torná-los ineficientes em curto espaço de tempo, além de causar risco ao ambiente (SILVA et al., 2007).

O feijão é uma planta herbácea da família Fabaceae e pertence ao gênero *Phaseolus*, o qual compreende aproximadamente 55 espécies, amplamente distribuídas no mundo, sendo cultivadas principalmente nos trópicos e, com alguma importância em zonas temperadas dos hemisférios norte e sul (EMBRAPA, 2012). O ciclo curto da cultura permite três cultivos por ano – “das águas”, “da seca” e “de inverno irrigado” – com semeadura de maio a setembro, dependendo da região, do clima e da disponibilidade de irrigação. Essa modalidade de cultivo irrigado tem despertado

interesse por parte dos grandes produtores, que, com uso de moderna tecnologia, vêm alcançando maior produtividade (COBUCCI et al., 2004). Os Estados do Paraná e de Minas Gerais são os maiores produtores de feijão do Brasil, tendo produzido, respectivamente, 694,7 e 605,9 mil toneladas na safra 2011/2012. O feijão é um dos alimentos básicos da população brasileira e uma das principais fontes de proteínas na dieta alimentar (MERCADODEFEIJAO, 2012). Na região Central e na Zona da Mata de Minas Gerais são bastante expressivos os cultivos dos feijões vermelho e preto (CONAB - Abr/2012).

O feijão, como toda cultura, pode ter seu crescimento e produtividade alterados por uma diversidade de fatores ambientais. Estes podem ser de natureza biótica, como a interferência das plantas daninhas, e abiótica, como os fatores edafoclimáticos da região (VICTORIA FILHO, 2007). As plantas daninhas, quando não manejadas adequadamente, podem afetar de maneira drástica a produção da cultura, uma vez que podem interferir de forma direta, por meio da competição por recursos e condições de crescimento, promovendo assim a redução da produtividade e da qualidade do produto comercial. Além disso, as plantas daninhas podem interferir de forma indireta, por meio da dificuldade imposta na realização de tratamentos culturais e da colheita, e ainda podem ser hospedeiras de pragas e doenças (CARVALHO; VELINI, 2001). Além da perda de tempo devido à dificuldade de se separar o feijão da planta daninha, reduz-se também a produção devido ao aumento do número de plantas não colhidas (EMBRAPA, 2012). Alguns trabalhos relatam que a redução de produtividade em razão da livre interferência das plantas daninhas com o feijoeiro pode atingir 80% na produção de grãos (KOZLOVSKI, 2002).

De acordo com Embrapa (2012), os herbicidas registrados no Brasil para uso em pós-emergência na cultura do feijão são: setoxydim, clethodin, bentazon, fomesafen, fluazifop-p-butyl e imazamox. Também podem ser realizadas misturas entre esses herbicidas com o intuito de se obter maior espectro de ação sobre as plantas daninhas. Nesse sentido, é comum utilizar na cultura do feijão as misturas comerciais fluazifop-p-butyl + fomesafen (Robust[®]) e bentazon + imazamox (Ampló[®]). Todavia, a mistura em tanque de fluazifop-p-butyl + fomesafen tem caráter antagônico. Quando utilizados separadamente, deve haver um intervalo de cinco dias entre as aplicações (SILVA et al., 2007).

O composto 5-(2-cloro-4- (trifluorometil) fenoxi-N- (metilsulfonil)- 2-nitrobenzamida (fomesafen) é derivado de um ácido fraco com valor de pKa de 2,7 (sal

de sódio) e possui solubilidade em água considerada alta para essa classe de produto (50 mg L^{-1} a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), baixa pressão de vapor ($<10^{-4} \text{ Pa}$ a $50 \text{ }^\circ\text{C}$) e log Kow variando de acordo com o pH, de 2,9 (pH 1) até -1,2 (pH 7) (OLIVEIRA JÚNIOR; REGITANO, 2009; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). O fomesafen pertence ao grupo químico dos difeniléteres e é indicado para controle de dicotiledôneas anuais nas culturas do feijão e da soja. O fomesafen afeta a síntese de clorofila; a sua interação com os difeniléteres é explicada pela inativação da protoporfirinogênio oxidase. Com isso, forma-se a protoporfirina não enzimática, que na presença de luz e oxigênio forma o oxigênio singlete, responsável pela peroxidação de lipídeos da membrana celular, levando à ruptura desta e ao vazamento de compostos celulares para os espaços intercelulares. A protoporfirina não enzimática não serve de substrato para a Mg-quelatase; dessa forma, a síntese de clorofila é reduzida (HESS; WELLER, 2000). Sua absorção ocorre em folhas e caules, devendo ser aplicada em plantas daninhas jovens. O fomesafen é classificado como herbicida de contato (SILVA et al., 2007). Produtos com essa característica não se movimentam na planta; assim, para um bom controle das plantas daninhas, eles devem ser aplicados de forma a ter a maior cobertura possível.

A grande persistência desse herbicida no solo faz com que ocorram muitas vezes no campo problemas no desenvolvimento das culturas em sucessão, onde foi aplicado tal herbicida. Outra preocupação que existe em relação ao fomesafen é que ele apresenta potencial de contaminação do lençol freático (GUSTAFSON, 1989). Em trabalho realizado por Júnior e Silva (2007), o fomesafen foi encontrado até a profundidade de 10 m, em Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho.

Por ser o fomesafen ainda pouco estudado nos solos do Brasil e pelo fato de existir risco de contaminação ambiental, objetivou-se com este trabalho avaliar a sua persistência, sorção e lixiviação em solos brasileiros com diferentes características físico-químicas.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja. I – Cultivar IAC 11. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 317-322, 2001.

COBUCCI, T. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 83-98, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Avaliação da safra agrícola 2011/2012. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (MAPA), 36 p. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_maior_2012.pdf>. Acesso em: 20 out. 2012.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Herbicidas registrados para a cultura do feijão no Brasil**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_46_1311200215103.html>. Acesso em: 20 fev. 2012.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.

HESS, F. D.; WELLER, S. C. Inhibitors of protoporphyrinogen oxidase (Diphenyl ethers and oxadiazon). In: **Herbicide action**. Purdue University: Indiana, 2000. p. 225-243.

JOHNSON, D. H.; TALBERT, R. E. Imazaquin, chlorimuron, and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*Helianthus annuus*). **Weed Technology**, v. 7, p. 573-577, 1993.

JÚNIOR, R. P. S.; SILVA, J. P. potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas na Bacia do Rio Dourados, MS. **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 87-106, jan./dez. 2007.

KOZLOWSKI, L. A. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, Viçosa-MG: v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

MERCADODEFEIJÃO. História do feijão. Disponível em: <http://www.mercadodefeijao.com.br/index.php?destino=historia_do_feijao>. Acesso em: 1 fev. 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte II, aplicações**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 187-248.

RODRIGUES, B. N.; Almeida, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: UEL, 2011. 697 p.

SILVA, A. A. Herbicidas: classificação e mecanismos de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Editores). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007. 367 p.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE AVIAÇÃO AGRÍCOLA (SINDAG, 2012). Disponível em: <http://www.sindag.com.br/noticia.php?News_ID=2278>. Acesso em: 9/10/2012.

VICTORIA FILHO, R. Manejo da cultura do feijoeiro visando ao controle de plantas daninhas. In: SEMINÁRIO SOBRE PRAGAS, DOENÇAS E PLANTAS DANINHAS DO FEIJOEIRO, 2007, Campinas. **Anais...** Campinas-SP: Instituto Agrônômico (IAC), 2007. v. 1, p. 59-67. (Documentos IAC, 79).

SORÇÃO DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS

RESUMO - O conhecimento da dinâmica de um herbicida no solo considera suas interações com os componentes do meio tendo em vista a eficiência agrônômica, garantindo a seletividade à cultura e a redução dos riscos de impacto ambiental. Neste trabalho, avaliou-se o processo de sorção do fomesafen em solos brasileiros: Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo e Organossolo. Além dos solos, utilizou-se também, como substrato, a areia lavada como material inerte, para determinação das razões de sorção do fomesafen nos solos estudados. Empregou-se o método de bioensaios, utilizando-se plantas de *Sorghum vulgare* como bioindicadoras do herbicida. Aos 21 dias após a semeadura do sorgo, foram realizadas avaliações de intoxicação das plantas e colheita da parte aérea para determinação da matéria seca. No cálculo do C_{50} utilizou-se o modelo log-logístico não linear, obtendo-se a seguir as relações de sorção do herbicida nos diferentes solos. A ordem decrescente da relação de sorção do fomesafen nos solos estudados foi: Organossolo > Argissolo Vermelho-Amarelo > Cambissolo. Concluiu-se que os teores de matéria orgânica e de argila dos solos foram os atributos que mais afetaram a sorção do fomesafen.

Palavras-chave: bioensaio, *carryover*, impacto ambiental.

Sorption of Fomesafen in Brazilian Soils

ABSTRACT - The study of the dynamics of a herbicide in the soil focus on the interactions with environmental components to obtain agronomic efficiency, ensuring selectivity to the culture and risk reduction of environmental impact. This study evaluated the sorption process of fomesafen in the Brazilian soils Ultisol, Cambisol, and Organosol. Besides soil, washed sand was used as an inert material for determination of the sorption ratio of fomesafen in the soil. The bioassay method was applied, using *Sorghum vulgare* plants as bio-indicator of herbicide presence. Plant poisoning evaluation and harvest for dry matter determination were carried out 21 days after sorghum sowing. To calculate C_{50} , the nonlinear log-logistic model was applied and sorption ratios of the herbicide were obtained in different soils. The decreasing sorption ratio of fomesafen in the soils was: Organosol > Ultisol > Cambisol. It was concluded

that the contents of organic matter and clay in the soils were the attributes that most influenced fomesafen sorption.

Keywords: bioassay, *carryover*, environmental impact.

INTRODUÇÃO

A produção de grãos destaca-se na agricultura brasileira, e um dos motivos do sucesso é o desenvolvimento da ciência das plantas daninhas. O grande avanço na área de síntese de novas moléculas, altamente eficientes no controle de diferentes espécies de plantas infestantes, permitiu ganhos produtivos em diversas culturas, com redução dos custos de produção. No entanto, alguns compostos utilizados no manejo de plantas daninhas têm maior persistência no ambiente, causando intoxicação em plantas sensíveis cultivadas em sucessão.

Um dos principais herbicidas utilizados na cultura do feijão é o fomesafen (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012), em aplicação isolada ou em mistura comercial com fluazifop-p-butyl. É derivado de um ácido fraco com valor de pKa de 2,7 (sal de sódio) e possui solubilidade em água considerada alta para essa classe de produto (50 mg L^{-1} a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), baixa pressão de vapor ($<10^{-4} \text{ Pa}$ a $50 \text{ }^\circ\text{C}$) e Kow variando de acordo com o pH, de 2,9 (pH 1) a -1,2 (pH 7) (OLIVEIRA JÚNIOR; REGITANO, 2009; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). O fomesafen pertence ao grupo químico dos difeniléteres, inibidores da protoporfirinogênio oxidase, sendo indicado no controle de dicotiledôneas anuais. Quanto à relevância desse herbicida, deve-se considerar também que ele apresenta amplo potencial de uso em cana-de-açúcar e eucalipto, culturas em rápida expansão no Brasil.

Entre os parâmetros que influenciam o comportamento de um herbicida no solo, a sorção é o processo-chave que envolve o transporte, a absorção e a sua bioatividade, interferindo na disponibilidade às plantas e até na sua ação seletiva (HERMES, 1991).

Por ser o fomesafen ainda pouco estudado nos solos do Brasil, objetivou-se com este trabalho avaliar a sorção desse herbicida em três solos brasileiros com diferentes características físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de três solos, em área sem histórico do uso de herbicidas, na profundidade de 0 a 20 cm, em três localidades, sendo: um Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Viçosa-MG; um Cambissolo do município de Porto Firme-MG; e um Organossolo do município de Venda Nova do Imigrante-ES.

As amostras de solo, destorroadas e peneiradas (peneira de 4 mm - TFSA), foram caracterizadas quanto às propriedades físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2). Posteriormente, todos os solos foram adubados na proporção de 1 kg de supersimples por 100 L de solo, antes de encher os vasos. A areia foi previamente incubada por 72 horas com ácido clorídrico, para eliminação da matéria orgânica nela contida, lavada com água e logo após incubada com hidróxido de sódio por 24 horas, visando elevar o pH do substrato. Em seguida, foi novamente lavada com água até estabilizar o pH em 6,5.

Tabela 1 - Resultados das análises físicas das amostras dos solos

Solo	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	(dag kg ⁻¹)			
Argissolo	38	13	49	Argiloarenosa
Cambissolo	76	7	17	Franco-arenosa
Organossolo	34	30	36	Franco-argilosa

O método usado para estimar o potencial de sorção do herbicida a partir da quantificação dos resíduos do fomesafen no solo foi o bioensaio. A espécie utilizada foi o sorgo (*Sorghum vulgare*), híbrido BRS655. Em testes realizados anteriormente, determinou-se maior sensibilidade de plantas de sorgo ao fomesafen em comparação a plantas de milho, em doses crescentes do herbicida.

Após a semeadura de cinco sementes de sorgo em vaso de 250 cm³ de substrato, aplicaram-se doses crescentes do fomesafen em pré-emergência (Tabela 3). Os vasos foram revestidos internamente com sacos plásticos de polietileno, para evitar a perda do herbicida por lixiviação. O substrato foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo, durante todo o período experimental. Para isso, utilizou-se o método gravimétrico, repondo água diariamente, quando necessário. No oitavo dia após a aplicação do herbicida foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso, e feita a adubação complementar com solução de 30 mL L⁻¹ em água do fertilizante Nutri Verde[®]. O experimento foi instalado em blocos ao acaso com quatro repetições.

Tabela 2 - Resultados das análises químicas das amostras dos solos

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)							(%)		(dag kg ⁻¹)	
Argissolo Vermelho-Amarelo	5,8	44,70	165,00	4,30	0,60	0,00	1,98	5,32	5,32	7,30	73,00	0,00	2,90
Cambissolo	4,6	2,20	14,00	0,30	0,10	0,20	1,32	0,44	0,64	1,26	25,00	7,00	1,10
Organossolo	5,0	18,10	185,00	5,10	3,00	0,60	26,64	8,57	9,17	34,81	25,00	31,00	20,20

Tabela 3 - Doses do fomesafen em mL (produto comercial FLEX® - 250 g i.a. L⁻¹ 25% m/v), utilizadas em cada substrato: Cambissolo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Organossolo e areia lavada

Substrato			
Cambissolo	Argissolo	Organossolo	Areia
0	0	0	0
10	50	200	5
15	100	400	10
20	125	600	15
30	150	800	20
40	175	900	30
50	200	1.000	40
60	225	1.100	50
70	250	1.200	60
80	300	1.400	70

Aos 21 dias após o plantio (DAP), foram realizadas as avaliações de intoxicação (escala visual variando de 0 a 100, em que 0 significa planta sem sintoma e 100 a morte da planta indicadora). Em seguida, as plantas foram colhidas para determinação da matéria seca da parte aérea e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até massa constante, sendo todas as amostras pesadas em balança eletrônica de precisão.

Para interpretação dos resultados, os valores de matéria seca foram comparados aos do tratamento sem herbicida (dose zero), sendo submetidos à análise estatística, utilizando-se o modelo log-logístico não linear (equação 1) proposto por Seefeldt et al. (1995):

$$y = f(x) = C + \frac{D - C}{1 + \frac{X^b}{C_{50}}} \quad (1)$$

Equação 1: modelo log-logístico não linear.

Nesse modelo, C e D correspondem, respectivamente, ao nível máximo e mínimo da curva de dose-resposta; b, ao declive da curva em torno do C₅₀; e o C₅₀, à dose-resposta referente à redução de 50% da matéria seca da parte aérea da planta indicadora.

A partir dos dados de C₅₀ obtidos em solo e areia, utilizou-se a equação 2 para expressar a relação de sorção (RS) do solo em relação à resposta obtida em areia para a

espécie indicadora (SOUZA, 1994). Valores de RS elevados indicam maior capacidade de sorção do herbicida no solo e, conseqüentemente, menor potencial de lixiviação do composto no perfil do solo.

$$RS = \frac{C_{50\text{ Solo}} - C_{50\text{ areia}}}{C_{50\text{ areia}}} \quad (2)$$

Equação 2: equação da relação de sorção entre solo e areia

Essa relação percentual foi utilizada na correção dos cálculos de resíduos do fomesafen no solo. Para isso, os valores obtidos de matéria seca da parte aérea foram comparados aos obtidos a partir da curva de dose-resposta de cada solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intoxicação causada pela aplicação do fomesafen nas plantas de sorgo 21 após o plantio (DAP) está representada nas Figuras 1 e 2. Observou-se comportamento diferenciado do herbicida em cada substrato, com o grau de intoxicação variando conforme a dose e o tipo de solo. Verificou-se também efeito no acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo (Figuras 3 e 4).

Esse comportamento diferencial do herbicida em cada substrato é atribuído às interações entre a molécula do herbicida e os sítios sortivos, seja da matéria orgânica ou dos minerais de argila. Desse modo, as características físicas e químicas dos solos podem provocar retenção diferencial dos herbicidas, o que refletirá numa disponibilidade distinta destes na solução do solo, podendo influenciar o controle das plantas daninhas e a sua lixiviação para camadas mais profundas (GERSTL, 2000).

Segundo Oliveira Jr. et al. (2001), as propriedades dos solos brasileiros que mais se correlacionam com a sorção de herbicidas básicos, ácidos e não iônicos são o pH e a matéria orgânica. Em outro trabalho, Oliveira Jr. e Regitano (2009) afirmam que a sorção de herbicidas de caráter ácido, como o fomesafen, é mais fraca quando comparada à de produtos básicos e neutros. Quando em contato com o solo, esses herbicidas podem ser adsorvidos por forças eletrostáticas exercidas pelas partículas do solo, que envolvem mecanismos específicos de ligação covalente, pontes com cátions metálicos bivalentes, troca de ligantes e partição hidrofóbica.

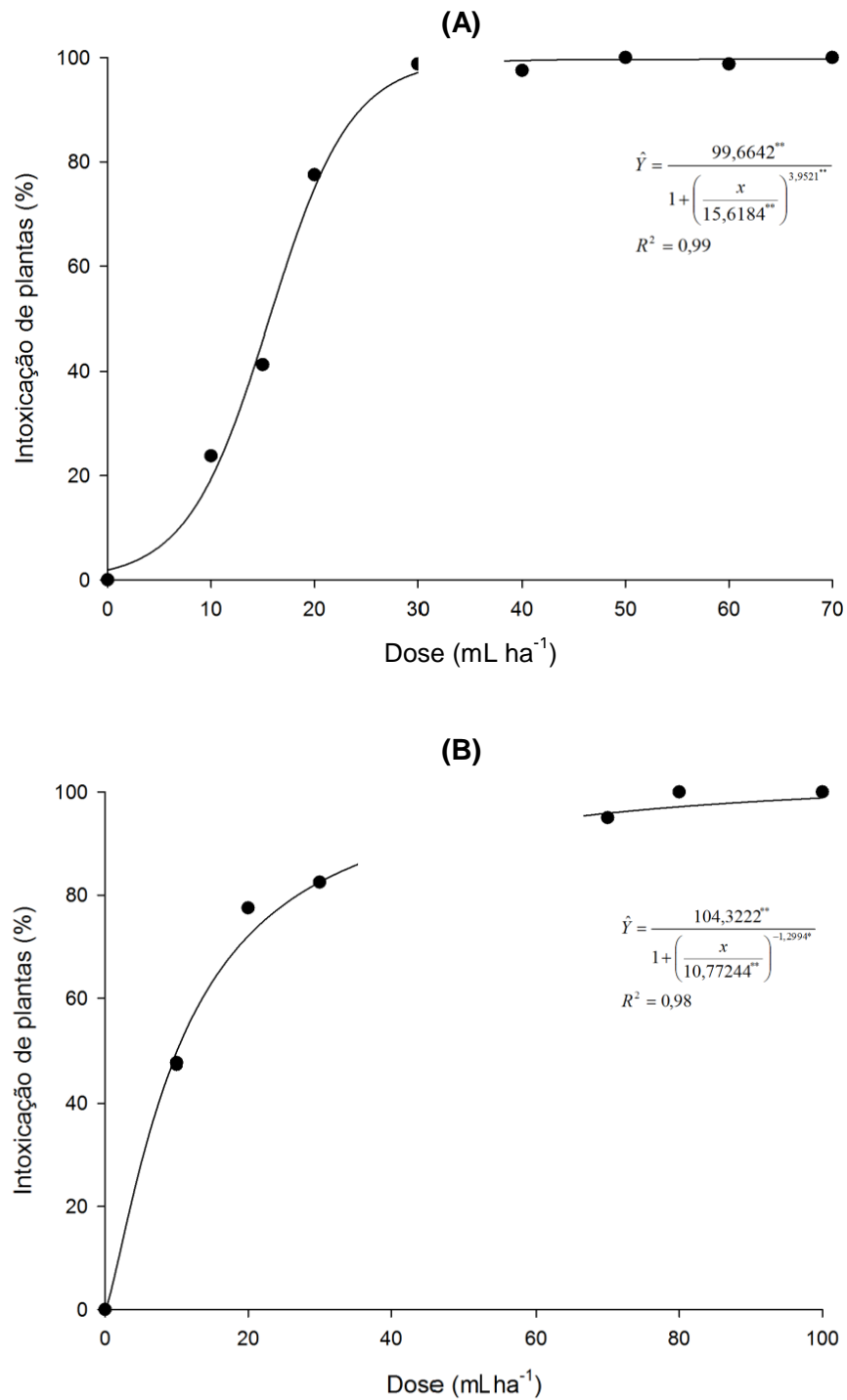


Figura 1 - Intoxicação de plantas de sorgo em areia lavada (A) e Cambissolo (B) tratados com diferentes doses de fomesafen (produto comercial FLEX[®] - 250 g i.a L⁻¹ – 25% m/v), avaliado aos 21 dias após o plantio.

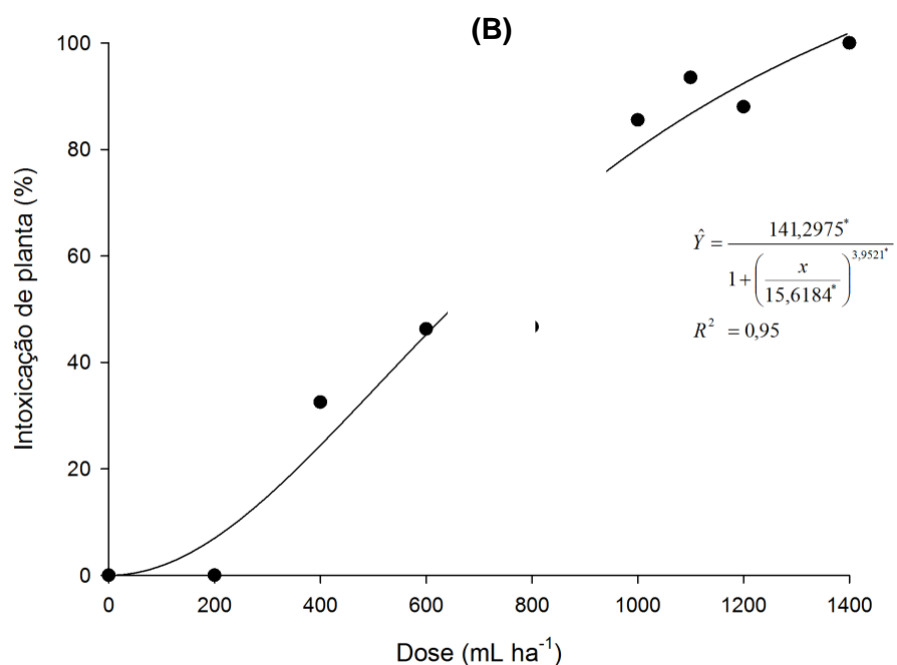
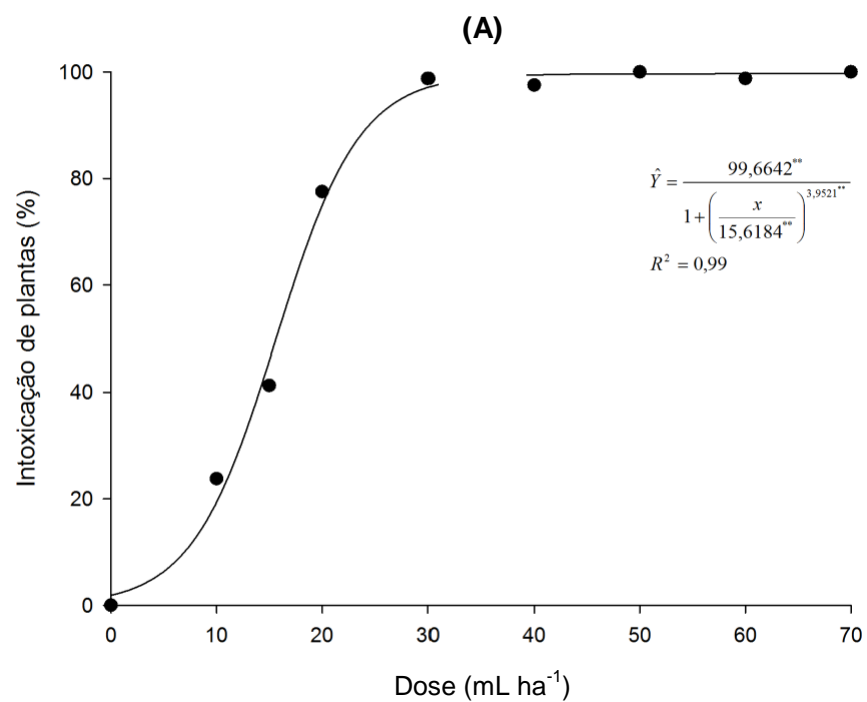


Figura 2 - Intoxicação de plantas de sorgo em Argissolo Vermelho-Amarelo (A) e Organossolo (B) tratados com diferentes doses do fomesafen (produto comercial FLEX[®] - 250 g i.a L⁻¹ 25% m/v), avaliado aos 21 dias após o plantio.

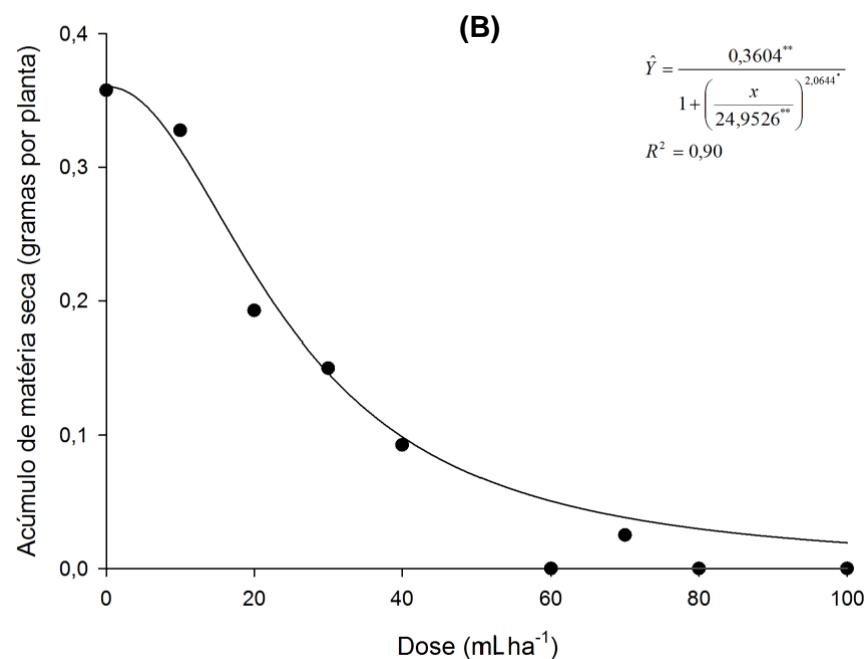
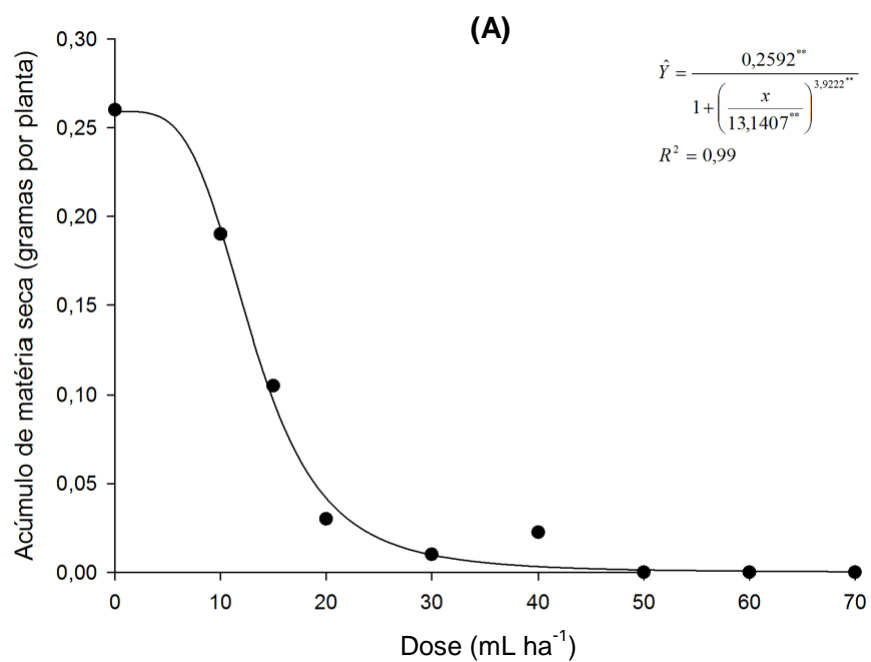


Figura 3 - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo em areia lavada (A) e em Cambissolo (B) tratados com diferentes doses do fomesafen (produto comercial FLEX[®] - 250 g i.a. L⁻¹ 25% m/v), avaliado aos 21 dias após o plantio.

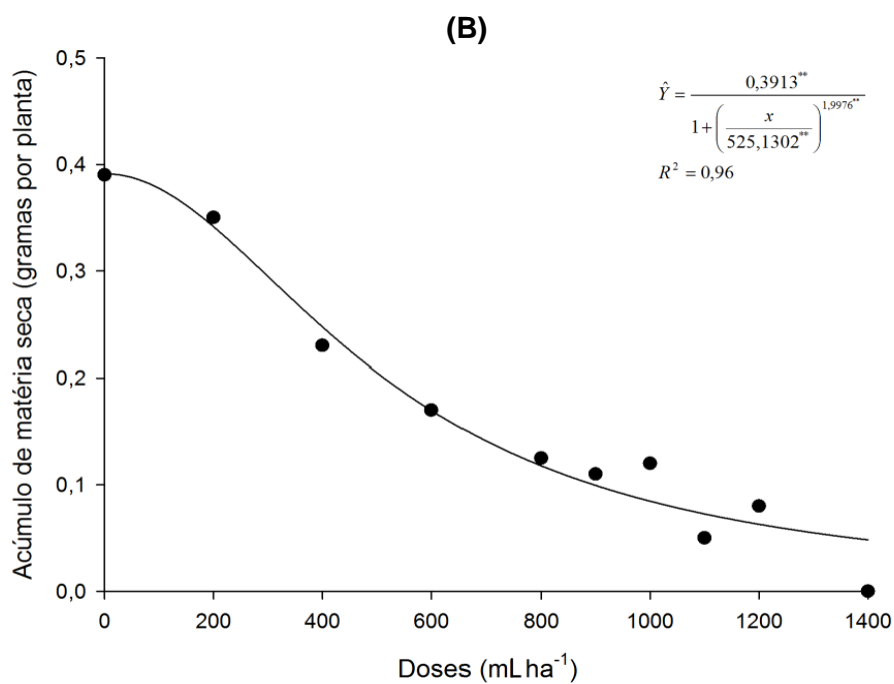
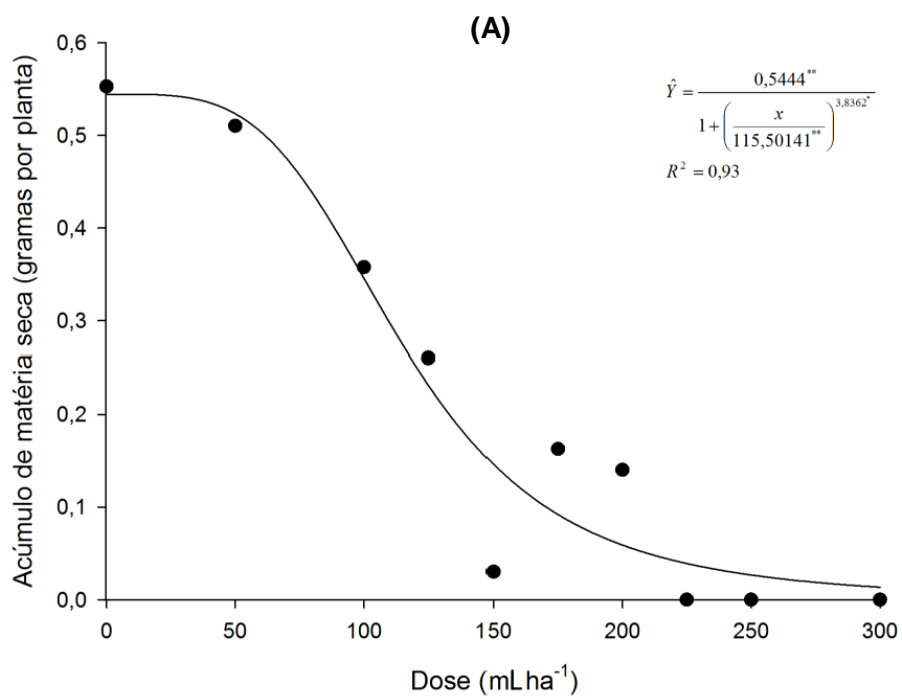


Figura 4 - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo em Argissolo Vermelho-Amarelo (A) e Organossolo (D) tratados com diferentes doses do fomesafen (produto comercial FLEX[®] - 250 g i.a. L⁻¹ 25% m/v), avaliado aos 21 dias após o plantio.

As doses do fomesafen, produto comercial FLEX[®] contendo 250 g L⁻¹ do ingrediente ativo 25% m/v, que reduziram o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo em 50% (C₅₀), aos 21 dias após a semeadura (DAS), de acordo com o substrato utilizado, foram: areia lavada, 13,14 mL ha⁻¹; Cambissolo, 32,12 mL ha⁻¹; Argissolo Vermelho-Amarelo, 115,50 mL ha⁻¹; e Organossolo, 525,13 mL ha⁻¹. A relação de sorção nos substratos foi calculada a partir da equação 2, sendo: areia lavada, 0; Cambissolo, 1,44; Argissolo Vermelho-Amarelo, 7,79; e Organossolo, 38,96. A ordem decrescente da relação de sorção do fomesafen nos solos estudados foi: Organossolo > Argissolo Vermelho-Amarelo > Cambissolo.

Entre os vários fatores que influenciam a sorção no solo de um herbicida de caráter ácido, como o fomesafen, o pH pode ser o mais importante (GUO et al., 2003). Oliveira (2011) reporta que o pH se correlaciona de forma inversa com o K_d, enquanto o teor de matéria orgânica correlaciona-se de forma positiva com esse coeficiente. A diminuição de uma unidade no pH do solo aumenta a sorção do fomesafen em duas vezes. Esse herbicida, por ser dissociável, tem o pH do solo como fator importante no seu comportamento, uma vez que este determinará a forma iônica que predominará na solução do solo (OLIVEIRA Jr.; REGITANO, 2009). No entanto, no presente trabalho, o fator pH não foi tão determinante na sorção do herbicida. Esse fato pode ser explicado pelas diferentes origens das cargas dos solos estudados, ou seja, na maior ou menor dependência dessas cargas do pH do solo. Acredita-se que a maior sorção do Organossolo em relação aos outros solos seja devido ao alto teor de matéria orgânica nele presente (Tabela 2). Nesse solo, o aumento do pH causa pequena variação das forças de sorção, pois a maioria das forças eletrostáticas responsáveis pela sorção do fomesafen são independentes do pH.

Por outro lado, a maior sorção do Argissolo Vermelho-Amarelo em relação ao Cambissolo pode estar relacionada ao seu maior teor de argila (Tabela 1) e matéria orgânica (Tabela 2). Por ser um herbicida derivado de um ácido fraco (SILVA et al., 2007), era esperado que o fomesafen fosse menos sorvido no Argissolo Vermelho-Amarelo quando comparado ao Cambissolo (Figuras 3A e 4A). Contudo, o maior teor de argila do Argissolo Vermelho-Amarelo pode ter favorecido esse resultado, além do maior teor de matéria orgânica, sobrepujando o efeito das cargas dependentes do pH (Tabelas 1 e 2).

Esses resultados confirmam os de Brusseau e Rao (1989), Blumhorst et al. (1990) e Dores e De-Lamonica-Freire (1999), os quais ressaltam que a matéria orgânica

é o principal material que indisponibiliza muitos herbicidas no solo, uma vez que possui sítios tridimensionais que atuam na retenção de compostos iônicos. Guo et al. (2003) verificaram aumento na capacidade sorçiva do fomesafen com a elevação da matéria orgânica. Além do seu potencial de sorção de herbicidas, a matéria orgânica está relacionada à atividade de microrganismos, sendo mais abundante nas camadas superficiais do solo. Os microrganismos atuam nos processos de biodegradação das moléculas dos herbicidas, podendo utilizá-las tanto como substratos quanto como fonte de energia (metabolismo), ou, ainda, a ação microbiana pode modificar a estrutura química do produto, sem fornecimento de energia para o seu crescimento (MONTEIRO, 1996).

Outros trabalhos feitos com herbicidas inibidores da PROTOX, como sulfentrazone e flumioxazin, mostram a importância do teor de matéria orgânica e de argila do solo na sorção deles. Para Passos (2011), a sorção do sulfentrazone está relacionada com os teores de matéria orgânica e de argila. Ferrell et al. (2005) relatam que o teor de matéria orgânica é o principal parâmetro correlacionado à sorção do flumioxazin. Esses herbicidas apresentam comportamento diferenciado em relação ao pH do solo. O fomesafen, derivado de um ácido fraco, apresenta pKa de 2,7 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Quando o pKa é maior que o pH, o herbicida apresenta-se mais adsorvido (forma molecular), e quando pH é maior que o pKa, o herbicida está menos adsorvido (forma dissociada). Já o sulfentrazone apresenta pKa de 6,5 (GREY et al., 2000) e é derivado de uma base fraca, apresentando-se mais adsorvido quando o pH do solo é menor que seu pKa (forma dissociada) e menos quando o pH é maior que o pKa (forma molecular). O flumioxazin é um herbicida não iônico (OLIVEIRA et al., 1999), ou seja, não é capaz de se dissociar, não sendo influenciado pelo pH do solo (HATZIOS, 1998).

Os teores de matéria orgânica e de argila dos solos estudados são atributos de grande importância na sorção do fomesafen. Isso explica os maiores valores de sorção do fomesafen obtidos no Organossolo, o qual apresentava o maior teor de matéria orgânica entre os solos avaliados. Por outro lado, mesmo com maior pH, o Argissolo Vermelho-Amarelo mostrou maior sorção em relação ao Cambissolo. Os resultados comprovam a grande importância de conhecer as características físicas e químicas do solo e a interação destas com o fomesafen para se fazer uma recomendação que garanta melhor eficiência técnica e com baixo risco ambiental.

REFERÊNCIAS

- BLUMHORST, M. R. et al. Efficacy of selected herbicides as influenced by soil properties. **Weed Technology**, v. 4, p. 279-283, 1990.
- BRUSSEAU, M. L.; RAO, P. S. C. The influence of sorbate-organic matter interactions on sorption nonequilibrium. **Chemosphere**, v. 18 n. 9/10, p. 1691-1706, 1989.
- DORES, E. F. G. C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas: vias de contaminação e dinâmica dos pesticidas no ambiente aquático. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 9, p. 1-18, jan./dez. 1999.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Herbicidas registrados para a cultura do feijão no Brasil. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_46_1311200215103.html>. Acesso em: 20/2/2012.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijão. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrasulMG/manejo_pdaninhas.htm>. Acesso em: 20/2/2012.
- FERRELL, J. A. et al. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ion-exchange resin. **Pest Management Science**, v. 1, p. 40-46. 2005.
- FONTES, J. R. A. et al. Metolachlor e fomesafen aplicados via irrigação por aspersão em plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 99-106, 2006.
- GERSTL, Z. An update on the Koc concept in regard to regional scale management. **Crop Protection**, v.19, p. 643-648. 2000.
- GREY, T. L. et al. Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoresis gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, v. 48, p. 239-247, 2000.
- GUO, J. et al. Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils. **Air, Water and Soil Pollution**, v. 14, n. 8, p. 77-85, 2003.
- HATZIOS, K. K. Herbicide handbook. 7.ed. Champaign: **Weed Science**, 1998. 104 p.
- HERMES, L. C. **Adsorção e mobilidade dos herbicidas 2,4-D e ametrina em solos do Estado de São Paulo**. 1991. 79 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 1991.
- MONTEIRO, R. T. R. Biodegradação de herbicidas. In: EMBRAPA – CNPMA. Workshop sobre biodegradação, Campinas. **Anais...** Campinas-SP, 1996. p. 120-128.
- OLIVEIRA, M. F. et al. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v.17, n. 2, p.207-214, 1999.

OLIVEIRA JR., R. S. **Relação entre propriedades químicas e físicas do solo e sorção, dessorção e potencial de lixiviação de herbicidas.** 1998. 86 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1998.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo:** parte II, aplicações. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 187-248.

OLIVEIRA, V. S. **Dinâmica do fomesafen no solo e impacto de tiametoxam e fomesafen sobre três espécies de macrófitas aquáticas.** 2011. 103 f. Tese (Doutorado Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.

PASSOS, A. B. R. J. **Sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em diferentes solos brasileiros.** 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** Londrina: UEL, 2011. 697 p.

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

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismos de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas.** Viçosa-MG: Editora UFV, 2007. 367 p.

SOUZA, A. P. **Atividade de oxyfluorfen, 2,4-D e glifosate em solos de diferentes texturas na presença e na ausência de composto orgânico.** 1994. 71 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.

MOBILIDADE DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS

RESUMO - A fim de prever o potencial de lixiviação e degradação de um herbicida, bem como a eficiência no controle das plantas daninhas, é essencial conhecer os processos de retenção dessa molécula no solo. Neste trabalho, avaliou-se a lixiviação do fomesafen em quatro solos: Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido e original, Argissolo Vermelho-Amarelo e Organossolo. Para isso, utilizou-se de bioensaios e empregou-se o híbrido de sorgo BRS655 como planta indicadora da presença do fomesafen. Os solos foram acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, marcadas e seccionadas a cada 5 cm de distância. Aplicou-se o herbicida no topo das colunas, na dose de 500 g ha⁻¹ de fomesafen. Após 12 horas procedeu-se à simulação de chuva, com a aplicação de uma lâmina de água de 80 mm. Realizaram-se avaliações de intoxicação das plantas e colheita da parte aérea, para determinação da matéria seca aos 21 dias após a semeadura do sorgo em cada coluna. A ordem decrescente de lixiviação foi: Cambissolo > Latossolo Vermelho-Amarelo, pH corrigido > Latossolo Vermelho-Amarelo, pH original > Argissolo Vermelho-Amarelo > Organossolo. Os fatores que mais afetaram a lixiviação, em ordem decrescente de importância, foram o teor de matéria orgânica, a textura e o pH do solo.

Palavras-chave: bioensaio, movimentação, características do solo, lixiviação.

Mobility of fomesafen in brazilian soils

ABSTRACT - To get a estimate of the potential for leaching and degradation of a herbicide, as well as the efficiency in weed control, it is essential to know the retention processes of this molecule in the soil. In this study it was evaluated the leaching of fomesafen in four soils: Inceptisol, Latosol with pH corrected and original, Ultisol and Histosol. To this end, we used bioassays employing the hybrid sorghum plant BRS655 as indicative of the presence of fomesafen in soils. The soils were packed in PVC columns of 10 cm diameter and 50 cm in length, marked and sectioned every 5 cm away. Was applied fomesafen at the top of the columns, at a dose of 500 g ha⁻¹ of fomesafen. 12 hours after proceeded we simulated rainfall applying a level of water of

80 mm. Evaluations were performed poisoning plant and harvest for determination of shoot dry matter at 21 days after planting sorghum in the soil of each column. The decreasing order of leaching was: Inceptisol > Latosol, pH corrected > Latosol, original pH > Ultisol > Histosol. The factors that most affected the leaching in descending order of importance were the organic matter content, texture and soil pH.

Keywords: bioassay, movement, soil characteristics, leaching.

INTRODUÇÃO

O feijão é um dos principais alimentos da população brasileira. Trabalhos realizados com essa leguminosa reportam reduções de 67% e até acima de 80% na produtividade de grãos quando ocorre interferência de plantas daninhas durante o período crítico do ciclo dessa cultura (KOZLOVSKI, 2002).

Um dos herbicidas mais utilizados na cultura do feijão é o fomesafen, por ser seletivo à cultura. É pertencente ao grupo químico dos difeniléteres e indicado no controle de plantas dicotiledôneas anuais. Esse herbicida apresenta solubilidade em água de 50 mg L^{-1} ; pKa: 2,83; Kow: 794; e Koc médio de 60 mg g^{-1} de solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O fomesafen apresenta capacidade de contaminação do lençol freático, por ter potencial de lixiviação (INOUE et al., 2003; ANDRADE et al., 2011). Em trabalho realizado por Júnior e Silva (2007), o fomesafen foi encontrado até a profundidade de 10 m, em Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho.

A lixiviação é definida como um processo em que o herbicida em solução é carregado para baixo, no perfil do solo, principalmente, por meio da força gravitacional (KELLER; WEBER, 2007). Esse movimento depende das características biológicas, físicas e químicas do solo, além das propriedades físico-químicas dos compostos e das características ambientais (LAVORENTI et al., 2003; COSTA et al., 2004). Para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (OLIVEIRA, 2001). As diferentes características físicas e químicas do solo podem provocar retenção diferencial dos herbicidas. Isso pode refletir numa disponibilidade diferencial deles na solução do solo, o que pode gerar uma variação no controle das plantas daninhas (GERSTL, 2000). Além disso, essa

retenção diferencial pode acarretar variabilidade no potencial de lixiviação dos herbicidas (OLIVEIRA JUNIOR et al., 1999). De fato, a mobilidade e a persistência de um herbicida são os principais indicadores do potencial de contaminação de águas subterrâneas e de corpos de água (GUSTAFSON, 1989; INOUE et al., 2003).

Por existir potencial risco de contaminação do lençol freático pelo uso do fomesafen, o objetivo deste trabalho foi avaliar a lixiviação desse herbicida em solos brasileiros com diferentes características físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se neste trabalho amostras de cinco solos coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm, em diferentes localidades, como descrito a seguir: Organossolo, coletado no município de Venda Nova do Imigrante-ES; Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Viçosa-MG; Cambissolo do município de Porto Firme-MG; e Latossolo Vermelho-Amarelo, com pH original e alterado do município de Viçosa-MG.

Após as coletas das amostras de solo, estas foram destorroadas e peneiradas (peneira 4 mm - TFSA). Logo depois, foram realizadas as caracterizações físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2) das amostras. Posteriormente, todos os solos foram adubados na proporção de 1 kg de supersimples para 100 L de solo. A amostra do Latossolo Vermelho-Amarelo foi dividida em duas subamostras; uma delas foi incubada com 3,3 t ha⁻¹ de calcário, PRNT 96%, por 32 dias. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, visando facilitar as reações do calcário.

Tabela 1 - Resultados da análise física das amostras dos solos

Solo	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	(dag kg ⁻¹)			
Argissolo	50	10	40	Argiloarenosa
Cambissolo	76	7	17	Franco-arenosa
Organossolo	34	30	36	Franco-argilosa
Latossolo	22	3	75	Muito Argilosa

Tabela 2 - Resultados da análise química das amostras dos solos

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)						(%)		(dagkg ⁻¹)	
Argissolo Vermelho- Amarelo	5,10	8,50	34,00	2,66	0,50	0,29	5,30	3,25	3,57	5,55	38,00	8,20	2,93
Cambissoloo	4,60	2,20	14,00	0,30	0,10	0,20	1,32	0,44	0,64	1,26	25,00	7,00	1,10
Organossolo	5,00	18,10	185,00	5,10	3,00	0,60	26,64	8,57	9,17	34,81	25,00	31,00	20,20
Latossolo	5,00	2,10	13,00	0,33	0,00	0,86	8,20	0,36	1,22	8,56	4,20	70,50	1,60
Latossolo	5,78	1,80	15,00	1,70	0,57	0,00	5,20	2,31	2,31	7,51	30,80	0,00	1,70

Em seguida, as amostras de solo foram acondicionadas em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, contendo tampa lateral removível (Figura 1). As colunas foram previamente preparadas e parafinadas no seu interior, para evitar escorrimento lateral da água a ser utilizada na mobilidade do herbicida. A fim de evitar perda de solo colocou-se na extremidade inferior de cada coluna papel-filtro e gaze hidrófila. Todas as colunas foram marcadas e seccionadas a cada 5 cm de distância. Após o preenchimento das colunas com as amostras de solo, estas foram saturadas com água. Posteriormente, as colunas foram deixadas em repouso na posição vertical por 72 horas, visando drenar o excesso de água.

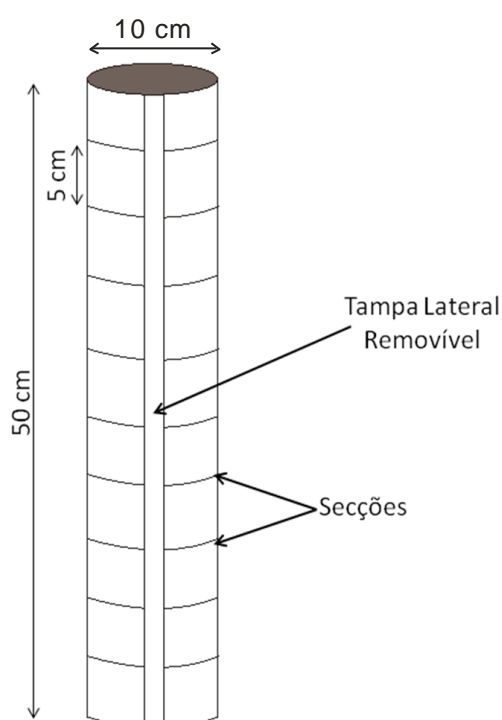


Figura 1 - Esquema da coluna utilizada no experimento.

Posteriormente, aplicou-se o herbicida fomesafen no topo das colunas, na dose de 500 g ha^{-1} . Foi utilizado um pulverizador equipado com uma barra com dois bicos TT 110.02, espaçados de 0,5 m, mantidos à pressão de 2 bar, aplicando um volume de calda de 150 L ha^{-1} . Doze horas após a aplicação do herbicida, estando as colunas ainda na posição vertical, procedeu-se à simulação da chuva, com aplicação de uma lâmina de água de 80 mm. Com o propósito de aferir a precipitação, foram instalados quatro pluviômetros acoplados às paredes laterais das colunas.

Após a simulação de chuva, as colunas permaneceram por 72 horas na posição vertical, sendo, em seguida, colocadas na posição horizontal. Nessa ocasião, foi aberta a

lateral de cada coluna e seccionado o solo a cada 5 cm de profundidade com lâminas de polietileno rígido, a qual foi removido para vasos de 280 cm³ revestidos internamente com sacos de polietileno. Em seguida, realizou-se o plantio do híbrido de sorgo BRS 655 como planta indicadora. Aos 21 dias após o plantio (DAP), fez-se a avaliação de intoxicação das plantas (escala visual variando de 0 a 100, em que 0 significa planta isenta de sintomas de intoxicação e 100 representa a morte da planta indicadora). Em seguida, foi feita a colheita das plantas de sorgo, para determinação da matéria seca da parte aérea.

Foram avaliados 50 tratamentos (cinco solos e dez profundidades). Utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Alocaram-se os solos nas parcelas e as profundidades nas subparcelas. Para a interpretação dos resultados, os dados obtidos no bioensaio foram submetidos à análise de variância e regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença do fomesafen no Cambissolo (Figura 2A), Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (Figura 2B), Latossolo Vermelho-Amarelo com pH original (Figura 3A), Argissolo Vermelho-Amarelo (Figura 3B) e Organossolo, coletados na profundidade de 0-5 cm das colunas, causou severa intoxicação nas plantas de sorgo. Ao se avaliar o acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo nos diferentes substratos (Figuras 4A, 4B, 5A, 5B, 6A), verificou-se comportamento semelhante, ou seja, à medida que aumenta a profundidade amostrada, aumenta também a matéria seca da planta-teste. De fato, a ocorrência do processo de sorção das moléculas de fomesafen nas camadas iniciais do solo nas colunas pode ter diminuído ou anulado a concentração do herbicida nas maiores profundidades amostradas.

Ocorreu maior lixiviação do herbicida em quatro dos cinco solos analisados. No entanto, foi observado comportamento diferenciado do herbicida em cada substrato, com o grau de intoxicação das plantas variando conforme a profundidade analisada (Figuras 2A, 2B, 3A e 3B). No Cambissolo (Figura 2A) foi observada a maior lixiviação do fomesafen. Isso provavelmente aconteceu devido à sua textura arenosa e ao seu baixo teor de matéria orgânica. Solos com essas características apresentam menor sorção do fomesafen e, conseqüentemente, maior percolação. Esse resultado

está de acordo com Rossi et al. (2005), os quais afirmam que a lixiviação é maior em solos arenosos do que em solos siltosos ou argilosos. Em trabalho realizado por Melo et al. (2010), o sulfentrazone apresentou maior mobilidade em solo de textura franco-arenosa em comparação ao solo argiloso. Segundo Passos (2011), a lixiviação do sulfentrazone em Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico e Neossolo Regolítico foi dependente de suas características físico-químicas.

Outros solos que apresentaram maiores intensidades de lixiviação foram o Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (Figura 2B), seguido pelo Latossolo Vermelho-Amarelo com pH original (Figura 3A). A diferença de lixiviação entre os Latossolos com pH corrigido e original pode estar relacionada à diferença de valores de pH entre eles. Isso acontece porque o fomesafen é derivado de um ácido fraco; herbicidas com essa característica apresentam-se dissociados em solos onde o pH é maior que seu pK_a , sendo mais suscetíveis à lixiviação nessa condição. Esses resultados corroboram os de Guo (2003), o qual reporta que o fomesafen aplicado em solos com pH próximo à alcalinidade pode ser suscetível a maior distribuição no perfil do solo.

A maior lixiviação ocorrida nos Latossolos Vermelho-Amarelos, pH original e corrigido, em relação ao Argissolo Vermelho-Amarelo e ao Organossolo, provavelmente está relacionada ao seu menor teor de matéria orgânica, o que pode ter ocasionado sorção inferior do herbicida (Figuras 2B e 3A). Em estudos em outros solos com características físicas semelhantes, o fomesafen foi recuperado do solo em maior concentração na camada de 0-10 cm (COBUCCI, 1996). Verificou-se neste trabalho a ocorrência de plantas com sintomas de intoxicação até a camada de 25-30 cm no Latossolo com pH corrigido e de 20-25 cm no Latossolo com pH original. A diferença encontrada, entre os trabalhos, na intoxicação entre as plantas cultivadas na mesma profundidade, possivelmente, está relacionada à diferença do teor de matéria orgânica dos solos. No solo estudado por Cobucci (1996), o teor de matéria orgânica era de $3,92 \text{ dag kg}^{-1}$. Nesse estudo, o teor de matéria orgânica mensurado nos Latossolos utilizados foi de $1,6 \text{ dag kg}^{-1}$ (Tabela 1).

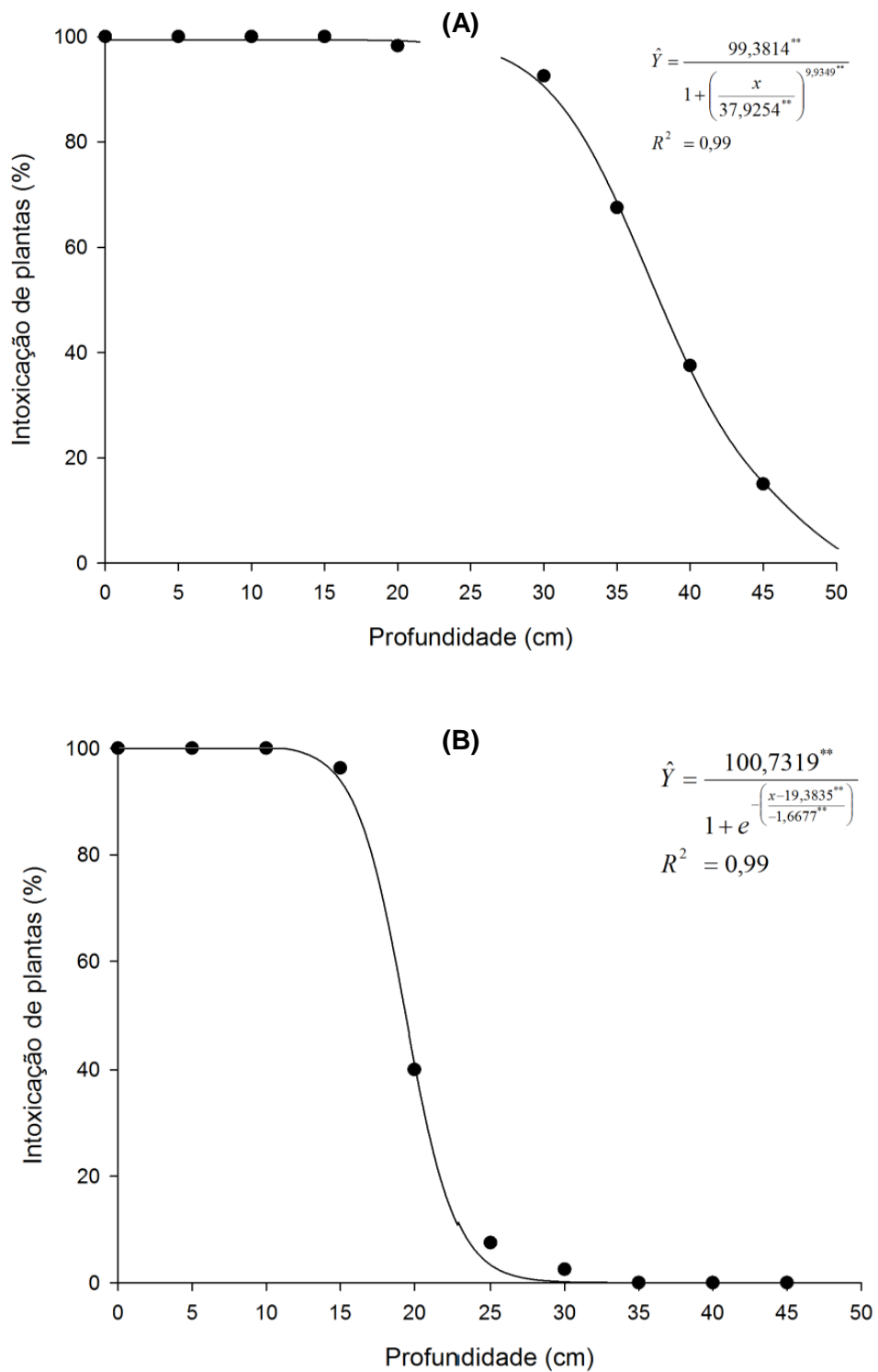


Figura 2 - Intoxicação de plantas de sorgo 21 dias após o plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha⁻¹ de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: 2(A) Cambissolo; 2(B) Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,8).

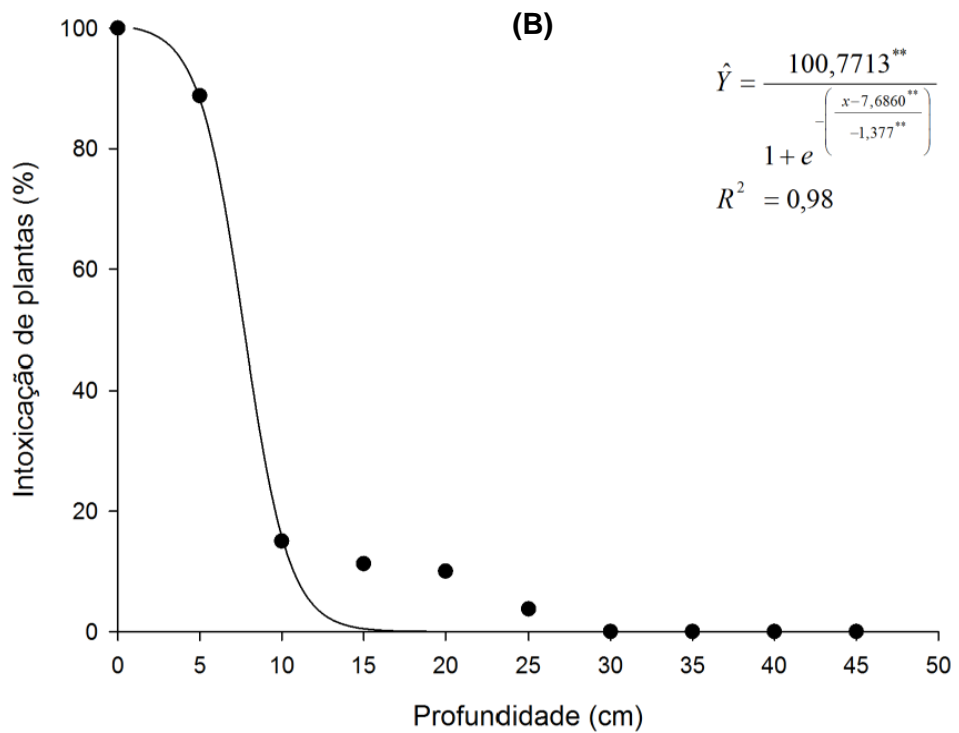
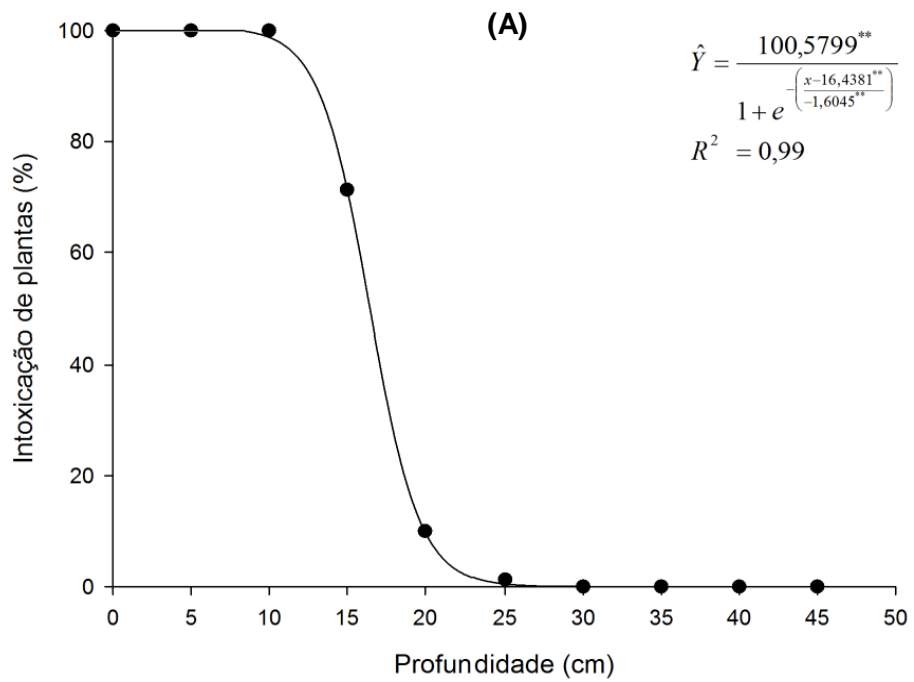


Figura 3 - Intoxicação de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha⁻¹ de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: 3(A) Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,0); 3(B) Argissolo Vermelho-Amarelo.

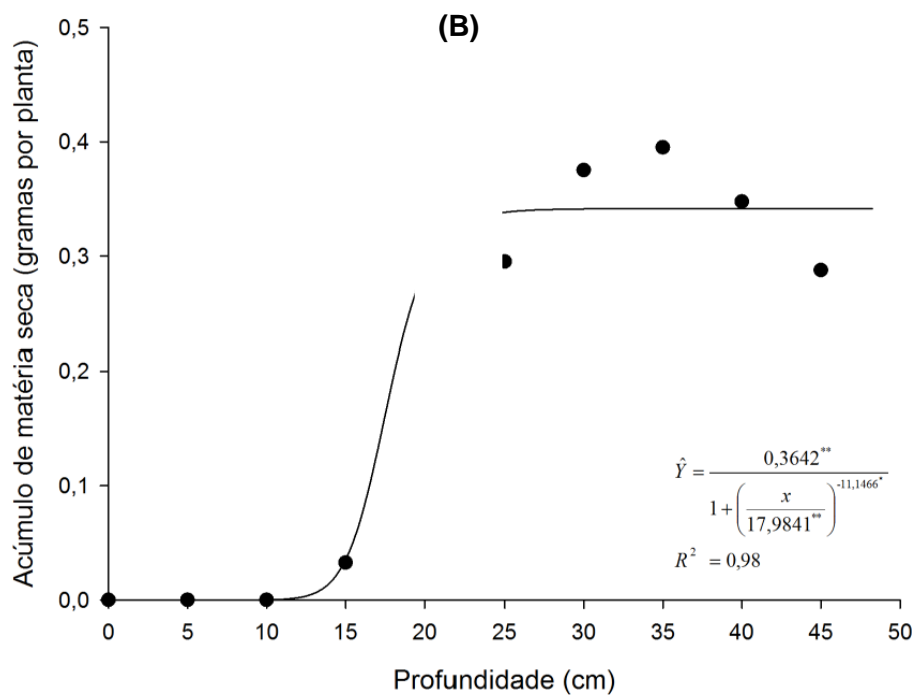
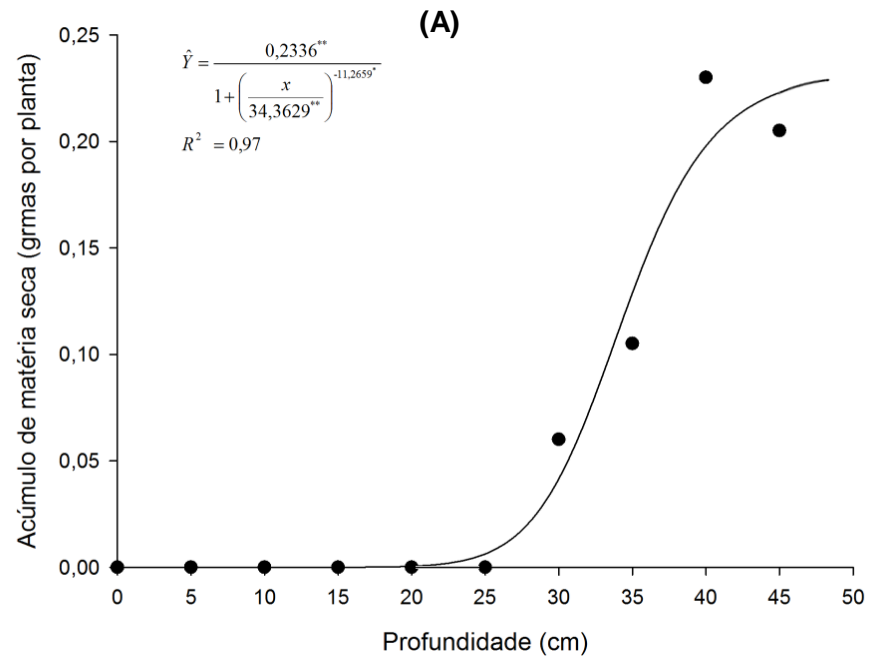


Figura 4 - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha⁻¹ fomesafen em diferentes profundidades das colunas: 4(A) Cambissolo; 4(B) Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,8).

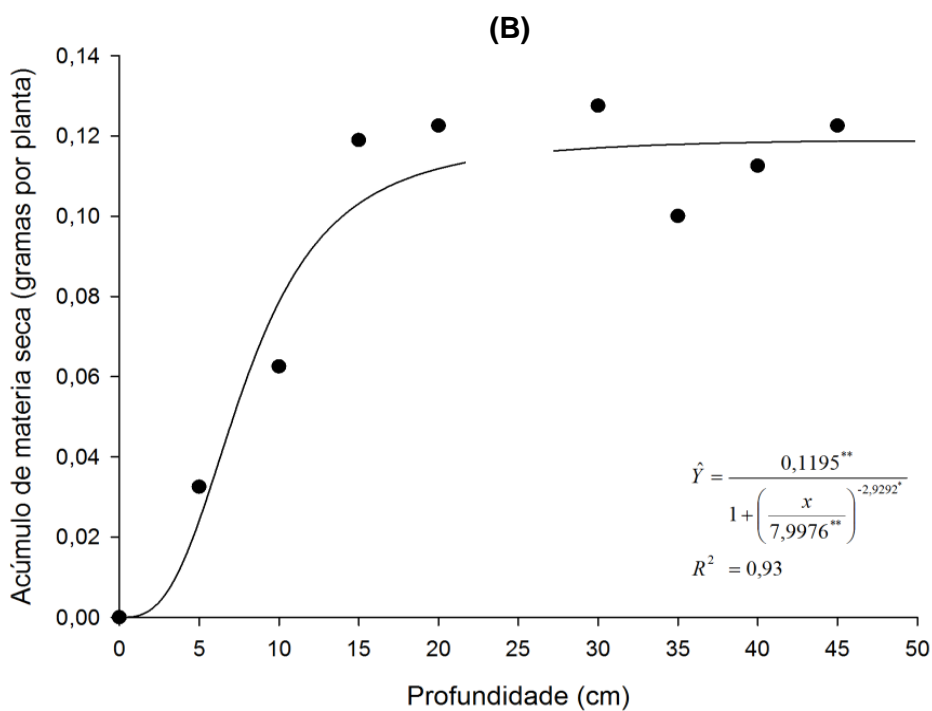
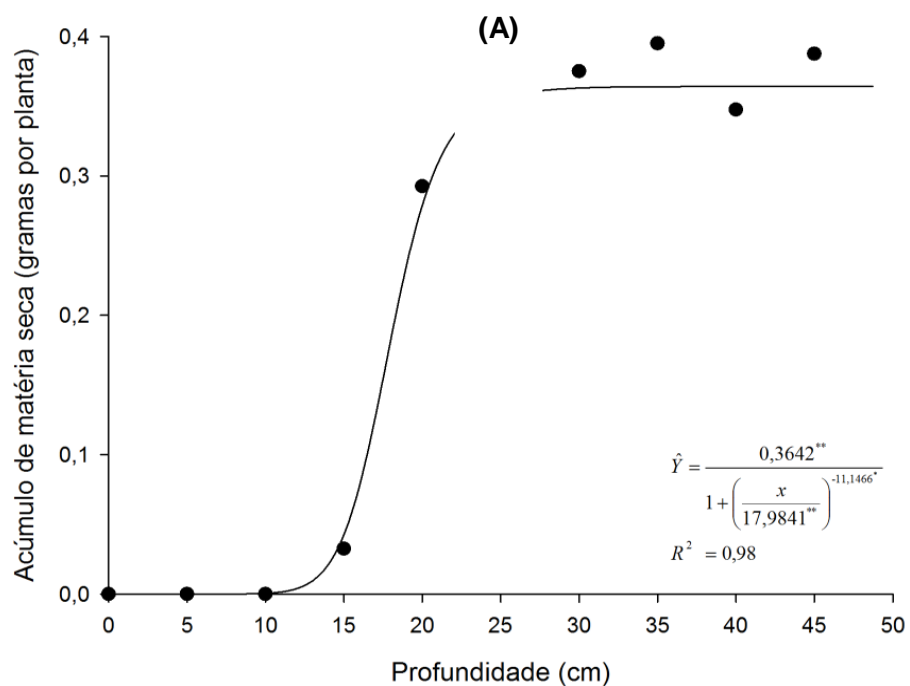


Figura 5 - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após a plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha⁻¹ de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: 5(A) Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 5,0; 5(B) Argissolo Vermelho-Amarelo.

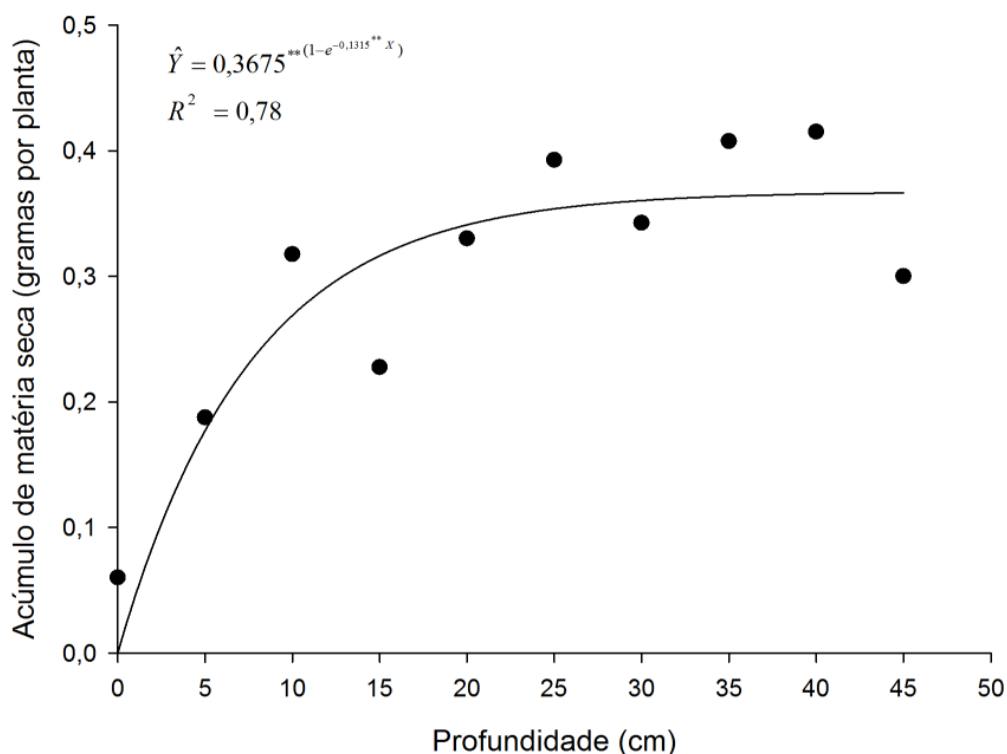


Figura 6 - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de Organossolo tratado com 500 g ha⁻¹ de fomesafen em diferentes profundidades das colunas.

Observou-se que o Argissolo Vermelho-Amarelo foi menos lixiviado nas colunas em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 3A, B), mesmo apresentando textura com maior teor de areia (Tabela 1). Esse fato pode ter sido em decorrência do seu maior teor de matéria orgânica (Tabela 2). Segundo Hang et al. (1996), apesar de o pH ser a característica de maior importância na sorção de herbicidas ácidos no solo, a matéria orgânica tem correlação moderada positiva na retenção desses herbicidas. Dependendo das características físicas e químicas do herbicida e do solo, a qualidade e o teor de argila ou de matéria orgânica podem ser mais importantes do que o pH do solo.

O solo que apresentou menor lixiviação foi o Organossolo (Figura 6). Possivelmente, esse fato veio a acontecer devido ao seu elevado teor de matéria orgânica (Tabela 2), não ocorrendo ajustamento da curva de intoxicação das plantas de sorgo. Observou-se que o fomesafen ficou praticamente todo retido na profundidade de 0-5 cm, pois apenas nessa região foram verificados sintomas de intoxicação nas plantas indicadoras. Este resultado está de acordo com os obtidos por Guo (2003), o qual o autor afirma que solos com grande teor de matéria orgânica apresentam baixa

mobilidade e elevada sorção do fomesafen. Resultado semelhante foi encontrado por Inoue et al. (2010) trabalhando com oxyfluorfen em solos com diferentes teores de matéria orgânica. Segundo Blumhorst et al. (1990) e Gonese e Weber (1998), o principal componente do solo que afeta a retenção de um herbicida é a matéria orgânica. Ademais, o teor de matéria orgânica no solo desempenha papel fundamental quando se trata de contaminantes ambientais, como herbicidas e metais pesados (VIEIRA et al., 1999).

O principal atributo do solo que afetou a lixiviação do fomesafen foi o teor de matéria orgânica, seguido pela textura e, finalmente, pelo pH. Solos que apresentam baixos teores de matéria orgânica, textura arenosa e pH mais elevado apresentam maior risco de contaminação do lençol freático, pela maior possibilidade de lixiviação do fomesafen.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 95-102, 2011.

BLUMHORST, M. R. et al. Efficacy of selected herbicides as influenced by soil properties. **Weed Technol.**, v. 4, p. 279-283, 1990.

COBUCCI, T. **Avaliação agrônômica dos herbicidas fomesafen e bentazon e efeito de seus resíduos no ambiente, no sistema irrigado feijão-milho**. 1996. 106 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

COSTA, C. N. et al. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre, 2004. 290 p.

GERSTL, Z. An update on the Koc concept in regard to regional scale management. **Crop Prot.**, v. 19, p. 643-648, 2000.

GONESE, J. U.; WEBER, J. B. Herbicide rate recommendations: soil parameter equations vs. registered rate recommendations. **Weed Technol.**, v. 12, p. 235-242, 1998.

GUO, J. et al. Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils. **Air, Wat. Soil Pol.**, v. 14, n. 8, p. 77-85, 2003.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.

HANG, S. B. et al. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. **Invest. Agr. Produç. Protec. Vegetales.**, v. 11, n. 2, p. 345-361, 1996.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.

INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010.

JÚNIOR, R. P. S.; SILVA, J. P. potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas na Bacia do Rio Dourados, MS. **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 87-106, jan./dez. 2007.

KELLER, K. E.; WEBER, J. B. Soybean (*Glycine max*) influences metolachlor mobility in soil. **Weed Sci.**, v. 45, n. 6, p. 833-841, 2007.

KOZLOWSKI L. A. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

LAVORENTI, A. et al. Comportamento de pesticidas em solos – Fundamentos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, v.III, Viçosa: SBCS, 2003. p. 335-400.

MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha** v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. et al. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. **Weed Sci.**, v.47, p.243-248, 1999.

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

PASSOS, A. B. R. J. **sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em diferentes solos brasileiros**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: UEL, 2011. 697 p.

ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.

VIEIRA, E. M. et al. Estudo da sorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Quím. Nova**, v. 22, n. 3, p. 305-308, 1999.

PERSISTÊNCIA DO FOMESAFEN EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO

RESUMO - Alguns herbicidas têm persistência longa no solo, o que pode levar à intoxicação de culturas sucessoras (*carryover*), plantadas em rotação. Objetivou-se com este trabalho avaliar a persistência do herbicida fomesafen em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com feijão nos sistemas de plantio direto e convencional, caracterizando dois experimentos distintos. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, arranjados em parcelas subdivididas; as parcelas representavam as doses do herbicida (0,0, 125, 250 e 500 g ha⁻¹), e as subparcelas, as épocas de coleta de solo (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias após a aplicação). As amostras de solo foram coletadas de 15 em 15 dias, nas entrelinhas centrais das parcelas, e transferidas para vasos plásticos de 280 cm³, onde foi semeado o sorgo como indicador biológico da presença de fomesafen. Aos 21 dias após a emergência, avaliou-se a intoxicação das plantas, numa escala em que 0 representava a ausência total de sintomas e 100 a morte da planta. A produtividade do feijoeiro não foi alterada pelas doses do fomesafen, não havendo diferença entre os tratamentos. Com o aumento da dose de fomesafen, o período de persistência no solo foi maior. A persistência desse herbicida no solo varia em função do sistema de plantio e da dose aplicada.

Palavras-chave: bioensaio, *carryover*, impacto ambiental.

Persistence of fomesafen in Red-Yellow Ultisol in two cultivation systems

ABSTRACT - Some herbicides have long persistence in the soil, which can lead to poisoning in successive crops (*carryover*) planted in rotation. The objective of this study was to evaluate the persistence of fomesafen in Red-Yellow Ultisol cultivated with common bean in no-tillage and conventional systems, featuring two separate experiments. The experimental design was a randomized block with four replications arranged in a split plot, where the plots represent the herbicide doses (0.0, 125, 250, 500 g ha⁻¹) and subplots ages of soil collected (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 and 150 days after herbicide application). Soil samples were collected from 15 to 15 days, in central interrows of the plots and transferred to plastic pots of 280 cm³, which was

seeded sorghum as a biological indicator of the presence of fomesafen. At 21 days after emergence was evaluated poisoning of plants, on a scale where 0 representing the complete absence of symptoms and 100, death of the plant. The grain yield was not affected by fomesafen doses, with no difference between treatments. With increasing of dose of fomesafen applied, the period of persistence this herbicide in the samples was increased. The persistence of fomesafen in soil varies according to cropping system and the applied dose.

Keywords: bioassay, *carryover*, Environmental Impact.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande vantagem competitiva na agricultura em comparação a outros países, sendo possível colher, em uma mesma área, mais de uma safra de grãos por ano. Com o crescimento da população e a abertura de novos mercados, os produtores de grãos tecnificaram suas culturas, proporcionando maior produtividade. Houve também abertura de novas fronteiras agrícolas, intensificação do uso do solo, aumento do uso de fertilizantes, agroquímicos e cultivares melhoradas, entre outras tecnologias (MANCUSO et al., 2011).

A cultura do feijão cresceu em produtividade, sendo um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social no Brasil. Isso se deve à mão de obra empregada durante o ciclo da cultura (VIEIRA et al., 2005), principalmente na agricultura familiar.

Dependendo da região, o plantio de feijão no Brasil é feito ao longo do ano, em três épocas, de tal forma que, em qualquer mês, sempre haverá produção de feijão em algum ponto do País, o que contribui para o abastecimento interno (EMBRAPA, 2012). No entanto, deve-se atentar para os herbicidas utilizados na lavoura, uma vez que alguns deles têm persistência longa no solo, o que pode levar à intoxicação de culturas sucessoras (*carryover*), plantadas em rotação.

A persistência de um herbicida no solo pode ser definida como o intervalo de tempo em que o produto fica ativo ou simplesmente permanece nesse ambiente (KLINGMAN; ASHTON, 1975). Ela é bastante variável, pois muitos herbicidas se degradam em apenas alguns dias, enquanto outros podem persistir por vários meses ou anos. O herbicida ideal deve permanecer no ambiente o tempo suficiente para

controlar as plantas daninhas e depois se dissipar completamente, evitando possíveis contaminações do ambiente e injúrias às culturas subsequentes (COBUCCI, 1996).

O tempo de permanência de um herbicida no ambiente relaciona-se à capacidade de sorção do solo, ao balanço hídrico, ao transporte de solutos e à sua taxa de degradação. Além disso, a persistência é também dependente de outros fatores: solo (teor de carbono orgânico, pH e textura), população de microrganismos, ambiente (temperatura e precipitação) e práticas culturais (sistemas de plantio e doses aplicadas) (SILVA et al., 2007b).

Entre os herbicidas utilizados na cultura do feijão que podem permanecer no solo, afetando culturas subsequentes, têm-se: trifluralin, imazamox e fomesafen (SILVA et al., 2007a).

O composto 5-(2-cloro-4-(trifluorometil) fenoxi-N-(metilsulfonil)-2-nitrobenzamida (fomesafen) é derivado de um ácido fraco e apresenta valor de pKa de 2,7 (sal de sódio). Possui solubilidade em água considerada alta para essa classe de produto (50 mg L⁻¹ a 20 °C) (GUO et al., 2003), baixa pressão de vapor (<10⁻⁴ Pa a 50 °C) e log Kow variando de acordo com o pH, de 2,9 (pH 1) até -1,2 (pH 7) (OLIVEIRA JÚNIOR; REGITANO, 2009). A degradação do fomesafen em solos anaeróbicos ocorre em menos de três semanas, enquanto em condições aeróbicas o tempo varia de 6 a 12 meses (ANONYMOUS, 1989, citado por JOHNSON; TALBERT, 1993). Deve-se observar um intervalo mínimo de 150 dias entre a aplicação da dose recomendada e a semeadura de milho e, ou, sorgo. É registrado no Brasil para as culturas de soja e feijão (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). No entanto, são poucas as informações sobre o comportamento desse herbicida em solos brasileiros, tanto no plantio direto quanto no convencional.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a persistência do fomesafen em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com feijão nos sistemas de plantio direto e convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Campo Experimental Professor Diogo Alves de Melo, Vale da Agronomia, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, e em casa de vegetação do mesmo departamento. Foram feitas

coletas de amostras do solo na área experimental para as caracterizações físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2) do solo.

Tabela 1 - Resultado da análise física da amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo

Areia	Silte	Argila	Classe Textural
(dag kg ⁻¹)			
32	14	54	Argiloarenosa

Tabela 2 - Resultado da análise química da amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo

pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO
	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)						(%)		(dag kg ⁻¹)	
5,2	21,7	100,0	1,90	0,60	0,00	4,46	2,76	2,76	7,22	38	0	3,3

O plantio de feijão, cultivar Ouro Vermelho, foi efetuado no dia 14 de março de 2012 em dois sistemas de plantio: plantio convencional (SPC) e plantio direto (SPD), caracterizando dois experimentos distintos, conduzidos simultaneamente. Nas operações do plantio convencional, foram realizadas uma aração e duas gradagens. No plantio direto, realizou-se a dessecação da área com glyphosate (5 L ha⁻¹) e 2-4, D (1 L ha⁻¹), utilizando-se um pulverizador costal, acoplado a uma barra com três pontas TT11002, aplicando-se um volume de calda de 150 L ha⁻¹.

A semeadura foi realizada em sulco, com 14 sementes por metro linear. As adubações foram baseadas nas recomendações oficiais para o Estado de Minas Gerais no nível tecnológico 2 (CHAGAS et al., 1999), constando de 350 kg ha⁻¹ da formulação 8-28-16 no plantio, mais 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura 20 dias após emergência (DAE). Fez-se também uma aplicação por via foliar de 40 g ha⁻¹ de molibdênio, aos 23 DAE.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, arranjados em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram alocados em parcelas de 5 x 3 m, relativas às doses do fomesafen (0,0, 125, 250 e 500 g ha⁻¹). Cada parcela continha seis linhas de feijão com 5 m de comprimento, espaçadas de 50 cm entre linhas. As subparcelas foram constituídas das épocas de coleta de amostras de solo [15,

30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)]. Na aplicação do fomesafen foi utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO₂ com pressão de 2,5 bar, acoplado a uma barra com três pontas TT11002, calibrado para um consumo de 150 L ha⁻¹ de calda. O herbicida foi aplicado quando as plantas de feijão estavam no estágio V₃.

A avaliação da produtividade do feijoeiro foi feita na área central das parcelas, nas quatro linhas centrais, desconsiderando-se 0,5 m em cada extremidade. Após a colheita, as plantas foram expostas ao sol até atingirem umidade adequada para serem trilhadas.

Para avaliação dos efeitos residuais do fomesafen, amostras do solo foram coletadas quinzenalmente, nas entrelinhas centrais das parcelas na área experimental, na profundidade de 0 a 10 cm. Essas amostras foram destorroadas, peneiradas, homogeneizadas e colocadas em vasos plásticos de 280 cm³, em casa de vegetação. Para evitar perdas do herbicida e, ou, nutrientes por lixiviação, os vasos foram revestidos internamente com filme de polietileno. Nesses vasos semeou-se sorgo, híbrido BRS655, como planta indicadora da presença do fomesafen no solo. Aos 21 dias após o plantio (DAP), avaliou-se a intoxicação [escala visual variando de 0 a 100, em que 0 significa planta isenta de sintoma de intoxicação e 100 representa a morte da planta indicadora]. Para interpretação dos resultados, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade do feijoeiro não foi afetada pelas doses do fomesafen, evidenciando a grande seletividade que esse produto tem nessa cultura. Esse resultado corrobora os de Escher (2001), o qual relata a seletividade do fomesafen em diversas doses, aplicadas isoladamente ou mesmo em mistura com bentazon ou fluazifop-p-butyl em plantas de feijão.

Independentemente do sistema de plantio, convencional (SPC) ou direto (SPD), observou-se que, com o aumento da dose do fomesafen, aumentou o período de persistência deste no solo (Figuras 2, 3, 4 e 5). Maior persistência do fomesafen em área com maiores doses desse herbicida, em comparação à área com doses menores, também foi relatada por Machado et al. (2006).

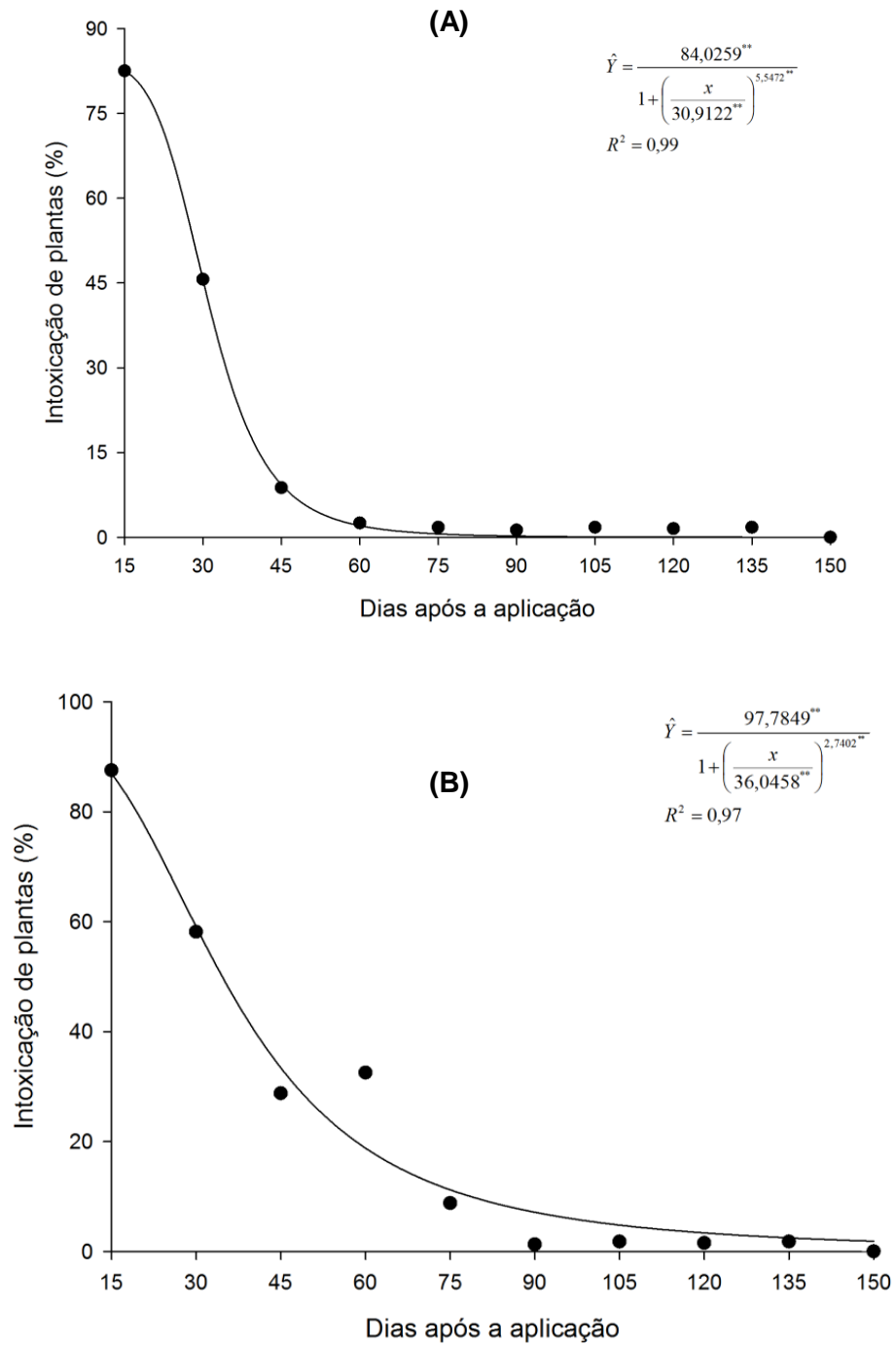


Figura 1 - Intoxicação (%) em plantas de sorgo cultivadas em amostras de solos oriundos de área de plantio convencional, tratadas com 125 g ha⁻¹ (A) e 250 g ha⁻¹ (B) do fomesafen.

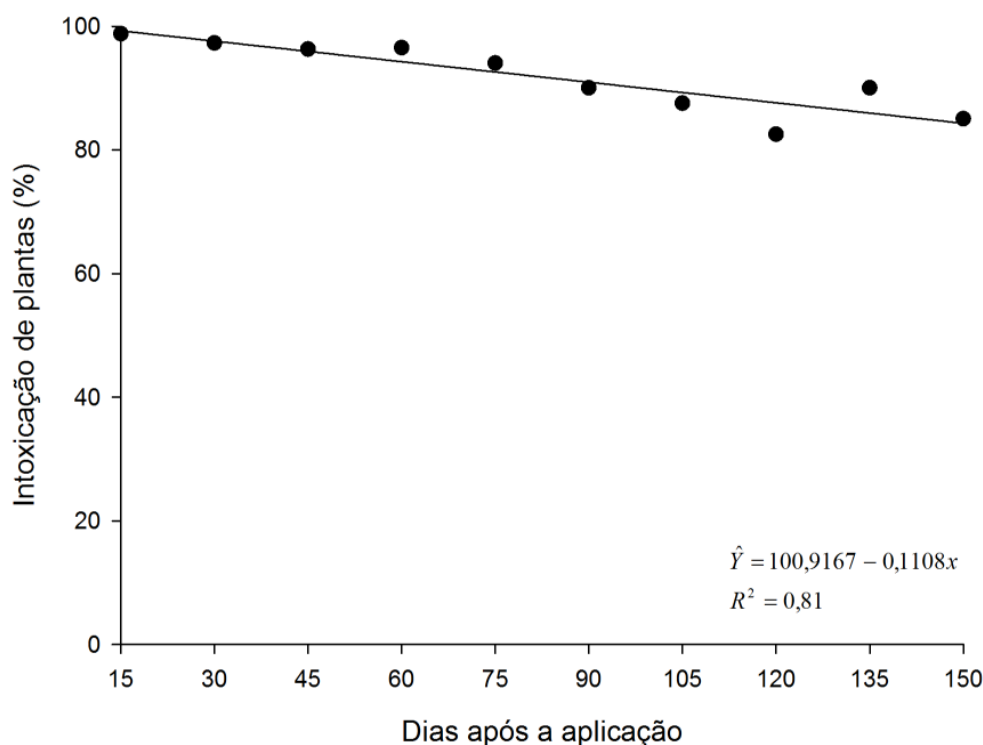


Figura 2 - Intoxicação (%) em plantas de sorgo cultivadas em amostras de solos oriundos de área de plantio convencional, tratadas com 500 g ha⁻¹ do fomesafen.

Com a aplicação de 125 g ha⁻¹ de fomesafen, observou-se maior intoxicação das plantas de sorgo cultivadas nas amostras de solo provenientes da área do sistema de plantio convencional, comparadas às do plantio direto (Figuras 2A e 4A). Resultados semelhantes foram verificados por Jakelaitis et al. (2006) no estudo da persistência da mistura herbicida fluazifop-p-butyl+fomesafen. Esses autores relatam que ocorreu maior intoxicação nas plantas-teste quando foram cultivadas em amostras de solo provenientes do sistema convencional, em relação ao sistema direto. Esse fato pode ter ocorrido devido à sorção de parte do herbicida pela palhada originada da dessecação da área. Segundo Dao (1995) e Reddy et al. (1995), os resíduos vegetais possuem grande capacidade de sorção, às vezes superior à do solo. Além disso, os restos culturais sobre a superfície do solo interceptam o herbicida, deixando-o mais exposto aos raios solares, altas temperaturas e ventos, o que pode vir a acelerar a sua fotodegradação e volatilização (HELLIG et al., 1988; MILLS et al., 1989).

Apesar de as plantas de sorgo cultivadas em solos oriundos do sistema de plantio direto (SPD) apresentarem intoxicação com menor grau de severidade em relação às plantas do plantio convencional, a persistência do fomesafen foi maior no

SPD. Pode-se creditar essa ocorrência à maior lixiviação do herbicida em solos onde foi utilizado o plantio convencional, decorrente do maior distúrbio causado pela aração e gradagem, seguidas da pulverização do herbicida. O processo de dissipação de herbicidas no ambiente está relacionado com as propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, com as condições climáticas, com o manejo e com o sistema de cultivo utilizado (CLAY, 1993; NIEKAMP; JOHNSON, 2001).

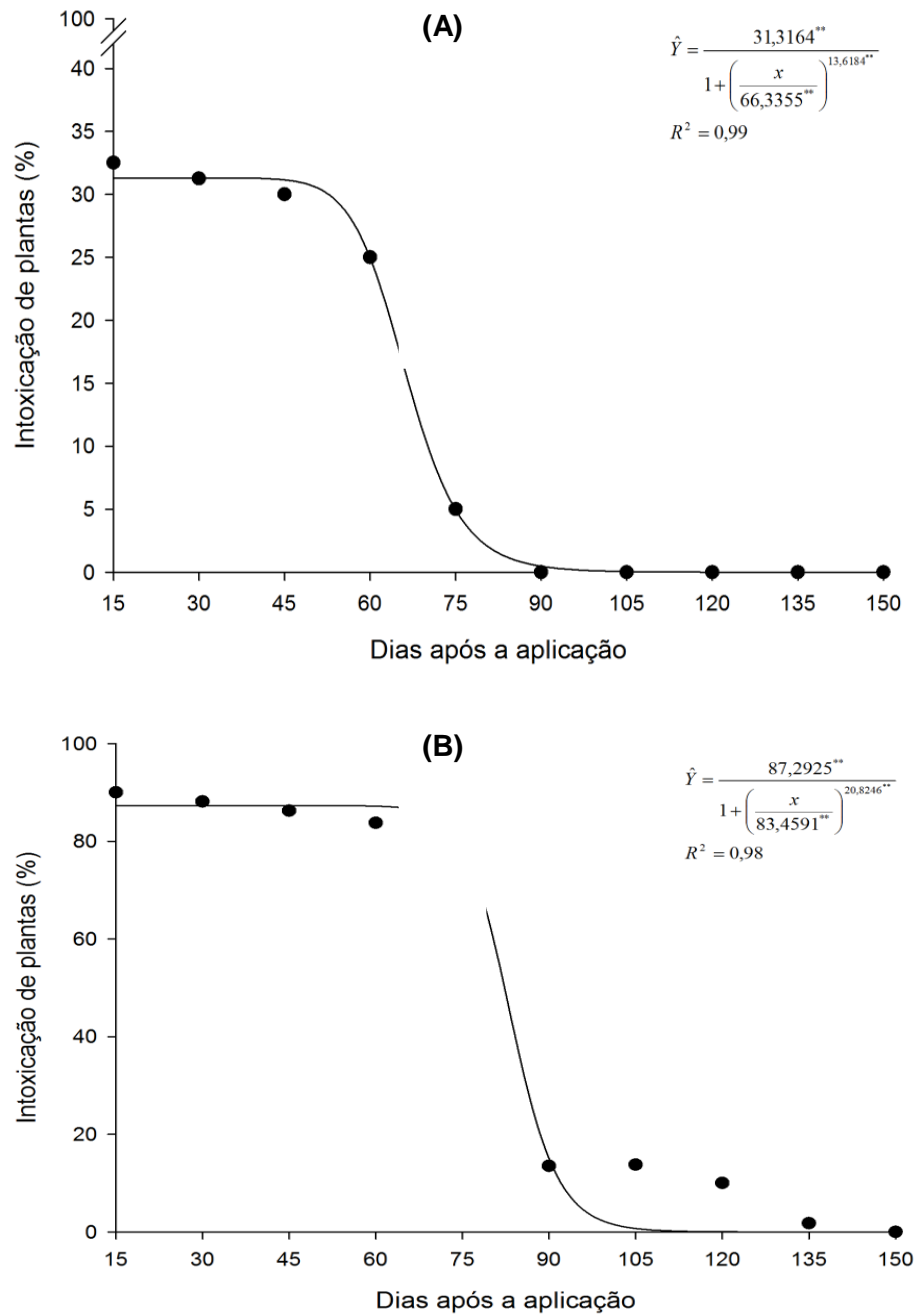


Figura 3 - Intoxicação (%) em plantas de sorgo cultivadas em amostras de solos oriundos de área de plantio direto, tratadas com 125 g ha⁻¹ (A) e 250 g ha⁻¹ (B) do fomesafen.

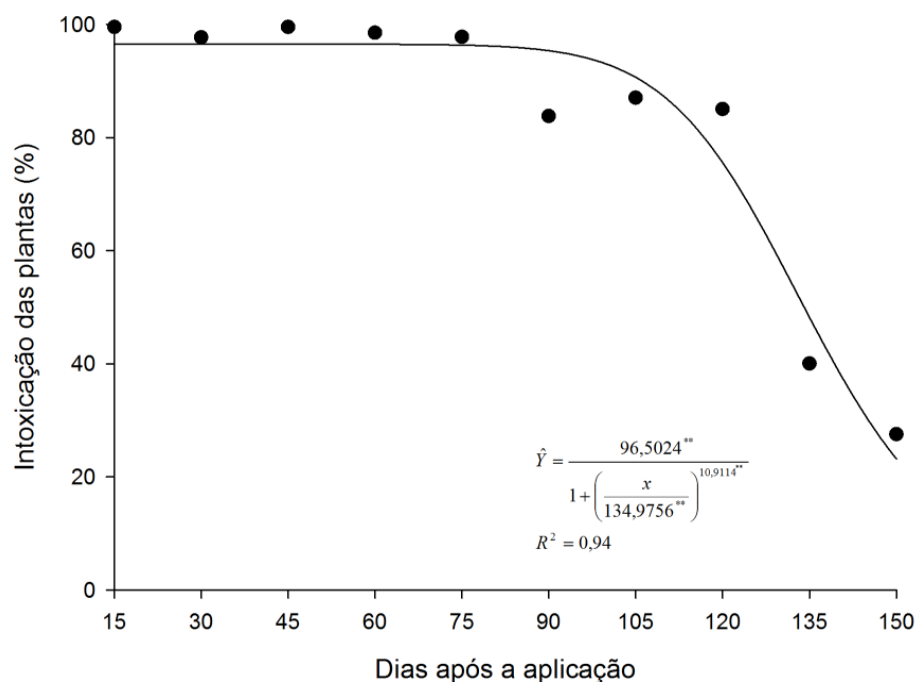


Figura 4 - Intoxicação (%) em plantas de sorgo cultivadas em amostras de solos oriundos de área de plantio direto, tratadas com 500 g ha⁻¹ do fomesafen.

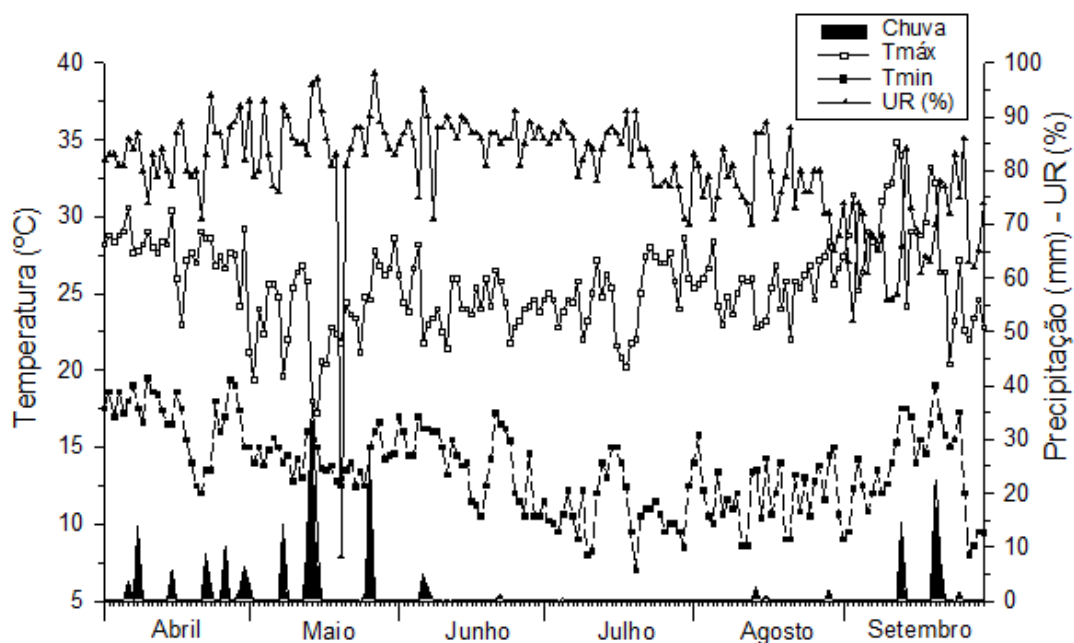


Figura 5 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, distribuição de precipitação (chuva) e umidade relativa no período de 1º de abril a 30 de setembro de 2012.

No tratamento com 250 g ha⁻¹ de fomesafen, observou-se intoxicação tanto nas plantas cultivadas no solo originado do SPC como nas do SPD nas primeiras épocas de avaliação (Figuras 2B e 4B). No entanto, a severidade da intoxicação decresceu mais

rapidamente entre as épocas de coleta nas plantas cultivadas no solo do SPC e prosseguiu com maior severidade por um período maior de tempo no SPD.

Nas amostras de solo oriundas do SPD a queda da severidade da intoxicação foi observada no período de 45 a 60 dias (Figura 3), o que coincidiu com a maior pluviosidade ocorrida na área experimental (Figura 1). Por outro lado, no SPC a queda da severidade das intoxicações aconteceu no intervalo de 15 a 45 DAA (Figura 2A), correspondente a um período em que a precipitação foi menor que no primeiro caso (Figura 1). Esse fato pode ter ocorrido devido a uma maior lixiviação do herbicida em solo sob SPC. Sabe-se que, no preparo do solo convencional, aração e gradagem promovem maior desestruturação e maior quantidade de macroporos, o que poderia refletir numa menor sorção do fomesafen ao solo. Considerando a solubilidade e o caráter ácido desse herbicida, esse fato pode ter aumentado a lixiviação dele a camadas mais profundas. Alguns autores afirmam que o fomesafen apresenta capacidade de contaminação do lençol freático por ter potencial de lixiviação (GUSTAFSON, 1989; INOUE et al., 2003; ANDRADE et al., 2011).

Mesmo com a ocorrência de queda brusca na intoxicação das plantas de sorgo cultivadas em amostras dos solos, foram detectados resíduos do fomesafen no solo onde se utilizou o SPC até 150 DAA, e com o SPD, até 135 DAA (Figura 2B). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Cobucci (1997), em que a persistência do fomesafen foi de 140 DAA com a aplicação de 250 g L^{-1} . No entanto, eles diferem dos encontrados por Silva (2012), que relata persistência do fomesafen, na dose de 250 g L^{-1} , maior que 183 dias após a aplicação. A diferença encontrada possivelmente está relacionada às diferenças climáticas nos períodos em que os experimentos foram conduzidos, uma vez que os solos utilizados nos experimentos apresentam características químicas e físicas semelhantes. No trabalho realizado por Silva (2012), as maiores precipitações foram verificadas no período posterior aos 120 dias após a aplicação do fomesafen, e no presente trabalho a maior intensidade de chuvas ocorreu durante os 60 primeiros dias após a aplicação do herbicida (Figura 1).

Avaliando a intoxicação causada pelo fomesafen quando aplicado na dose de 500 g L^{-1} (Figuras 3 e 5), verifica-se que não foi possível determinar o tempo total de persistência do herbicida no solo nos dois sistemas de plantio, pois o período de condução do experimento foi de 150 dias. No entanto, percebe-se que houve tendência de maior persistência no SPC do que no SPD. Possivelmente, a tendência de menor persistência nos solos sob plantio direto está relacionada à maior atividade microbiana

nesses solos, se comparados a solos preparados no sistema convencional (SILVA et al., 2010).

Feng (2012) observou que a bactéria *Pseudomonas zeshuii* BY-1 foi capaz de degradar 88,7% do fomesafen aplicado ao meio de cultura; essa bactéria utilizou a molécula desse herbicida como fonte de carbono. Oliveira (2011) observou que em solo onde foi aplicado lodo de esgoto a degradação do fomesafen foi mais rápida que nos demais tratamentos. Segundo essa autora, isso ocorreu porque o lodo serviu como fonte de carbono e de nutrientes para os microrganismos, o que favoreceu o crescimento da população microbiana, resultando em menor tempo de degradação do fomesafen.

Com base nos resultados, conclui-se que a persistência do fomesafen no solo é dependente do sistema de plantio e da dose aplicada. O intervalo de segurança após a aplicação desse herbicida em culturas sensíveis é menor quando se pratica o plantio direto. Ocorrem maiores tempos de permanência do fomesafen no solo com o aumento da dose aplicada. Dessa forma, áreas onde são aplicadas doses acima de 250 g ha⁻¹ do fomesafen têm maior risco de ocorrência de *carryover* em culturas sensíveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S., et al. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**. Curitiba, v. 21, p. 95-102, 2011.

CARDOSO, A. A. et al. Avaliação da persistência do fomesafen aplicado na cultura do feijão de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 18., 1991, Brasília. **Anais...** Brasília-DF, SBHPD, 1991. p. 78.

CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LANA, R. M. Q; RIBEIRO, A. C. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, 1999. p. 306-307.

CLAY, D. V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, 1993. p. 153-172.

COBUCCI, T. **Avaliação agrônômica dos herbicidas fomesafen e bentazon e efeito de seus resíduos no ambiente, no sistema irrigado feijão-milho**. 1996. 106 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

COBUCCI, T. et al. Carryover effect of fomesafen, applied on edible bean, on sucessionalmaize. **Planta Daninha**, v. 15, n. 2, p. 180-189, 1997.

COBUCCI, T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfenaoil residue on rotational crops. **Weed Sci.**, v. 46, p. 258-263, 1998.

DAO, T. H. Subsurface mobility of metribuzin as affected by crop residue placement and tillage method. **J. Environ. Quality**, v. 24, n. 6, p. 1193-1198, 1995.

EMBRAPA. **Cultivo do feijoeiro comum**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

ESCHER, V. **Eficiência do fomesafen isolado e em mistura com bentazon, na cultura do feijão e seus efeitos residuais na cultura do sorgo em sucessão**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

FENG, Z. Z. et al. Microbial degradation of fomesafen by a newly isolated strain *Pseudomonas zeshuii* BY-1 and the biochemical degradation pathway. *Journal Agric. Food Chem.*, v. 60, n. 29, p. 7104–7110, 2012. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/sci-hub.org/doi/full/10.1021/jf3011307-notes-1>>. Acesso em: 1 dez. 2012.

GUO, J. et al. Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils. **Air, Water Soil Pollut.**, v. 14, n. 1, p. 77-85, 2003.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.

HELLING, C. S. et al. Persistence and leaching of atrazine, alachlor, and cyanazine under no-tillage practices. **Chemosphere**, v. 17, n. 1, p. 175-187, 1988.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.

JAKELAITIS, A. et al. Atividade residual no solo da mistura comercial dos herbicidas fluazifop-p-butil e fomesafen utilizados no cultivo convencional e direto do feijoeiro. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 533-540, 2006

JOHNSON, D.H.; TALBERT, R.E. Imazaquin, chlorimuron, and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*helianthus annuus*). **Weed Technology**, v. 7, p. 573-577, 1993.

KLINGMAN, G. C. et al. Weed science, principles and practices. New York, **John Wiley**, 1975. 413 p.

LIANG, B. et al. Biodegradation of fomesafen by strain *Lysinibacillus* sp. ZB-1 isolated from soil. **Chemosphere**, v. 77, n. 11, p. 1614-1619, 2009.

MACHADO, A. F. L et al. Misturas de herbicidas no manejo de plantas daninhas na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 107-114, 2006.

MANCUSO, M. A. C. et al. Efeito residual de herbicidas no solo (“*Carryover*”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p.151-164, 2011.

MILLS, J. A.; WITT, W. W. Effect of tillage systems on the efficacy and phytotoxicity of imazaquin and imazethapyr in soybean (*Glycine max*). **Weed Sci.**, v. 37, n. 2, p. 233-238, 1989.

NIEKAMP, J. W.; JOHNSON, W. G. Weed management with sulfentrazone and flumioxazin in no-tillage soybean (*Glycine max*). **Crop Prot.**, n. 20, p. 215-220, 2001.

OLIVEIRA JR., R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**: parte II, aplicações. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 187-248.

OLIVEIRA, V. S. **Dinâmica do fomesafen no solo e impacto de tiametoxam e fomesafen sobre três espécies de macrófitas aquáticas**. 2011. 103 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.

REDDY, K. N. et al. Chlorimuron ethyl sorption and desorption kinetics in soils and herbicide-desiccated cover crop 3. **J. Agric. Food Chem.**, v. 43, n. 10, p. 2752-2757, 1995.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: UEL, 2011. 697 p.

SEEFELDT, S. S. et al. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technol.**, v. 9, p. 218-227, 1995.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismos de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007a. 367 p.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007b. 367 p.

SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 5, p. 1484-1592, 2010

SILVA, V. P. **Eficiência e residual no solo de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do feijão**. 2012. 55 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

VIEIRA, C. et al. Melhoramento de feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de plantas cultivadas**. 2.ed. Viçosa-MG: UFV, 2005. p. 301-391.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores de matéria orgânica e de argila dos solos são atributos de grande importância na sorção do fomesafen. Isso explica os maiores valores de sorção desse herbicida obtidos no Organossolo, o qual tinha o maior teor de matéria orgânica entre os solos avaliados.

Os resultados comprovam a grande importância de conhecer as características físicas e químicas do solo e a interação delas com o fomesafen para se fazer uma recomendação que garanta melhor eficiência técnica e com baixo risco ambiental.

O principal atributo do solo que afetou a lixiviação do fomesafen foi o teor de matéria orgânica, seguido pela textura e, finalmente, pelo pH. Solos que possuem baixos teores de matéria orgânica, textura arenosa e pH mais elevado apresentam maior risco de contaminação do lençol freático, pela maior possibilidade de lixiviação do herbicida.

Com base nos resultados, conclui-se que a persistência do fomesafen no solo é dependente do sistema de plantio e da dose aplicada.

Há maior persistência do fomesafen no solo com o aumento da dose aplicada. Dessa forma, em áreas onde são aplicadas doses acima de 250 g ha^{-1} do fomesafen o risco da ocorrência de *carryover* em culturas sensíveis é maior.