

RENAN RODRIGUES BRAGA

SORÇÃO DE INDAZIFLAM E ISOXAFLUTOLE EM SOLOS TROPICAIS

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

B813s
2017 Braga, Renan Rodrigues, 1988-
Sorção de indaziflam e isoxaflutole em solos tropicais /
Renan Rodrigues Braga. – Viçosa, MG, 2017.
vi, 45f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Lino Roberto Ferreira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Herbicidas no solo. 2. Solos - Lixiviação. 3. Matéria orgânica. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.


CDD 22 ed. 631.4

RENAN RODRIGUES BRAGA

SORÇÃO DE INDAZIFLAM E ISOXAFLUTOLE EM SOLOS TROPICAIS


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

APROVADA: 28 de julho de 2017.



Evander Alves Ferreira



Daniel Valadão Silva


Gustavo Antônio Mendes Pereira


Francisco Claudio Lopes de Freitas
Coorientador


Lino Roberto Ferreira
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde e sabedoria para a conclusão de mais essa etapa da minha vida.

Ao meu pai e minha mãe que sempre torceram pela minha vitória sem medir esforços para que isso acontecesse.

Ao meu irmão Henrique pelo carinho e incentivo.

A todos os meus familiares, em especial toda família da minha mãe no Mato Grosso, a minha avó Alda, ao tios e primos da parte de meu pai e a Fatinha que é parte da família, pelo incentivo.

Ao meu avô Chico e Tia Graciana, que me abrigaram quando precisei.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro na execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Estudo.

Ao professor Dr. Lino Roberto Ferreira, pela amizade, orientação, paciência e pelos valiosos ensinamentos profissionais e pessoais.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelos ensinamentos durante as disciplinas cursadas.

Agradeço a todos integrantes do grupo dos laboratórios de Herbicida na Planta, Herbicida no Solo e Vale da Agronomia pelos maravilhosos anos de convivência e amizade. Sou muito grato pela ajuda de cada um de vocês e tenho muito orgulho de ter feito parte desse grupo.

A todos meus amigos pelo companheirismo, confiança e amizade demonstrados ao longo dos anos.

Aos colegas do curso, pelo constante apoio e consideração.

A quem torceu pela minha vitória.

Obrigado a todos!

BIOGRAFIA

RENAN RODRIGUES BRAGA, filho de Afonso Celso Renan Braga e Sylvania Rodrigues da Silva Braga, nasceu em 27 de outubro de 1988, no município de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil.

Concluiu, em 2002, o Ensino Fundamental na Escola Municipal Antônio Firmino de Andrade e, em 2005, o Ensino Médio na Escola Estadual Elge Renan Braga, em São Sebastião do Bugre, distrito de Coroaci - MG. Em janeiro de 2006 ingressou na Universidade Vale do Rio Doce em Governador Valadares-MG, o qual transferiu-se para a Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri em Diamantina-MG em agosto de 2008, o qual graduou-se em Agronomia em julho de 2011. Em agosto de 2011, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, concluindo-o em março de 2013. No mesmo mês ingressou no Doutorado no programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 28 de julho de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.	vi
INTRODUÇÃO GERAL	1
LITERATURA CITADA	2
SELEÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS INDICADORAS DE RESÍDUOS DE INDAZIFLAM NO SOLO	5
Resumo	5
Palavras-Chave	5
Abstract.....	6
Key words.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÃO.....	15
AGRADECIMENTOS.....	15
LITERATURA CITADA	15
SORÇÃO DO HERBICIDA INDAZIFLAM EM SOLOS TROPICAIS.....	19
Resumo	19
Palavras-chave	19
Abstract.....	20
Key words.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÃO.....	29
AGRADECIMENTOS.....	29
LITERATURA CITADA	29
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ESTERCO BOVINO NA SORÇÃO DO ISOXAFLUTOLE EM DOIS SOLOS.....	32
Resumo	32
Palavras-chave	32
Abstract.....	33
Key words.....	33
INTRODUÇÃO.....	34
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
CONCLUSÃO.....	41
AGRADECIMENTOS.....	42
LITERATURA CITADA	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45

RESUMO

BRAGA, Renan Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Sorção de indaziflam e isoxaflutole em solos tropicais**. Orientador: Lino Roberto Ferreira. Coorientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

O conhecimento das características dos herbicidas estudados, dos atributos do solo e das interações entre estes fatores é fundamental para o manejo integrado das plantas daninhas. Se a sorção do herbicida aos distintos solos for negligenciada, poderá ocorrer contaminação ambiental ou mesmo perda de sua eficácia. Buscou-se selecionar plantas capazes de indicar presença de resíduos de indaziflam, avaliar a sorção deste herbicida em solos cinco solos tropicais e ainda conhecer o efeito da adição de esterco em solos sobre a sorção do isoxaflutole. As espécies recomendadas para indicar presença de resíduos de indaziflam em substratos foram sorgo, trigo e aveia. A sorção do indaziflam nos solos testados foi influenciada principalmente pelos seus valores de pH, em que solos com menores valores de pH apresentaram maior sorção. Embora o aumento nos teores de matéria orgânica também resultassem em acréscimo na sorção. O incremento de esterco aos solos resultou em menor intoxicação das plantas indicadoras e maior sorção do isoxaflutole ao solo. As plantas cultivadas no solo de argiloso e com maior matéria orgânica obtiveram maiores valores de matéria seca e menores de intoxicação de plantas, indicando que a matéria orgânica e a argila têm grande papel na sorção do isoxaflutole. A técnica do bioensaio se mostrou eficiente na detecção dos resíduos do herbicida no solos, destacando-se a avaliação de matéria seca de plantas. Outros trabalhos devem ser realizados para elucidação dos fatores que podem afetar a sorção destes herbicidas no solo, de forma a contribuir para o uso sustentável dos herbicidas.

ABSTRACT

BRAGA, Renan Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Sorption of indaziflam and isoxaflutol in tropical soils.** Adviser: Lino Roberto Ferreira. Co-adviser: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

Knowledge of the characteristics of the herbicides studied, soil attributes and interactions between these factors is fundamental for integrated weed management. If the sorption of the herbicide to the different soils is neglected, environmental contamination can occur or even the loss of its effectiveness. The objective of this study was to select plants capable of indicating the presence of indaziflam residues in soils, to evaluate the sorption of this herbicide in soils of five tropical soils and to know the effect of the addition of manure on soils on isoxaflutole sorption. The recommended species to indicate the presence of indaziflam residues in substrates was sorghum because it presented low sensitivity to the contaminant and ease of cultivation. The sorption of indaziflam in the soils tested was influenced mainly by their pH values, in which soils with lower pH presented higher sorption. Although the increase in organic matter contents also resulted in an increase in sorption. Increased soil manure resulted in less intoxication of indicator plants and higher sorption of isoxaflutole in soil. The plants cultivated in the soil of clayey and with greater organic matter obtained higher values of dry matter and less of intoxication of plants, indicating that the organic matter and the clay have great role in the sorption of isoxaflutole. The bioassay technique proved to be efficient in the detection of herbicide residues in soils, especially the dry matter evaluation of plants. Other works must be carried out to elucidate the factors that may affect the sorption of these herbicides in the soil, in order to contribute to the sustainable use of pesticides.

INTRODUÇÃO GERAL

O uso de agrotóxicos é essencial para agricultura moderna, reduzindo perdas causadas por pragas, doenças e plantas daninhas. No entanto, seu uso generalizado e indiscriminado pode resultar em redução de eficiência produtiva e risco de contaminação ambiental.

Em todo mundo o uso de agrotóxicos é crescente, o mercado mundial de agrotóxicos praticamente dobra a cada dez anos (ANVISA e UFPR, 2012). No Brasil este mercado vinha crescendo em média 10% ao ano e entre 2002 e 2012 cresceu 190% e desde 2008 é o maior consumidor mundial destes produtos (Cassal et al., 2014). Os herbicidas representaram 45% do total de agrotóxicos comercializados (Cassal et al., 2014). No Brasil o aumento crescente no consumo dos herbicidas, se dá principalmente em razão da expansão da fronteira agrícola e do aumento de terras onde é praticado o plantio direto (Embrapa, 2014).

Grande parte dos agrotóxicos utilizados não atingem seu alvo, cerca de 99,9% têm potencial de transferência para os diferentes componentes ambientais (Dornelles e Oliveira, 2015), como nascentes, poços, açudes, lagos, rios, fauna e flora silvestres, solos explorados ou não para cultivo, a atmosfera e o homem.

Para o correto uso dos herbicidas é necessário conhecer suas interações com o solo, o seu destino final. Herbicidas como o isoxaflutole, que há anos vem sendo utilizado, ainda carecem de estudos mais específicos sobre o seu comportamento em alguns tipos de solo, sobre condições específicas, como em distintos valores de pH, matéria orgânica, ou mesmo CTC, quantidade e tipo de argila, visto que estudos tem apontado que seus resíduos tem causado danos a culturas cultivadas em sucessão e até mesmo danos ambientais (Yancheva et al., 2016).

Produtos recém introduzidos no mercado, como o caso do indaziflam, requerem ainda mais cuidado com seu uso, visto que este apresenta grande efeito residual, com sua meia vida ultrapassando 200 dias (Alonso et al., 2011) em certas condições de clima e solo. De forma que conhecer o comportamento deste produto no solo se torna essencial para sua correta utilização, buscando evitar contaminação ambiental ou até mesmo falhas no controle de plantas daninhas (Sebastian et al., 2016).

Para estudos de contaminação ambiental por herbicidas, é fundamental que se conheça os processos que influenciam o seu comportamento no solo. A molécula neste ambiente pode sofrer os processos de sorção e degradação; além ser absorvida pelas

plantas, lixiviada para as camadas subsuperficiais do solo, bem como sofrer escoamento superficial, podendo atingir respectivamente os cursos de água subterrâneos e superficiais (Lavorenti et al., 2003).

O processo de sorção corresponde à capacidade de retenção da molécula do agrotóxico à superfície do solo, sedimento ou outra matriz de interesse (Silva et al., 2016a). A sorção de herbicidas ao solo é influenciada pelo conteúdo e tipo de argila, teor e características da matéria orgânica e umidade do solo (Silva et al., 2014). A matéria orgânica apresenta acentuada capacidade de sorver diversos herbicidas (Silva et al., 2016b) e isto reduz a atividade biológica e a mobilidade dos compostos químicos aplicados ao solo (Lee e Farmer, 1989). Esta pronunciada reatividade é relacionada a sua elevada área superficial específica e presença de vários grupos funcionais, como carboxilas, hidroxilas, aminas e estruturas alifáticas e aromáticas (Kuckuk et al., 1997).

Para estudos de sorção é necessário a quantificação e identificação dos resíduos de herbicidas no solo, dentre as técnicas analíticas destacam-se o uso de radioisótopos e a cromatografia líquida e gasosa (Inoue et al., 2002). Alternativamente, utilizam-se espécies vegetais que apresentam alta sensibilidade ao herbicida de interesse (bioindicadores). As vantagens dos bioensaios são a sua simplicidade, versatilidade, alta sensibilidade (Navas et al., 2016), possibilidade de detecção de baixos níveis de metabólitos tóxicos que pode não ocorrer com métodos químicos e habilidade de quantificar apenas a fração biologicamente ativa do herbicida (Santos et al., 2013).

Objetivou-se, com o presente estudo, selecionar plantas indicadoras de solo contaminado com indaziflam e avaliar a sorção deste herbicida em cinco solos tropicais e, ainda, avaliar o efeito da adição de esterco na sorção do isoxaflutole em dois solos.

LITERATURA CITADA

- Alonso, D. G.; Koskinen, W. C.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Mislankar, S. Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 3096-3101, 2011.
- ANVISA; UFPR. Seminário de mercado de agrotóxico e regulação. Brasília: ANVISA. 2012. Disponível em: <<http://www.abrasco.org.br/UserFiles/File/ABRASCODIVULGA/2012/DossieAGT.pdf>> Acesso em: jul. 2017.
- Cassal, V. B.; Azevedo, L. F.; Ferreira, R. P.; Silva, D. G.; Simão, R. S. Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p.437-445, 2014.
- Dornelles, M. F.; Oliveira, G. T. Toxicity of atrazine, glyphosate, and quinclorac in bullfrog tadpoles exposed to concentrations below legal limits. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 1610-1620, 2015.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/975595/tecnologias-de-producao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2014> Acesso em: jun. 2017.
- Inoue, M. H.; Marchiori JR, O.; Oliveira JR, R. S.; Constantin, J.; Tormena, C. A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.
- Kuckuk, R.; Hill. W.; Nolte. J.; Davies, A. N. Preliminary investigations into the interactions of herbicides with aqueous humic substances. **Pesticide Science**, v. 51, p. 450-454, 1997.
- Lavorenti, A.; Prata, F.; Regitano, J. B. Comportamento de pesticidas em solos – fundamentos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 3, s/n, p. 335-400, 2003.
- Lee, D.; Farmer, W. J. Dissolved organic matter interaction with napropamide and four other nonionic pesticides. **Journal of Environmental Quality**, v. 18, s/n, p. 468-474, 1989.
- Navas, R.; Kanikadan, A. Y. S.; Silva, R. J. Avaliação da sustentabilidade de uma escola técnica agrícola por meio de indicadores. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 1, p. 94-100, 2016.
- Santos, D. P.; Braga, R. R.; Guimarães, F. A. R., Passos, A. B. R. J.; Silva, D. V.; Santos, J. B.; Nery, M. C. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 354-362, 2013.

Sebastian, D. J.; Nissen, S. J.; Westra, P.; Shaner, D. L.; Butters, G. Influência das propriedades do solo e da umidade do solo na eficácia da indaziflam e da flumioxazina em *Kochia scoparia* L. **Pest Management Science**, v. 73, n. 2, p. 444-451, 2016.

Silva, I. A.; Sousa, F. K. A.; Menezes, R. R.; Neves, G. A.; Santana, L. N. L.; Ferreira, H. C. Modification of bentonites with nonionic surfactants for use in organic-based drilling fluids. **Applied Clay Science**, v. 95, s/n, p. 371-377, 2014.

Silva, D. L.; Silva, A. V.; Ferreira, H. S. Estudo da sorção de tensoativos orgânicos em argilas bentoníticas. **Cerâmica**, v. 62, n. 363, p. 294-304, 2016a.

Silva, R. O.; Scorza JR., R. P.; Bonfá, M. R. L.; Campanari, M. F. Z.; Mendes, I. C. Degradation and sorption of fipronil and atrazine in Latossols with organic residues from sugarcane crop. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1172-1177, 2016b.

Yancheva, S.; Georgieva, L.; Kostova, M.; Halkoglu, P.; Dimitrova, M.; Naimov, S. Plant pigments content as a marker for herbicide abiotic stress in corn (*Zea mays* L.). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n. 5, p. 332-336, 2016.

SELEÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS INDICADORAS DE RESÍDUOS DE INDAZIFLAM NO SOLO

Resumo: Estudos referentes ao comportamento de herbicidas no solo (sorção, lixiviação e persistência) podem ser realizados utilizando métodos biológicos e químicos. Para utilização do método biológico é necessário selecionar espécies que apresentam, em baixas concentrações do herbicida, resposta de fácil quantificação em curto espaço de tempo. Nesta pesquisa foi quantificada a resposta de nove espécies vegetais (pepino, soja, feijão, beterraba, girassol, milho, sorgo, trigo e aveia) cultivadas em substrato inerte com diferentes concentrações de indaziflam. A resposta dessas espécies ao indaziflam (toxicidade) foi quantificada, aos 21 dias após semeio, por meio de avaliação visual do sintoma de intoxicação e do acúmulo de matéria seca das plantas. Assim, foi determinada a concentração de indaziflam que provoca 50% de intoxicação e redução no acúmulo de matéria seca das plantas avaliadas. Todas as espécies avaliadas mostraram-se sensíveis ao indaziflam, com sintomas caracterizados por redução no crescimento e clorose no limbo foliar que evoluiu para necrose, cuja intensidade varia em função da dose aplicada e da espécie vegetal. A espécie menos sensível foi o milho, enquanto o sorgo, trigo e aveia foram as mais sensíveis. Todavia, a facilidade de cultivo do sorgo e seu rápido crescimento, aliado a alta sensibilidade ao indaziflam, fazem com essa espécie seja mais indicada como planta teste para este herbicida. Conclui-se que sorgo, trigo e aveia podem ser utilizados para detectar resíduos de indaziflam em solos.

Palavras-chave: *Avena sativa*, bioensaios, bioindicador, herbicida no solo, *Sorghum bicolor*, *Triticum* spp

SELECTION OF VEGETABLE INDICATORS OF INDAZIFLAM RESIDUES IN SOIL

Abstract: Studies on the behavior of herbicides in the soil (sorption, leaching and persistence) can be performed using biological and chemical methods. To use the biological method it is necessary to select species that present, in low concentrations of the herbicide, an easily quantified response in a short period of time. In this research the response of nine plant species (cucumber, soybeans, bean, beet, sunflower, corn, sorghum, wheat and oats) was quantified in an inert substrate with different concentrations of indaziflam. The response of these species to indaziflam (toxicity) was quantified at 21 days after sowing by means of visual evaluation of the poisoning symptom and the accumulation of dry matter of the plants. Thus, the concentration of indaziflam that causes 50% of intoxication and reduction in the accumulation of dry matter of the evaluated plants was determined. All evaluated species were sensitive to indaziflam, with symptoms characterized by reduced growth and chlorosis in leaf limbus that evolved to necrosis, whose intensity varies according to the dose applied and the plant species. The most sensitive species was maize, while sorghum, wheat and oats were the most sensitive species. However, the ease of cultivation of sorghum and its rapid growth, coupled with high sensitivity to indaziflam, make this species more suitable as a test plant for this herbicide. It is concluded that sorghum, wheat and oats can be used to detect indaziflam residues in soils.

Key words: *Avena sativa*, bioassay, bioindicator, herbicide in the soil, *Sorghum bicolor*, *Triticum* spp

INTRODUÇÃO

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1H-inden-1-il]-6-[(1R)-1-fluoroetilo]-1,3,5-triazina-2,4-diamina) pertence ao grupo químico alkylazine e em espécies vegetais sensíveis inibe a biossíntese de celulose (Myers et al., 2009). Impede a formação da parede celular em células novas, interrompe o crescimento das plantas, sem, no entanto, afetar a síntese de polímeros de polissacáridos, indicando que a inibição provavelmente ocorre na etapa de reticulação de microfibrilas de celulose. A inibição da divisão celular do tecido meristemático, também, tem sido proposta como modo de ação secundário (Griffin, 2005). Segundo Kaapro e Hall (2012), a inibição da deposição de cristais na parede celular afeta a formação, a divisão e o alongamento celular, porém tecidos completamente desenvolvidos não são afetados. Assim, os sintomas em plantas sensíveis são caracterizados pela ausência de emergência e, se houver, o crescimento radicular é reduzido, levando a planta à redução do crescimento de parte aérea e consequente morte (Griffin, 2005).

No Brasil o indaziflam encontra-se registrado para uso em cana-de-açúcar, café, citros, pinos e eucalipto com aplicação em pré-emergência das plantas daninhas (MAPA, 2015).

As propriedades físico-químicas do indaziflam sugerem baixa sorção ao solo ($K_d = 4,9 - 27,4 \text{ g mL}^{-1}$), alta persistência ($T_{1/2} > 200$ dias) e é improvável que volatilize (pressão de vapor $5,1 \times 10^{-10} \text{ mm Hg}$ a 25°C) (EPA, 2010; Alonso et al., 2011). Alonso et al. (2011) avaliando sorção do indaziflam por cromatografia, afirma haver correlação positiva entre a sorção do indaziflam e teor de matéria orgânica de vários solos brasileiros, classificando-o com moderado potencial de lixiviação (Alonso et al., 2011). No entanto, são poucos os estudos com indaziflam em solos tropicais realizados com técnicas biológicas.

Diversas técnicas se destacam na identificação e quantificação de herbicidas no solo, como espectrometria de massa, radioisótopos e cromatografia líquida e gasosa (Inoue et al., 2002; Nunes e Vidal, 2009). Alternativamente, são usados os bioensaios, mais simples e menos onerosos. Para tal, são usadas espécies vegetais de fácil cultivo, alta taxa de crescimento (permitindo rápida visualização dos sintomas ocorridos), alta sensibilidade ao contaminante, ampla distribuição geográfica (para que as espécies possam ser utilizadas como indicadoras em outros locais de estudo) e homogeneidade genética (padroniza as respostas obtidas) (Souza, 1999; Nunes e Vidal, 2009).

Normalmente, essas características são encontradas em espécies anuais cultivadas, visto que os programas de melhoramento genético selecionam tais características.

Além da simplicidade, versatilidade e alta sensibilidade, os bioensaios possibilitam detecção de metabólitos tóxicos que podem não ser detectados por métodos químicos (Santos et al., 2013) e apresentam a habilidade de estimar apenas a fração biologicamente ativa do herbicida, o que tem aplicabilidade direta em condições de campo (Kotoula-Syka et al., 1993; Stork e Hannah, 1996). Contudo, os resultados apresentados são semiquantitativos e necessitam de curvas de calibração para cada herbicida, cada espécie indicadora e cada substrato utilizado (Beyer et al., 1988). Essa técnica continua sendo muito utilizada em estudos de persistência, dissipação, lixiviação, atividade biológica e dose-resposta de herbicidas em solos (Nunes e Vidal, 2017; Pereira et al., 2017; Silva et al., 2017).

Tem se usado diversas espécies como indicadoras de resíduos de indaziflam no solo, como pepino (Guerra et al., 2016a), azevém (Jhala et al., 2012), beterraba e soja (Guerra et al., 2016b). Guerra et al. (2014) apontaram como indicadores de indaziflam a soja, o sorgo, o milho, o pepino e a beterraba. No entanto, em seu trabalho as plantas de sorgo, milho, beterraba e pepino não germinaram mesmo em solo que recebeu a menor dose testada, 20 g i.a, ha⁻¹, o que torna inconsistente a definição do C₅₀ e, conseqüentemente, a definição da melhor indicadora entre as mesmas. A definição da melhor planta e da melhor característica da planta indicadora é importante para padronizar os resultados e definir a planta mais sensível ao produto estudado, possibilitando detectar pequenas quantidades de resíduos.

Com base no exposto, objetivou-se, com este estudo, selecionar espécies indicadoras e características destas plantas que facilitem a detecção de resíduos de indaziflam no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado em casa de vegetação no campus da Universidade Federal de Viçosa, no delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com quatro repetições. Os fatores foram as nove plantas e as 10 doses do herbicida.

As espécies vegetais *Cucumis sativus* (pepino), *Glycine max* (soja), *Phaseolus vulgaris* (feijão), *Beta vulgaris* (beterraba), *Helianthus annuus* (girassol), *Zea mays*

(milho), *Sorghum bicolor* (sorgo), *Triticum* spp. (trigo) e *Avena sativa* (aveia) foram cultivadas em substrato inerte contendo diferentes concentrações de indaziflam (0; 0,06; 0,12; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5 e 10 g ha⁻¹), visto que o fabricante recomenda até 120 g i.a. ha⁻¹.

As plantas foram cultivadas em substrato inerte (areia lavada). Para a obtenção desta, a areia (0,05 mm a 2 mm) foi lavada em água corrente, para retirada das impurezas; posteriormente incubada em ácido sulfúrico diluído (10%) por 24 horas. Em seguida, procedeu-se a nova lavagem do material em água corrente, até completa eliminação do resíduo ácido, seguido pela correção do pH final para neutralidade, por meio da adição controlada de solução de hidróxido de sódio. Terminado o processo, a areia foi seca ao sol.

Vasos de polietileno com fundos vedados, com capacidade para 100 cm³, foram preenchidos com 100 g do substrato inerte. Em seguida, com auxílio de um pulverizador costal equipado uma barra contendo duas pontas de pulverização 8002, pressurizado a CO₂, calibrado na pressão 3 bar, aplicando o equivalente a 100 L ha⁻¹ de calda, realizou-se a aplicação das diferentes doses de indaziflam em cada vaso. Após a aplicação do herbicida, o substrato de cada vaso foi colocado em um saco de polietileno para facilitar homogeneização do herbicida. Logo após incorporação do produto ao substrato, o material foi devolvido ao vaso e na sequência semeadas 10 sementes de cada espécie indicadora por vaso a uma profundidade de 1 cm.

Após a semeadura, os vasos foram irrigados diariamente de acordo com a necessidade e a cada três dias foram realizadas irrigações com solução balanceada e completa de macro e micronutrientes, com as seguintes concentrações (mg L⁻¹): macronutrientes: 182 de N-NO₃; 42 de N-NH₄; 31 de P; 195 de K; 120 de Ca; 48 de Mg; 64 de S-SO₄; e micronutrientes: 0,5 de B; 0,02 de Cu; 5,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn e 0,01 de Mo da mesma forma para todas as espécies (Salvador et al., 1999).

Aos 21 dias após a emergência das plantas (DAE) foram realizadas avaliações da percentagem de intoxicação, com notas variando de 0 a 100%, em que zero implica ausência de sintomas e cem a morte das plantas (SBCPD, 1995). As plantas que sobreviveram à ação do herbicida foram colhidas, lavadas em água corrente e separadas em parte aérea e raízes, levadas a estufa com circulação forçada de ar a 72°C, até massa constante, para determinação da matéria seca das raízes, parte aérea e total. Os dados de acúmulo de matéria seca foram convertidos em percentagem (proporção relativa às testemunhas, que receberam valor de 100%).

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos considerando-se a significância dos coeficientes de regressão e o significado biológico. Foram determinadas regressões não lineares, utilizando-se o modelo exponencial de dois parâmetros $\{Y=a*[1-e^{(-bX)}]$ e $Y=a*e^{(-bX)}\}$. Onde, “Y” é a variável resposta; “a” é o coeficiente angular; “X” é a variável explicativa; “b” é o coeficiente exponencial do valor de inserção da equação no gráfico produzido entre a variável explicativa e a variável resposta. A partir das equações estabeleceu-se o C_{50} (dose necessária para redução de 50% da característica) e foram definidas as espécies vegetais mais sensíveis ao indaziflam.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as espécies utilizadas no ensaio mostraram-se sensíveis ao indaziflam (Figura 1 e Tabela 1). As plantas exibiram sintomas caracterizados pela inibição da germinação, redução de crescimento e clorose no limbo foliar que evoluiu para necrose, sendo a intensidade variável, em função da espécie avaliada e dose aplicada (Figura 2 e 3). Todas as espécies vegetais, monocotiledôneas ou dicotiledôneas, tendem a sofrer ação do indaziflam em função de sua ação na inibição da biossíntese de celulose e redução da formação de novos tecidos, em especial da parede celular, de forma que plantas já estabelecidas sofrem menor ação por já apresentar tecidos desenvolvidos (Brabham et al., 2014).

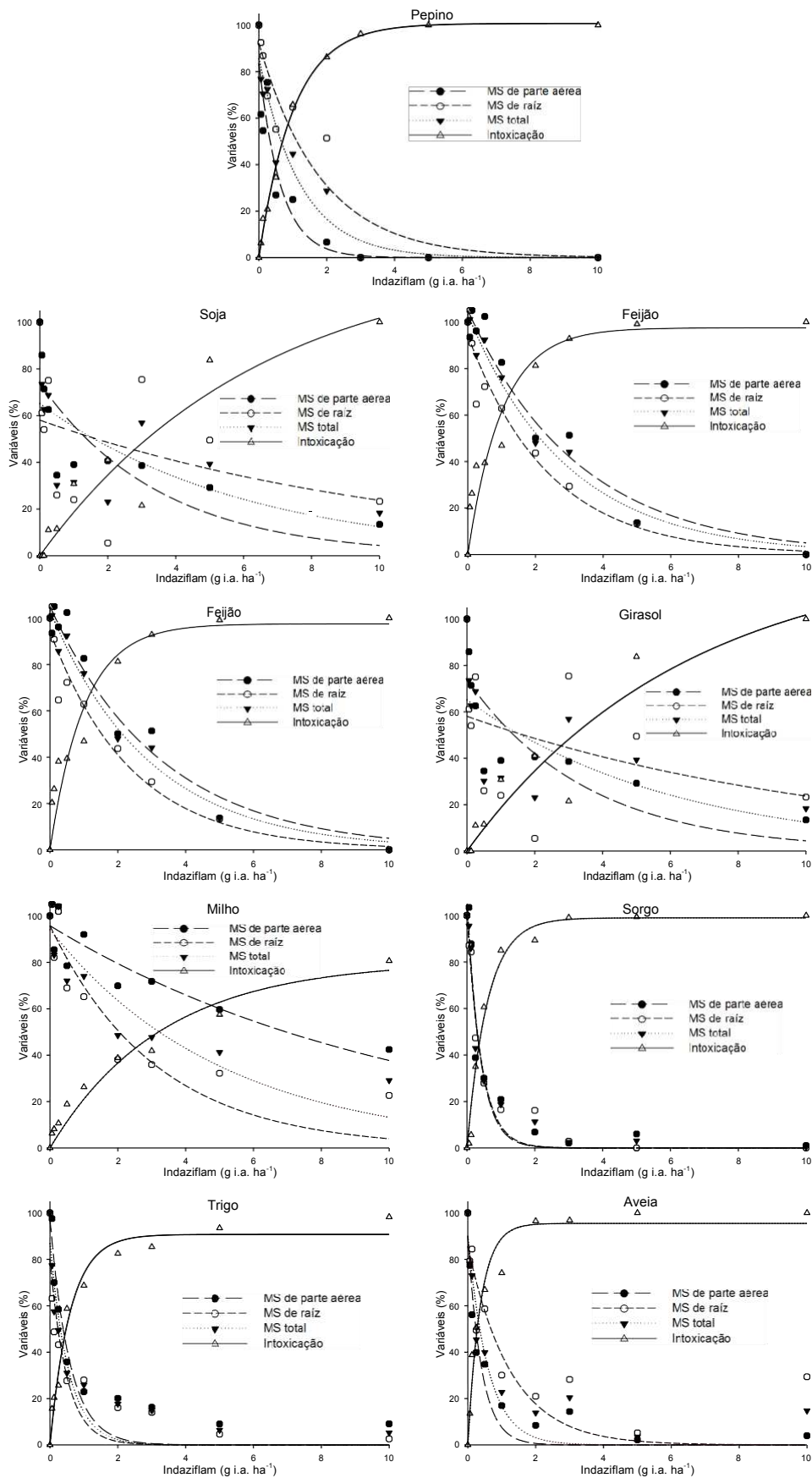


Figura 1. Percentagem, em relação à testemunha, de matéria seca de parte aérea, raízes, total e intoxicação de espécies vegetais cultivadas por 21 dias em substrato inerte tratado com indaziflam.

Tabela 1. Equações e coeficiente de determinação (R^2) das curvas apresentadas na Figura 1

	Avaliação	Equações	R²
Pepino	Matéria seca de parte aérea	$Y=83,53*e^{(-1,5501X)}$	0,89
	Matéria seca de raiz	$Y=92,19*e^{(-0,5459X)}$	0,90
	Matéria seca total	$Y=85,60*e^{(-0,8207X)}$	0,93
	Intoxicação	$Y=99,72*[1-e^{(-1,9968X)}]$	0,99
Soja	Matéria seca de parte aérea	$Y=73,96*e^{(-0,2833X)}$	0,66
	Matéria seca de raiz	$Y=58,10*e^{(-0,0897X)}$	0,13
	Matéria seca total	$Y=65,23*e^{(-0,1657X)}$	0,39
	Intoxicação	$Y=128,84*[1-e^{(-0,1560X)}]$	0,90
Feijão	Matéria seca de parte aérea	$Y=105,05*e^{(-0,3054X)}$	0,96
	Matéria seca de raiz	$Y=94,31*e^{(-0,4165X)}$	0,94
	Matéria seca total	$Y=103,21*e^{(-0,3404X)}$	0,98
	Intoxicação	$Y=97,53*[1-e^{(-0,9941X)}]$	0,92
Beterraba	Matéria seca de parte aérea	$Y=67,34*e^{(-0,1707X)}$	0,59
	Matéria seca de raiz	$Y=55,73*e^{(-0,01682X)}$	0,39
	Matéria seca total	$Y=61,54*e^{(-0,1695X)}$	0,49
	Intoxicação	$Y=75,07*[1-e^{(-2,2771X)}]$	0,84
Girassol	Matéria seca de parte aérea	$Y=85,39*e^{(-0,2350X)}$	0,87
	Matéria seca de raiz	$Y=73,99*e^{(-0,3011X)}$	0,66
	Matéria seca total	$Y=79,41*e^{(0,2572-X)}$	0,79
	Intoxicação	$Y=100,60*[1-e^{(-0,4363X)}]$	0,98
Milho	Matéria seca de parte aérea	$Y=95,79*e^{(-0,0933X)}$	0,84
	Matéria seca de raiz	$Y=95,76*e^{(-0,3182X)}$	0,86
	Matéria seca total	$Y=94,15*e^{(-0,1963X)}$	0,83
	Intoxicação	$Y=80,43*[1-e^{(-0,3037X)}]$	0,96
Sorgo	Matéria seca de parte aérea	$Y=107,47*e^{(-2,5473X)}$	0,95
	Matéria seca de raiz	$Y=100,92*e^{(-2,3671X)}$	0,97
	Matéria seca total	$Y=104,31*e^{(-2,4613X)}$	0,96
	Intoxicação	$Y=99,00*[1-e^{(-1,6719X)}]$	0,98
Trigo	Matéria seca de parte aérea	$Y=0,9734*e^{(-1,7162X)}$	0,91
	Matéria seca de raiz	$Y=80,27*e^{(-2,0087X)}$	0,83
	Matéria seca total	$Y=86,87*e^{(-1,8204X)}$	0,89
	Intoxicação	$Y=90,75*[1-e^{(-1,6804X)}]$	0,98
Aveia	Matéria seca de parte aérea	$Y=90,23*e^{(-2,4783X)}$	0,93
	Matéria seca de raiz	$Y=85,66*e^{(-0,7897X)}$	0,77
	Matéria seca total	$Y=89,81*e^{(-1,6745X)}$	0,89
	Intoxicação	$Y=95,51*[1-e^{(-2,7032X)}]$	0,96



Figura 2. Efeito de doses de indaziflam (g i.a. ha⁻¹) no crescimento de raízes de sorgo cultivado em substrato inerte.

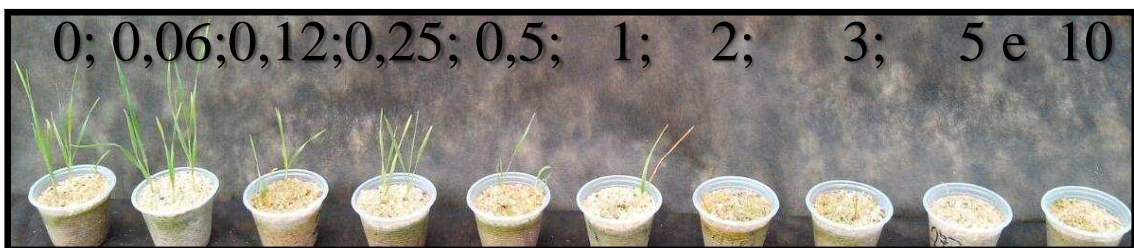


Figura 3. Efeito de doses de indaziflam (g i.a. ha⁻¹) no crescimento de parte aérea de sorgo cultivado em substrato inerte.

Entre as espécies testadas, a mais tolerante ao indaziflam foi o milho, que mesmo com a aplicação da maior dose (10 g ha⁻¹), não foi observada morte de planta. Embora tenha causado redução de mais de 80% no acúmulo da matéria seca de raízes (Figura 1 e Tabela 1). Guerra et al. (2014) também encontraram menor sensibilidade do milho ao indaziflam, comparado às demais espécies testadas. No entanto, a sensibilidade ainda pode ser considerada alta, visto que 7,0 g ha⁻¹, que corresponde a menos de 10% da dose comercial, foi suficiente para reduzir metade do acúmulo de matéria seca de parte aérea desta espécie.

Na avaliação de intoxicação de plantas, as espécies mais sensíveis, menor C₅₀, foram a aveia, o pepino, o sorgo, o trigo, a beterraba e o feijão, enquanto para matéria seca de parte aérea foram aveia, o pepino, o sorgo e o trigo e, para matéria seca de raízes o trigo, o sorgo, a aveia e a beterraba (Tabela 2). Jeffries et al. (2014), simulando deriva com aplicação de 1,8 g ha⁻¹ de indaziflam observaram injúrias a taxas de 20% em pimentão e reduções de matéria seca de parte aéreas de 52% em soja e 43% em pimentão, além de 20% de redução da biomassa de raízes de algodão, pimentão, soja e

tomate. Guerra et al. (2013) relataram que o sorgo, a soja, o girassol e o pepino têm elevada sensibilidade ao indaziflam.

Tabela 2. Dose de indaziflam (g i.a. ha⁻¹) responsável por reduzir em 50% a intoxicação e o acúmulo de matéria seca (C₅₀) de parte aérea, raízes e total para as diferentes espécies avaliadas.

Característica avaliada	Espécies vegetais								
	Pepino	Soja	Feijão	Beterraba	Girassol	Milho	Sorgo	Trigo	Aveia
Matéria seca de parte aérea	0,33	1,38	2,42	1,72	2,27	6,95	0,30	0,38	0,24
Matéria seca de raiz	1,09	1,64	1,52	0,63	1,29	2,03	0,30	0,24	0,67
Matéria seca total	0,65	1,60	2,11	1,21	1,80	3,20	0,30	0,30	0,35
Intoxicação de plantas	0,35	3,16	0,73	0,48	1,57	3,20	0,42	0,47	0,27

As plantas mais sensíveis considerando a matéria seca total foram o sorgo, o trigo e a aveia (Tabela 2). Segundo Jhala et al. (2012) em *Lolium multiflorum* 3,65 e 14,62 g ha⁻¹ de indaziflam são suficientes para inibir a taxa de germinação da espécie em 70 e 90%, respectivamente. Sendo que doses maiores do que 29,2 g ha⁻¹ inibem completamente a germinação de sementes de azevém.

O sorgo, o trigo e a aveia estão sempre entre as plantas mais sensíveis, independente da dose testada ou da característica avaliada, o que indica o potencial destas espécies para uso como indicadores de resíduos de indaziflam. As plantas monocotiledôneas são relatadas como mais sensíveis ao indaziflam (Myers et al., 2009). O que ratifica a escolha do sorgo, do trigo e da aveia como espécies indicadoras de resíduos deste herbicida no solo. Amim et al. (2014) também relataram que o indaziflam controla melhor gramíneas que plantas de folha larga. Esses resultados corroboram os observados por Kaapro e Hall (2012), os quais mostraram maior controle de espécies da gramíneas em relação às de folha larga pelo indaziflam em cultivos de pinus e eucalipto na Austrália.

O sorgo é usado em estudos como indicador de resíduos de herbicidas (Braga et al., 2016) por apresentar, além de grande sensibilidade aos mesmos, facilidade de cultivo, alta taxa de crescimento de raízes e parte aérea, resistência a pragas e doenças, fácil aquisição de sementes e tolerância a diversas condições abióticas, possibilitando o cultivo em diferentes ambientes e estações do ano.

Dentre as diversas características avaliadas, a matéria seca de parte aérea se mostra a característica mais promissora dentre as demais características. Pois apresenta maior praticidade para avaliação e mesma sensibilidade ao indaziflam, evitando erros no

processo de lavagem das raízes, pois pequenas porções de substrato podem ficar aderidas às raízes. Jeffries et al. (2014) mostram que a redução de matéria seca de parte aérea, raiz, altura de plantas e injúrias das plantas são a taxas semelhantes, comprovando comportamento análogo entre os órgãos das plantas testadas neste estudo.

CONCLUSÃO

O sorgo, a aveia e o trigo são espécies indicadas para detecção de resíduo do indaziflam em solos.

Recomenda-se a planta de sorgo, com ênfase a avaliação de matéria seca de parte aérea para bioensaios que busquem detecção de resíduos de indaziflam em solos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelas bolsas de estudo concedidas, auxílio financeiro e concessão da estrutura para realização do projeto.

LITERATURA CITADA

- Alonso, D. G.; Koskinen, W. C.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Mislankar, S. Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 3096-3101, 2011.
- Amim, R. T.; Freitas, S. P.; Freitas, I. L. J.; Gravina, G. A.; Paes, H. M. F. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 791-800, 2014.
- Beyer, E. M.; Duffy, M. J.; Hay, J. V.; Schlueter, D. D. **Sulfunylureia**. In: Kearney, P. C; Kaufman, D. D. (eds). *Herbicides: chemistry, degradation, and mode of action*. New York: M. Dekker, 1988. p. 117-189.
- Brabham, C.; Lei, L.; Gu, Y., Stork, J.; Barrett, M.; Debolt, S. Indaziflam herbicidal action: a potent cellulose biosynthesis inhibitor. **Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 1177-1185, 2014.

Braga, D. F.; Freitas, F. C. L.; Rocha, P. R. R.; Araújo, A. G. D.; Melo, V. C. Leaching of sulfentrazone in soils from the sugarcane region in the northeast region of Brazil. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 161-169, 2016.

EPA - U. S. Environmental Protection Agency. Indaziflam Fact Sheet. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency PC Code 080818. 2010. 32p.

Griffin, J. L. **Inhibition of cell wall synthesis**. In: Griffin, J. L. Weed course. 2005, p. 150-153.

Guerra, N.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Oliveira Neto, A. M.; Braz, G. B. P. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: Seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.

Guerra, N.; Oliveira Neto, A. M.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Takano, H. K. Sensibility of plant species to herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 609-617, 2014.

Guerra, N.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Oliveira Neto, A. M.; Gemelli, T. M. C. J.; Guerra, A. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 42-53, 2016a.

Guerra, N.; Oliveira Júnior, R. S.; Constantin, J.; Oliveira Neto, A. M.; Gemelli, T. M. C. J.; Guerra, A. Persistence of biological activity and leaching potential of herbicides aminocyclopyrachol and indaziflam in soils with diferente textures. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 345-355, 2016b.

Inoue, M. H.; Marchiori JR., O. I.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Tormena, C. A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.

Jhala, A. J.; Ramirez, A. H. M.; Singh, M. Leaching of indaziflam applied of two rates under different rainfall situations in Florida Candler Soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 88, n. 3, p. 326-332, 2012.

Jeffries, M. D.; Mahoney, D. J.; Gannon, T. W. Effect of Simulated Indaziflam Drift Rates on Various Plant Species. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 608-616, 2014.

Kaapro, J.; Hall, J. Indaziflam, a new herbicide for preemergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal of Weed Sciences Research**, v. 18, n. esp., p. 267-270, 2012.

Kotoula-Syka, E.; Eleftherohorinos, I. G.; Gagianas, A. A.; Sficas, A. G. Phytotoxicity and persistence of chlorsulfuron, metsulfuronmethyl, triasulfuron and tribenuron-methyl in three soils. **Weed Research**, v. 33, n. 5, p. 355–367, 1993.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Agrofit 2002: sistema de informação. Brasília, 2015. Disponível em: <http://agricultura.gov.br/agrofit>. Acesso em: abr. 2017.

Myers, D. F.; Brosnan, J. T.; Breeden, G. K.; Cooper, T.; Beck, L. L.; Straw, C. M. Indaziflam/BCS AA170717 – A new herbicide for preemergent control of grasses and broadleaves in turf and ornamentals. **Southern Weed Science Society**, v. 62, s/n, p. 393-393, 2009.

Nunes, A. L.; Vidal, R. A. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais.

Pesticidas: Revista ecotoxicologica e meio ambiente, v. 19, n. 1, p. 19-28, 2009.

Nunes, A. L.; Vidal, R. A. Lixiviação do herbicida imazaquin associado ao paraquat ou glyphosate em plantio direto. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 116, n. 1, p. 63-67, 2017.

Pereira, G. A. M.; Barcellos JR., L. H.; Gonçalves, V. A.; Silva, D. V.; Silva, A. A. Clomazone leaching estimate in soil columns using the biological method. **Planta Daninha**, v. 35, s/n, e017163378, 2017.

Salvador, J. O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agricola**, v. 56, s/n, p. 501-507, 1999.

Santos, D. P.; Braga, R. R.; Guimarães, F. A. R.; Passos, A. B. R. J.; Silva, D. V.; Santos, J. B.; Nery, M. C. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 354-362, 2013.

SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. SBCPD, 1995. 42p.

Silva, M. M.; Santos, J. B.; Ferreira, E. A.; Brito, O. G.; Donato, L. M. S.; Santos, M. V. Forage plants and weeds that are sensitive to atmospheric clomazone residuals. **Planta Daninha**, v. 35, s/n, e017165078, 2017.

Souza, A. P.; Prates, H. T.; Ferreira, F. A.; Reis, E. L.; Jordão, C. P. Lixiviação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. II. Método analítico. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 245-262, 1999.

Stork, P.; Hannah, M. C. A. Bioassay method for formulation testing and residue studies of sulfonylurea and sulfonanylide herbicides. **Weed Research**, v. 36, n. 3, p. 271–281, 1996.

SORÇÃO DO HERBICIDA INDAZIFLAM EM SOLOS TROPICAIS

RESUMO: O indaziflam é um ingrediente ativo registrado, recentemente, no Brasil para o controle de plantas daninhas em culturas perenes. Para seu correto uso é necessário conhecer sua dinâmica no solo, sendo a sorção um dos principais fatores, que influencia a atividade dos herbicidas. Como existem poucas informações disponíveis no que refere à sorção de indaziflam, em solos tropicais, objetivou-se neste trabalho caracterizar a sorção de indaziflam em cinco solos brasileiros. Avaliou-se, pelo método do bioensaio, a dose de indaziflam capaz de reduzir em 50% o acúmulo de matéria seca da planta indicadora (C_{50}), sorgo, por meio de um experimento em delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial em 6×10 , sendo cinco solos (três Argissolos Vermelho-Amarelos de Taquaritinga/SP, Oratórios/MG e Viçosa/MG, um Latossolo Vermelho-Eutrófico de Paulínia/SP e um Latossolo Vermelho-Distrófico de Uberlândia/MG) e em substrato inerte (areia lavada) e dez doses de indaziflam. Como resultado da inibição da síntese de celulose e paralisação no crescimento de tecidos meristemáticos provocados pelo indaziflam, observou-se redução do crescimento e em menor intensidade clorose e necrose nos ápices das folhas de sorgo. O solo de maior C_{50} e, conseqüentemente, maior sorção foi o Latossolo Vermelho-Distrófico de Uberlândia, por este apresentar menor valor de pH e o maior valor de matéria orgânica, seguido dos Argissolos Vermelho-Amarelos e apresentando menor valor de sorção o Latossolo Vermelho-Eutrófico de Paulínia, que apresentou o maior valor de pH entre os solos estudados. O pH é o atributo que mais tem influência na sorção do indaziflam, seguido pelo teor de matéria orgânica. A quantidade de argila e a CTC dos solos apresentara baixa correlação com a sorção do indaziflam. Conclui-se que a sorção de indaziflam é aumentada com a redução do pH e aumento do teor de matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: bioindicador, herbicida no solo, matéria orgânica, *Sorghum bicolor*

SORPTION OF THE INDAZIFLAM HERBICIDE IN TROPICAL SOIS

Abstract: Indaziflam is an active ingredient recently registered in Brazil for the control of weeds in perennial crops. For its correct use it is necessary to know how is the soil dynamics, sorption being one of the main factors, that influences the activity of the herbicides in the same. As there is little information available on the sorption of indaziflam in tropical soils, this study aimed to characterize indaziflam sorption in five Brazilian soils. The indaziflam dose was able to reduce the accumulation of dry matter of the indicator plant (C50), sorghum by 50% by means of a completely randomized design experiment, in a factorial scheme in 6x10. five soils (three Red-Yellow Argissolos of Taquaritinga / SP, Oratórios / MG and Viçosa / MG, Red-Eutrophic Latosol of Paulínia / SP and Red-Dystrophic Latosol of Uberlândia / MG) and in inert substrate (sand) and ten indaziflam. As a result of the inhibition of cellulose synthesis and paralysis in the growth of meristematic tissues caused by indaziflam, it was observed a reduction of the growth and to a lesser extent chlorosis and necrosis in the apices of sorghum leaves. The soil of higher C50 and, consequently, higher sorption was the Red-Dystrophic Latosol of Uberlândia, due to its lower pH value and the higher value of organic matter, followed by the Red-Yellow Argisols and presenting lower sorption value the Red Latosol -Eutrophic of Paulinia, which presented the highest pH value among the studied soils. PH is the most influential attribute in indaziflam sorption, followed by the organic matter content. The amount of clay and the CTC of the soils will have low correlation with indaziflam sorption. It is concluded that indaziflam sorption is increased by reducing the pH and increasing the organic matter content of the soil.

Key words: Bioindicator, herbicide in the soil, organic matter, *Sorghum bicolor*

INTRODUÇÃO

Para o correto uso de herbicidas, principalmente, os pré-emergentes, é necessário saber como estes se comportam em seu destino, o solo, pois podem influenciar na eficiência do controle de plantas daninhas e contaminar o meio ambiente (Alonso et al., 2011). Os processos de sorção-dessorção são, indiscutivelmente, os mais importantes, determinando a quantidade de pesticidas/metabólitos, que atingem os organismos alvos e os montantes que podem ser volatilizados, degradados e, ou lixiviados (Bittencourt et al., 2016; Soares et al., 2017). A sorção é dependente das propriedades químicas e físico-químicas do solo (Rice et al., 2004), sendo que o teor de matéria orgânica, argila e pH do solo são os principais fatores que a influenciam, além de conteúdo e tipo de argila, que podem ser cruciais no processo de sorção (Fast, 2010; Silva et al., 2014).

O indaziflam (N-[(1R, 2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine) é ingrediente ativo registrado para uso no Brasil, da nova classe dos "alkylazine", que atua sobre o crescimento do meristema e inibe a biossíntese de celulose (CBI), resultando em clorose e necrose dos tecidos e, posteriormente, a morte das plântulas.

Culturas perenes e áreas não agrícolas recebem aplicação do indaziflam para o controle de gramíneas quanto de folha larga, em pré ou pós-emergência inicial (Meyer et al., 2009; Brosnan et al., 2011; Perry et al., 2011; Brosnan et al., 2012). Recém-registrado no Brasil, com taxas de aplicação que variam entre 75 e 100 g i.a. ha⁻¹, controla plantas daninhas em cana-de-açúcar, café, citros, pinos e eucalipto (MAPA, 2015).

No campo, ainda não foram relatados casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas inibidores da biossíntese de celulose, evidenciando seu potencial para manejo de plantas daninhas em rotação com herbicidas de outros mecanismos de ação (Heap, 2014). Ademais, a aplicação em mistura no tanque para herbicidas de amplo espectro, como o glyphosate, proporciona prolongado efeito no manejo de plantas daninhas, sendo uma opção adicional para os produtores no controle de plantas daninhas de largo espectro, e prevê-se que o uso de indaziflam será significativo no futuro próximo (Jeffries et al., 2014).

A meia-vida do indaziflam pode ser maior que 200 dias (USEPA, 2010; Alonso et al., 2011), interferindo na eficácia desta aplicação (Brosnan et al., 2011). Diversos fatores ajudam a prever a mobilidade do indaziflam, como a solubilidade em água de $2,8 \text{ mg L}^{-1}$ (a 20°C), o valor Koc menor que 1.000 mL g^{-1} , Kd entre $4,9\text{-}27,4 \text{ g mL}^{-1}$, pressão de vapor $5,1 \times 10^{-10} \text{ mm Hg}$ a 25°C (Tompkins, 2010; USEPA 2010; Alonso et al., 2011) e $pka = 3,5$ (Tompkins, 2010). Sugerindo baixa volatilidade, moderada a alta sorção ao solo, alta persistência e baixa mobilidade (Jeffries et al., 2014), embora a mobilidade de seus produtos de degradação (ácido indaziflam-carboxílico, fluoroethyldiaminotriazine e fluoroethyltriazinanedione) possa ser mais alta (USEPA, 2010).

O indaziflam é tratado como herbicida derivado de ácido fraco (USEPA, 2010; Alonso, et al., 2011; Alonso et al., 2012). No entanto, Trigo et al. (2014a) relatam que pequena parte das moléculas de indaziflam podem se dissociar e permanecer no solo, em forma de moléculas catiônicas, característica de uma base fraca (Jeffries et al., 2014; Trigo et al., 2014b). Portanto, embora parte das moléculas de indaziflam possa se comportar como uma base fraca, em determinadas condições, nas faixas de pH entre 5,4 a 6,5, ele é substancialmente ionizado (Alonso et al., 2011), o que evidencia seu comportamento como um ácido fraco na maioria dos solos cultivados.

Entre as poucas informações disponíveis no que refere à sorção do indaziflam, estão aquelas que constam na bula do produto (Bayer, 2010), que o caracteriza como um herbicida de baixa a média mobilidade no solo, e os trabalhos de Trigo et al. (2014a) com alguns solos arenosos e Alonso et al. (2016) que analisa a sorção do herbicida em seis oxissolos brasileiros e três molissolo norte-americanos. Visto o pouco conhecimento sobre o comportamento deste herbicida no solo, este estudo teve como objetivo caracterizar a sorção de indaziflam, em cinco solos tropicais, pelo método do bioensaio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa. Avaliou-se, pelo método do bioensaio, a dose do indaziflam capaz de reduzir em 50% o acúmulo de matéria seca da planta indicadora (C_{50}), em cinco solos, e em

substrato inerte (areia). O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 6x10, com seis substratos e nove doses do indaziflam (0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 20,0; 60,0 g i.a. ha⁻¹) mais uma testemunha sem herbicida e quatro repetições.

Foram utilizados solos de regiões com potencial para uso do indaziflam, sendo três Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) dos municípios de Taquaritinga/SP, Oratórios/MG e Viçosa/MG; um Latossolo Vermelho-Eutrófico (LVef) de Paulínia/SP e um Latossolo Vermelho-Distrófico (LVd) proveniente de Uberlândia/MG. Os solos foram coletados na profundidade de 0 a 20 cm, secos à sombra e peneirados em malha de 4 mm, posteriormente, estes foram caracterizados física e quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização física e química das amostras dos solos utilizadas no experimento. Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA); Latossolo Vermelho-Eutrófico (LVef) e Latossolo Vermelho-Distrófico (LVd)

Análise física															
Solo	Areia			Silte			Argila			Classe textural					
	(Dag Kg ⁻¹)														
LVef – Paulínia/SP	36,5			11,3			52,2			Argila					
PVA – Taquaritinga/SP	77,5			4,4			18,1			Franco arenoso					
PVA – Oratórios/MG	68,1			9,9			22,0			Franco argilo arenoso					
PVA – Viçosa/MG	26,7			15,3			58,0			Argila					
LVd – Uberlândia/MG	48,3			0,1			51,6			Argila arenosa					
Análise química															
Solo	pH	P	K	Ca	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem	
	-(H ₂ O)-	-(mg dm ⁻³)-	----- (Cmol _c dm ⁻³) -----								---(%)---	-(dag kg ⁻¹)-	-(mg L ⁻¹)-		
LVef – Paulínia/SP	5,82	10,0	135	1,9	0,79	0,29	6,1	3,1	3,3	9,2	33,3	8,7	2,30	23,9	
PVA – Taquaritinga/SP	5,33	4,8	48	2,7	1,12	0,00	2,6	3,9	3,9	6,5	60,2	0,0	1,54	38,8	
PVA – Oratórios/MG	5,33	15,4	29	1,7	0,62	0,10	3,1	2,4	2,6	5,5	43,1	4,1	1,28	41,1	
PVA – Viçosa/MG	5,02	35,4	93	12,4	1,53	0,00	3,5	14,1	14,1	17,6	80,2	0,0	2,43	29,1	
LVd – Uberlândia/MG	4,85	5,8	11	3,5	0,95	0,00	3,1	4,5	4,5	7,6	59,0	0,0	3,84	25,3	

Para obtenção do substrato inerte, a areia (0,05 mm a 2 mm) foi lavada em água corrente, para retirada das impurezas; posteriormente incubada em ácido sulfúrico diluído (10%) por 24 horas. Em seguida, procedeu-se a nova lavagem do material em água corrente, até completa eliminação do resíduo ácido, seguido pela correção do pH

final para neutralidade (pH 7), por meio da adição controlada de solução de hidróxido de sódio. Terminado o processo, a areia foi seca ao sol.

Para aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador pressurizado com CO₂ e equipado com uma barra com duas pontas TT 11002 espaçados de 0,50 m, permitindo a aplicação de 100 L ha⁻¹. Os vasos foram irrigados diariamente e a cada três dias foram realizadas irrigações com solução balanceada e completa de macro e micronutrientes, com as seguintes concentrações (mg L⁻¹): macronutrientes: 182 de N-NO₃; 42 de N-NH₄; 31 de P; 195 de K; 120 de Ca; 48 de Mg; 64 de S-SO₄; e micronutrientes: 0,5 de B; 0,02 de Cu; 5,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn e 0,01 de Mo da mesma forma para todas as espécies (Salvador et al., 1999).

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 100 cm³, preenchidos com 100 g dos substratos. Eles foram irrigados e, em seguida, ocorreu a aplicação do indaziflam e a incorporação do herbicida, no dia seguinte dez sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) foram semeadas, como planta indicadora.

Aos 21 dias após a emergência, as plantas foram cortadas rente à superfície do substrato e a raiz lavada para remoção do substrato a esta aderido. O material foi levado a estufa com circulação forçada de ar a 72°C, até massa constante, para determinação da matéria seca total.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos considerando-se a significância dos coeficientes de regressão e o significado biológico. Foram determinadas regressões não lineares, utilizando-se o modelo exponencial de dois parâmetros { $Y=a*[1-e^{(-bX)}]$ e $Y=a*e^{(-bX)}$ }. Onde, “Y” é a variável resposta; “a” é o coeficiente angular; “X” é a variável explicativa; “b” é o coeficiente exponencial do valor de inserção da equação no gráfico produzido entre a variável explicativa e a variável resposta. A partir das equações determinou-se o C₅₀ (dose necessária para redução de 50% da variável analisada).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal sintoma provocado pelo indaziflam, nas plantas de sorgo, foi a redução do crescimento e, em menor intensidade, clorose e necrose nos ápices das folhas. Tal efeito é resultado da inibição da síntese de celulose e redução no crescimento de tecidos meristemáticos, sendo o indaziflam considerado o mais potente inibidor da parede celular já descoberto (Myers et al., 2009; Kaapro e Hall, 2012). O mecanismo de

ação ainda não está completamente elucidado, é provável que a inibição ocorra, em algum ponto, na etapa da reticulação das microfibrilas de celulose (Guerra et al., 2013). Embora a inibição da divisão celular do tecido meristemático também tem sido proposta, como um modo de ação secundário (Griffin, 2005).

Analisando as curvas de dose-resposta observou-se no substrato inerte menor valor do coeficiente exponencial da equação “b”, o valor de inserção da equação no gráfico produzido entre a variável explicativa e a variável resposta, ou seja, pequenas alterações na dose de indaziflam representam grandes respostas no acúmulo de matéria seca de sorgo, nos pontos próximos ao C_{50} (Figura 1). Nos solos de Uberlândia, de Viçosa e de Oratórios constatou-se menores valores de “b”, indicando menores respostas no acúmulo de matéria seca.

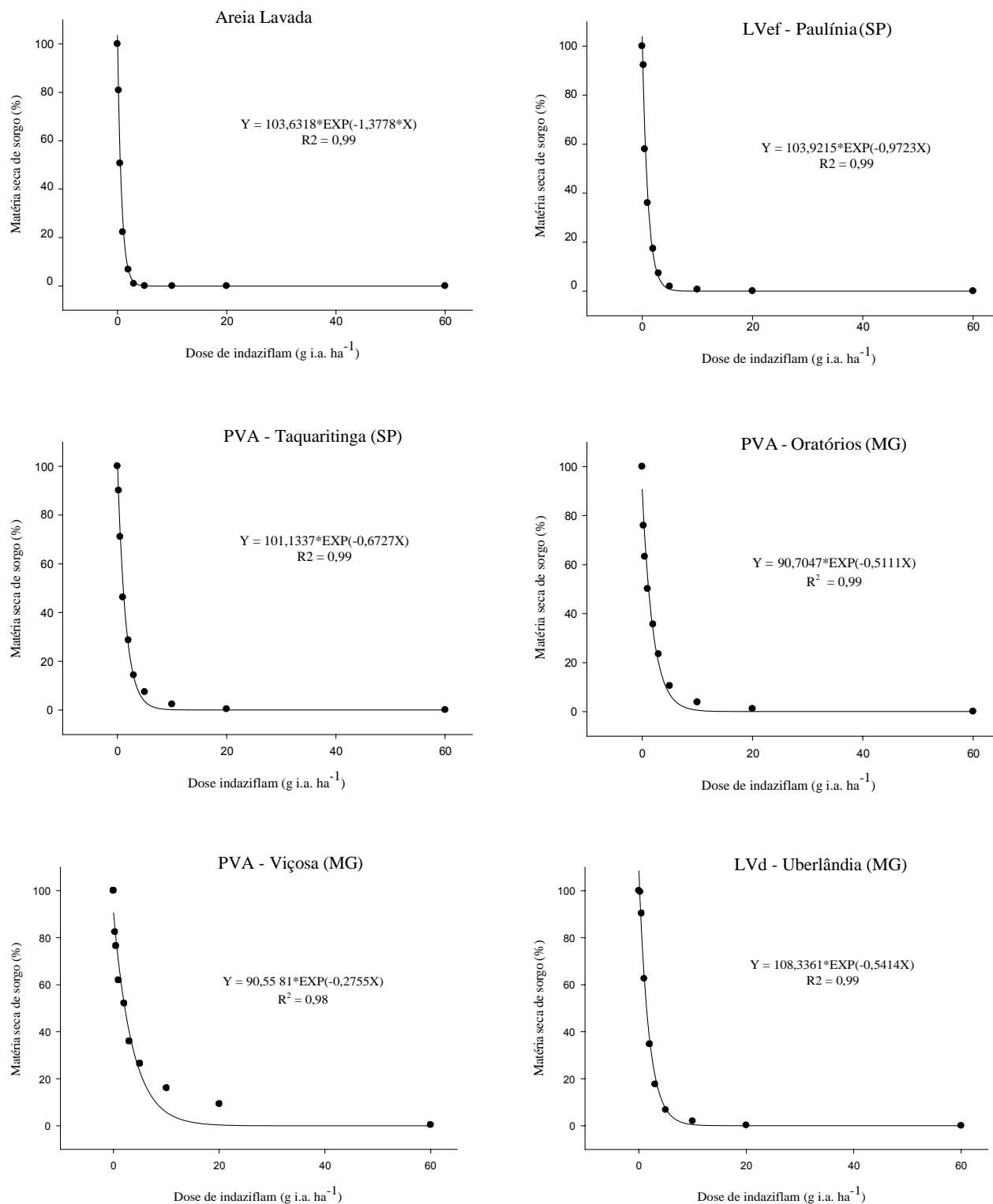


Figura 1. Acúmulo de matéria seca, em porcentagem em relação à testemunha, de plantas de sorgo cultivadas por 21 dias em diferentes substratos tratados com indaziflam.

A partir dos valores de C_{50} , nos solos estudados e no substrato inerte, obteve-se razão de sorção (RS), de forma que o solo de maior C_{50} e, conseqüentemente, maior RS foi o de Uberlândia. Tal solo apresenta o menor valor de pH e o maior valor de Matéria Orgânica (MO), além de apresentar alto teor de argila e de $CTC_{efetiva}$ (Tabela 1). O solo com menor valor de sorção foi o de Paulínia, que apresenta o maior valor de pH entre os solos estudados, a segunda menor de $CTC_{efetiva}$, embora apresente um valor mediano de MO. Nos solos de Uberlândia e Viçosa, a maior proporção de indaziflam está fortemente ligada ao solo e, portanto, menos disponível para ser absorvida (Alonso et al., 2016).

Tabela 2. Dose de indaziflam responsável por reduzir o acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo em 50% (C_{50} em g i.a. ha^{-1}) e razão de sorção (RS) do herbicida nos diferentes solos.

Avaliações	Uberlândia LVd	Viçosa PVA	Oratórios PVA	Taquaritinga PVA	Paulínia LVef	Areia lavada
C_{50}	2,16	1,43	1,16	1,15	0,75	0,53
RS	3,07	1,70	1,19	1,17	0,42	-

Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA); Latossolo Vermelho-Eutrófico (LVef) e Latossolo Vermelho-Distrófico (LVd); Dose de indaziflam necessária para redução de 50% da matéria seca do sorgo (C_{50}); Razão de Sorção (RS).

Por meio da análise de correlação observou-se, para os solos estudados, que o pH é o atributo, que mais afeta na sorção do indaziflam (Tabela 3), de forma que o Latossolo Vermelho-Eutrófico de Paulínia/SP, solo com maior pH dentre os estudados (5,82), apresentou menor C_{50} e, conseqüentemente, menor razão de sorção. O Latossolo Vermelho-Distrófico de Uberlândia/MG, menor valor de pH (4,85), apresentou maior C_{50} (Tabela 2). Alonso et al. (2011) não observaram correlação entre a sorção e o pH do solo, embora o indaziflam seja um herbicida com características de ácido fraco (pK_a 3,5), esta falta de correlação pode ter ocorrido em função da estreita faixa de pH dos solos. No entanto, os metabólitos deste herbicida são mais móveis do que a sua molécula original, e foram detectadas em estudos de campo, em altas profundidades, 105-120 cm (Tompkins, 2010), sendo que estes são potencialmente menos sorvidos ao solo. Portanto, os metabólitos do indaziflam têm maior potencial de lixiviação para a água subterrânea (Guerra et al., 2013).

Tabela 3: Valores de correlação entre atributos do solo e a razão de sorção do indaziflam

Coefficiente de correlação	pH	MO	Argila	Areia	CTC	Silte	P- REM
r	-0,92	0,76	0,29	-0,089	0,063	-0,59	0,23

Para os solos estudados, a MO foi o segundo atributo que melhor se correlacionou com a sorção do indaziflam (Figura 1 e Tabela 3), sendo observada a correlação positiva entre esse atributo do solo e a sorção do indaziflam, ou seja, no LVd – Uberlândia/MG, solo com maior teor de MO, a razão de sorção do indaziflam e a C_{50} foram maiores (Tabela 2). O maior teor de MO do solo promoveu maior acúmulo de matéria seca foliar e radicular de *Cynodon dactylon* expostos ao indaziflam (Jones et al., 2013). Alonso et al. (2011) relatam correlação positiva entre a sorção do indaziflam e o conteúdo de MO de diversos solos brasileiros. Todavia, para o Latossolo Vermelho-Eutrófico de Paulínia/SP, mesmo este possuindo maior teor de MO que o PVA de Oratórios/MG e o PVA de Taquaritinga/SP, observou-se menor razão de sorção do indaziflam que nos dois últimos.

Embora a argila possa contribuir no aumento da sorção de diversos herbicidas ao solo (Koskinen et al., 2003; Guimarães et al., 2016), em função da migração e rearranjo de moléculas pesticidas nas camadas internas de minerais de argila (Alonso et al., 2016). Neste trabalho observou-se baixa correlação entre o conteúdo de argila e demais atributos do solo, como o conteúdo de silte, areia, a capacidade de troca catiônica, o fósforo remanescente e a sorção do indaziflam (Tabela 3). Isso pode ser explicado em função dois solos menos argilosos apresentarem altos valores de pH. Por outro lado, Alonso et al. (2011) encontrou relação significativa entre o conteúdo de argila e a sorção do indaziflam. Este fato elucidou que a sorção varia em intensidade, de acordo com os atributos de cada solo, sendo necessário uma análise minuciosa para realizar recomendações seguras, buscando eficiência no controle das plantas daninhas e menor impacto ambiental.

Alonso et al. (2016) afirma que ao normalizar o K_d pela MO para K_{oc} , verifica-se que a matéria orgânica é um fator importante que afeta a sorção, entretanto isso não corrigiu, completamente, a variabilidade entre os solos, de forma que outros fatores também estão envolvidos no processo de sorção. De maneira que, embora a matéria orgânica tenha apresentando alta correlação com a sorção do indaziflam e o conteúdo de argila possa implicar em alterações na sorção do herbicida, o pH foi o atributo do solo

que mais influenciou a sorção do indaziflam. Assim, os diversos atributos do solo devem ser levados em consideração para uma adequada recomendação do indaziflam.

CONCLUSÃO

Dentre os atributos dos solos avaliados, o pH e a matéria orgânica foram os que mais influenciaram a sorção do indaziflam.

O conteúdo de argila, silte, areia, capacidade de troca catiônica e o fosforo remanescente pouco interferiram na sorção do indaziflam ao solo.

O solo de menor sorção foi o Latossolo Vermelho-Distrófico (LVd), seguido pelos Argissolos Vermelho-Amarelo (PVA) e o Latossolo Vermelho-Eutrófico (Lvef).

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelas bolsas de estudo concedidas, auxílio financeiro e concessão da estrutura para realização do projeto.

LITERATURA CITADA

Alonso, D. G.; Koskinen, W. C.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Mislankar, S. Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p. 3096-3101, 2011.

Alonso, D. G. 2012. Sorção e dessorção do herbicida indaziflam e metabólitos no solo. PhD Thesis Universidade Estadual de Maringá.

Alonso, D. G.; Oliveira JR., R; S.; Koskinen, W. C.; Hall, K.; Constantin, J.; Mislankar, S. Sorption and desorption of indaziflam degradates in several agricultural soils. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 2, p. 169-176, 2016.

BAYER ENVIRONMENTAL SCIENCE. Specticle herbicide technical bulletin. 2010. 16 pp.

Bittencourt, S.; Aisse, M. M.; Serrat, B. M.; Azevedo, J. C. R. Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 43-53, 2016.

Brosnan, J. T.; Mccullough, P. E.; Breeden, G. K. Smooth crabgrass control with indaziflam at various springs timings. **Weed Technology**, v. 25, n. 3, p. 363–366, 2011.

Brosnan, J. T.; Breeden, G. K.; Mccullough, P. E.; Henry, G. M. Pre and post control of annual bluegrass (*Poa annua*) with indaziflam. **Weed Technology**, v. 26, n. 1, p. 48-53, 2012.

Fast, B. J.; Ferrel, J. A.; Macdonald, G. E.; Jason-Krutz, L.; Kline, W. N. Picloram and aminopyralid sorption to soil and clay minerals. **Weed Science**, v. 58, n. 4, p. 484–489, 2010.

Griffin, J. L. Inhibition of cell wall synthesis. In: ____ Weed Course. 2005, p. 150-153.

Guerra, N.; Oliveira JR., R. S.; Constantin, J.; Oliveira Neto, A. M.; Braz, G. B. P. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.

Guimarães, A. C. D.; Takeshita, V.; Catissi, F.; Nicolai, M.; Christoffoleti, P. J. Eficácia do imazapic no controle de capim-camalote aplicado em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 3, p. 213-220, 2016.

Heap, I. The international survey of herbicide resistant weeds. 2014. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: jun. 2017.

Jeffries, M. D.; Mahoney, D. J.; Gannon, T. W. Effect of simulated indaziflam drift rates on various plant species. **Weed Technology**, v. 28, n. 4, p. 608–616, 2014.

Jones, P. A.; Brosnan, J. T.; Kopsell, D. A.; Breeden, G. K. Effect of reed-sedge peat moss on hybrid bermudagrass injury with indaziflam and prodiamine in sand based root zones. **Weed Technology**, v. 27, n. 3, p. 547-551, 2013.

Kaapro, J.; Hall, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal Weed Science Research**, v. 18, n. esp., p. 267-270, 2012.

Koskinen, W. C.; Harper, S. S. The retention process: mechanisms. In Pesticides in the Soil Environment: Process, Impacts and Modeling; Cheng, H. H., Ed.; SSSA Book Series 2; SSSA: Madison, WI, 2003. pp 5177.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agrofit 2002: sistema de informação. Brasília, 2015. Disponível em: <http://agricultura.gov.br/agrofit>. Acesso em: jan. 2017.

Meyer, D. F.; Hanrahan, R.; Michel, J.; Monke, B.; Mudge, L.; Norton, L.; Olsen, C.; Parker, A.; Smith, J.; Spak, D. Indaziflam/BCS-AA10717 – A new herbicide for pre-emergent control of grasses and broadleaf weeds for turf and ornamentals. WSSA Meeting Abstracts. 2009. Disponível em: <http://wssa.net/meeting/meeting-abstracts>. Acesso em: jun. 2017.

Perry, D. H.; Mcelroy, J. S.; Doroh, M. C.; Walker, R. H. Indaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds. **Online Applied Turfgrass Science**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2011.

Rice, P. J.; Koskinen, W. C.; Carrizosa, M. J. Effect of soil properties on the degradation of isoxaflutole and the sorption-desorption of isoxaflutole and its diketonitrile degradate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 25, p. 7621–7627, 2004.

Salvador, J. O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agricola**, v. 56, s/n, p. 501-507, 1999.

Silva, I. A.; Sousa, F. K. A.; Menezes, R. R.; Neves, G. A.; Santana, L. N. L.; Ferreira, H. C. Modification of bentonites with nonionic surfactants for use in organic-based drilling fluids. **Applied Clay Science**, v. 95, s/n, p. 371-377, 2014.

Soares, D. F.; Faria, A. M.; Rosa, A. H. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 277-284, 2017.

Tompkins, J. Pesticide fact sheet: indaziflam. United States, Environmental Protection Agency. 2010. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticides>. Acesso em: jun. 2017.

Trigo, C.; Koskinen, W. C.; Kookana, R. S. Sorption–desorption of indaziflam and its three metabolites in sandy soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 49, n. 11, p. 836–843, 2014a.

Trigo, C.; Spokas, K. A.; Cox, L.; Koskinen, W. C. Influence of soil biochar aging on sorption of the herbicides MCPA, Nicosulfuron, Terbutylazine, Indaziflam, and Fluoroethyldiaminotriazine. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 45, p. 10855-10860, 2014b.

USEPA. Pesticide fact sheet. Conditional registration, 2010; 108 pp.

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ESTERCO BOVINO NA SORÇÃO DO ISOXAFLUTOLE EM DOIS SOLOS

Resumo: Tem-se observado comportamento diferenciado do isoxaflutole em diferentes solos. Em consequência disso, a eficiência agrônômica de um herbicida depende do conhecimento dos processos de retenção (sorção) ao solo, o que também afeta o potencial de lixiviação, degradação e, conseqüentemente, a eficiência no controle de plantas daninhas. Objetivou-se avaliar, por meio de bioensaios, o efeito da adição de esterco bovino no potencial de sorção do isoxaflutole, em dois solos com características distintas. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em esquema de fatorial 2x5x10, sendo dois solos, cinco doses de esterco e dez doses de isoxaflutole e quatro repetições. Foram construídas curvas de dose-resposta do isoxaflutole, utilizando-se o *Sorghum bicolor* como planta indicadora. Foi aplicado o isoxaflutole em vasos com areia lavada e com dois Argissolos Vermelho-Amarelo, um argiloso provenientes de Viçosa e outro franco argilo arenoso de Oratórios-MG, enriquecidos com 0; 1; 2,5; 5 e 10 % (g/g) de esterco bovino como substrato. Determinou-se a dose de herbicida capaz de reduzir em 50% o acúmulo de matéria seca e a intoxicação das plantas indicadoras (sorgo). Para ambos os solos, o incremento de esterco resultou em menor intoxicação e maior acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo, indicando necessidade de maiores doses do herbicida para controle de plantas daninhas em solos com maiores teores de matéria orgânica. Entre as características avaliadas, a matéria seca de plantas se mostrou mais sensível ao efeito do herbicida. A sorção do isoxaflutole no solo argiloso é maior que em solo franco argilo arenoso. Conclui-se que a sorção do isoxaflutole é maior em solos argilosos e com maior teor de matéria orgânica.

Palavras-Chave: Bioensaio, herbicida, matéria orgânica, *Sorghum bicolor*

INFLUENCE OF BOVINE MANURE ADDITION ON ISOXAFLUTOL SORPTION IN TWO SOILS

Abstract: Differential behavior of isoxaflutole in different soils has been observed. As a consequence, the agronomic efficiency of a herbicide depends on the knowledge of soil retention processes (sorption), which also affects the potential for leaching, degradation and, consequently, weed control efficiency. The objective of this study was to evaluate the effect of adding bovine manure to the sorption potential of isoxaflutole in two soils with different characteristics. A completely randomized design was used in a 2x5x10 factorial scheme, with two soils, five manure doses and ten isoxaflutole doses and four replicates. Dose-response curves of isoxaflutole were constructed using *Sorghum bicolor* as an indicator plant. Doses of isoxaflutole were applied in pots with washed sand and with two Red-Yellow Argisols, one clayey from Viçosa and another argillo arenoso from Oratórios-MG, enriched with 0; 1; 2.5; 5 and 10% (g / g) bovine manure as substrate. The dose of herbicide capable of reducing the accumulation of dry matter and the intoxication of indicator plants (sorghum) by 50% was determined. For both soils, increased manure resulted in lower intoxication and higher dry matter accumulation of sorghum plants, indicating the need for higher herbicide rates for weed control in soils with higher organic matter content. Among the characteristics evaluated, the dry matter of plants showed to be more sensitive to the effect of the herbicide. The sorption of isoxaflutole in the clayey soil is higher than the sorption in the sandy loam clay soil. It is concluded that isoxaflutole sorption is higher in clayey soils with a higher organic matter content.

Key words: Bioassay, herbicide, organic matter, *Sorghum bicolor*

INTRODUÇÃO

Conhecer os processos de retenção das moléculas herbicidas pelo solo auxilia no entendimento de seu potencial de lixiviação, degradação e, conseqüentemente, na sua eficiência no controle das plantas daninhas (Freitas et al., 2014). Dentre os parâmetros utilizados para entender o comportamento de um herbicida, no solo, tem-se a sorção, que consiste na adesão ou atração das moléculas herbicidas à superfície dos colóides do solo, por meio de forças físicas como ligações de hidrogênio, forças de van der Waals, forças eletrostáticas, ligações covalentes e interações hidrofóbicas (Prata e Lavorenti, 2000), de forma que a sorção é influenciada pelas diversas classes de solo, teor de matéria orgânica e suas características físico-químicas (Dick et al., 2010; Inoue et al., 2010).

O isoxaflutole é um herbicida aplicado em pré-emergência, recomendado para controle de gramíneas anuais e perenes, propagadas por meio de sementes, e algumas plantas de folhas largas nas culturas de milho, mandioca, batata, algodão, cana-de-açúcar, pinus e eucalipto (MAPA, 2017). O mecanismo de ação deste herbicida está relacionado ao impedimento da biossíntese de pigmentos carotenóides essenciais para a proteção da clorofila, por meio da inibição da enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase. Os carotenos direcionam a energia luminosa às moléculas de clorofila e ajudam a dissipar o excesso de energia dessas moléculas após a absorção da luz, por meio de processo enzimático, que converte a violaxantina em zeaxantina, liberando energia na forma de calor. Assim, na ausência dos mesmos, a dissipação do excesso de energia da clorofila não ocorre, causando oxidação das membranas, ruptura da parede celular e destruição da célula (Silva et al., 2014).

No solo, o isoxaflutole, considerado um pró-herbicida, é convertido a dicetonitrilo-3-ciclo-propil-1-(trifluoro-2-metil-p-tolil)-1,3-dioxo-propano-2-nitrilo (DKN) – pela abertura do anel isoxazole (Mitra et al., 2000) e esta molécula é biologicamente ativa no controle de plantas daninhas (Beltran et al., 2001). A DKN tem um período residual no solo, que pode variar de acordo com as condições climáticas e características dos substratos. Taylor-Lovell et al. (2003) relatam meia-vida de 56 dias. Segundo Novo et al. (2005), em trabalho com persistência, em solo argiloso, cultivado com batata nas condições de outono-inverno, a perda da atividade residual desse herbicida foi consideravelmente lenta, em torno de 140 dias, devido à maior sorção e conseqüentemente liberação lenta por meio de dessorção.

A maioria dos estudos referentes à sorção de isoxaflutole foi realizada em solos de clima temperado, tornando-se necessários estudos das interações desse herbicida direcionados para os solos tropicais. Assim, objetivou-se avaliar, por meio de ensaios biológicos, o efeito da adição de esterco bovino sobre a sorção do isoxaflutole em dois solos tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Avaliou-se a dose do isoxaflutole capaz de promover 50% de intoxicação e reduzir em 50% o acúmulo de matéria seca na planta indicadora (C_{50}) em substrato inerte. Para tal, elaborou-se a curva de dose-resposta para o isoxaflutole, em areia lavada, utilizando como planta indicadora o *Sorghum bicolor*.

Para obtenção do substrato inerte, a areia (0,05 mm a 2 mm) foi lavada em água corrente, para retirada das impurezas; posteriormente incubada em ácido sulfúrico diluído (10%) por 24 horas. Em seguida, procedeu-se a nova lavagem do material em água corrente, até completa eliminação do resíduo ácido, seguido pela correção do pH final para neutralidade (pH 7), por meio da adição controlada de solução de hidróxido de sódio. Terminado o processo, a areia foi seca ao sol.

Foi usado delineamento inteiramente casualizados, com 16 doses do herbicida (0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,75; 1; 2; 3; 5; 10; 15; 20; 30 e 40 g ha⁻¹ de isoxaflutole) e 4 repetições. Para aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador pressurizado com CO₂ e equipado com uma barra com dois bicos TT 11002 espaçados de 0,50 m, permitindo a aplicação de 150 L ha⁻¹. As doses utilizadas foram definidas após realização de testes preliminares, com aplicação de doses crescentes do isoxaflutole, produto comercial Fordor 750 WG[®] em pré-emergência. Os vasos foram irrigados diariamente e a cada três dias foram realizadas irrigações com solução balanceada e completa de macro e micronutrientes, com as seguintes concentrações (mg L⁻¹): macronutrientes: 182 de N-NO₃; 42 de N-NH₄; 31 de P; 195 de K; 120 de Ca; 48 de Mg; 64 de S-SO₄; e micronutrientes: 0,5 de B; 0,02 de Cu; 5,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn e 0,01 de Mo da mesma forma para todas as espécies (Salvador et al., 1999).

Aos 21 dias, após a emergência da planta indicadora, fez-se a avaliação de intoxicação, utilizando-se escala que varia de 0 a 100% (em que zero é ausência de sintoma e 100 morte da planta). Nessa mesma data, as plantas de sorgo foram colhidas e

secas em estufa para quantificação da matéria seca total. Os dados foram convertidos para porcentagem do acúmulo de matéria seca em relação à testemunha. Com esses dados foi determinada a dose do herbicida, que causou 50% de intoxicação e 50% de redução no acúmulo de matéria seca (C_{50}). Para essa determinação foi utilizado o modelo log-logístico (Equação 1) não linear proposto por Seefeldt et al. (1995).

$$() \frac{C - D}{C - D + b \cdot e^{-x/C_{50}}}$$

Equação 1. Modelo log-logístico não linear.

No qual C e D correspondem, respectivamente, ao nível máximo e mínimo da curva de dose-resposta; b, ao declive da curva em torno do C_{50} ; e o C_{50} o ponto intermediário entre o máximo e o mínimo, referente à intoxicação de 50% e redução no acúmulo da parte aérea de 50% da planta indicadora.

Foi avaliado o crescimento das plantas de sorgo em dois solos (Argissolo Vermelho-Amarelo, um argiloso de Viçosa-MG e outro franco argilo arenoso de Oratórios-MG), caracterizados fisicamente, conforme expresso no Quadro 1. Os solos foram coletados na profundidade de 0 a 20 cm, secos à sombra e peneirados em malha de 4 mm e, em seguida, enriquecidos com 0; 1; 2,5; 5 e 10% de esterco bovino curtido, incubados por 30 dias e, posteriormente, caracterizados quimicamente (Quadro 1).

Quadro 1. Caracterização física e química das amostras de solo utilizadas no experimento

Análise física														
Solo	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural									
	----- (dag kg ⁻¹) -----													
Argiloso (Viçosa)	0,177	0,090	0,099	0,580	Argila									
Franco argilo arenoso (Oratórios)	0,566	0,115	0,099	0,220	Franco argilo arenoso									
Análise química														
% de esterco bovino/solo	pH	P	K	Ca	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	----- (Cmol _c dm ⁻³) -----							--- (%) ---		(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	
0%/Viçosa	5,02	354	93	12,4	1,53	0,0	3,5	14,1	14,1	17,6	80,2	0,0	2,43	29,1
1%/Viçosa	5,73	478	164	13,6	1,80	0,1	4,0	15,8	15,9	19,8	79,8	0,0	3,84	36,7
2,5%/Viçosa	5,14	469	169	14,0	1,99	0,1	3,9	16,5	16,6	20,3	80,8	0,1	3,97	32,0
5%/Viçosa	4,78	698	198	12,3	2,30	0,0	4,7	15,2	15,2	19,8	76,3	0,1	6,52	38,4
10%/Viçosa	5,65	642	201	11,8	2,45	0,0	4,3	14,7	14,7	19,0	77,4	0,0	9,28	38,4
0%/Oratórios	5,33	15	29	1,7	0,62	0,1	3,1	2,5	2,6	5,45	43,1	4,1	1,28	41,1
1%/Oratórios	5,73	96	60	2,5	0,91	0,0	2,9	3,5	3,5	6,42	54,8	0,0	1,92	40,0
2,5%/Oratórios	4,86	143	71	2,7	1,06	0,0	3,4	4,0	4,0	7,37	53,9	0,0	2,69	43,2
5%/Oratórios	6,26	307	118	3,7	1,49	0,0	3,5	5,5	5,5	9,02	61,2	0,0	5,12	50,4
10%/Oratórios	6,21	519	238	4,4	1,84	0,0	3,9	6,8	6,8	10,70	63,6	0,0	7,36	53,0

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997).

A aplicação do herbicida nos vasos contendo solos com diferentes quantidades de esterco bovino foi realizada da mesma forma que no substrato inerte. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x5x10, sendo dois solos, cinco quantidades de esterco bovino e dez doses do herbicida (0; 2,5; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 60 e 80 g ha⁻¹ de isoxaflutole). Os vasos foram irrigados diariamente e adubados da mesma forma que em areia lavada.

As características avaliadas e épocas de avaliações foram semelhantes às realizadas no material inerte (areia lavada). Os dados também foram convertidos em porcentagem em relação à testemunha, posteriormente, sendo submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, se significativos, foram ajustadas equações de regressão. Calculou-se a dose necessária para causar 50% de redução na variável analisada (C₅₀) na areia lavada e no solos, e então calculou-se a razão de sorção (RS), sendo está o C₅₀ do solo subtraído pelo C₅₀ da areia lavada, ambos divididos pelo C₅₀ da areia lavada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais sintomas de intoxicação provocados pelo isoxaflutole nas plantas de sorgo foram clorose e paralização do crescimento. Como o isoxaflutole inibe a enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD) (Pallet et al., 1997), principal responsável pela síntese de pigmentos, observou-se o surgimento de sintomas característicos de "branqueamento", seguido de paralisação de crescimento e posterior necrose dos tecidos (Pallet et al., 1998).

Em areia lavada, a dose de isoxaflutole necessária para causar 50% de intoxicação da planta indicadora foi de 3,44 g ha⁻¹ e para reduzir o acúmulo de matéria seca total de plantas de sorgo em 50% de 1,30 g ha⁻¹ (Figura 1). Tais resultados indicam que os dados de acúmulo de matéria seca de plantas são mais precisos para quantificação do isoxaflutole no solo do que os dados de avaliação visual dos sintomas de intoxicação.

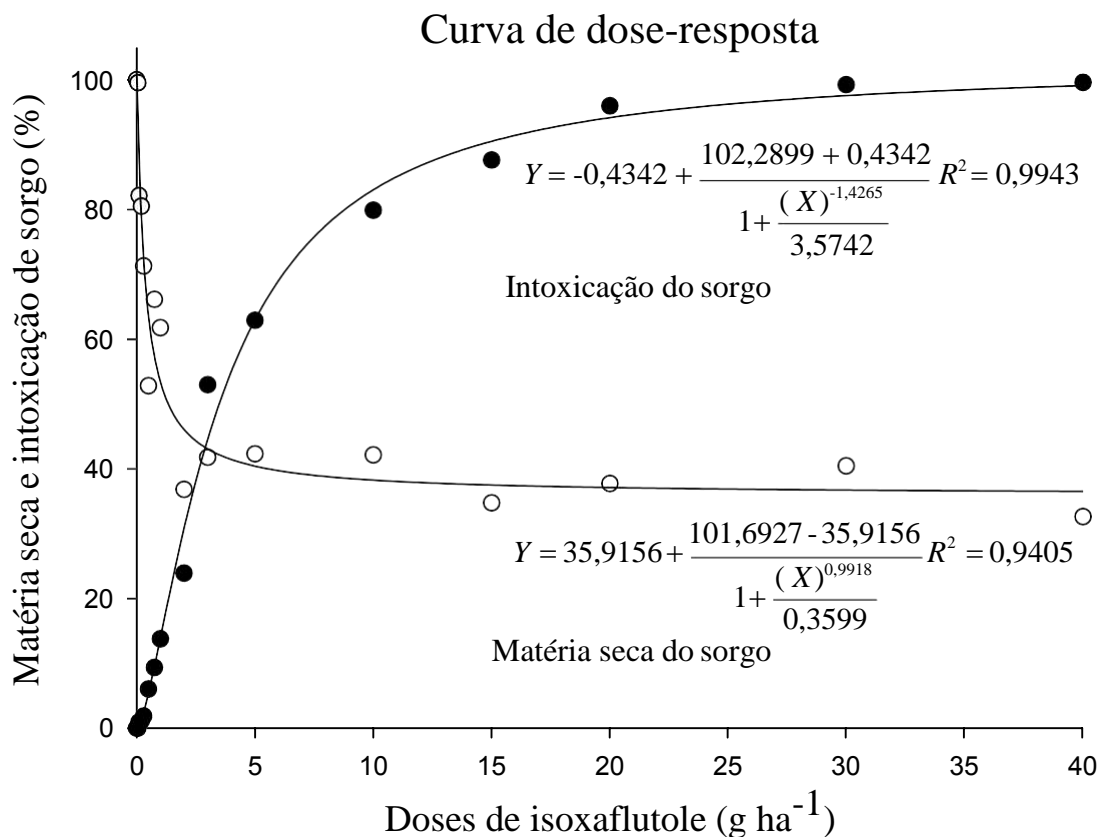


Figura 1. Acúmulo de matéria seca e intoxicação, em percentagem em relação à testemunha, de plantas de sorgo cultivadas por 21 dias em substrato inerte tratado com isoxaflutole.

Ao se analisar a razão de sorção e a dose do herbicida necessária para causar 50% de intoxicação ou de acúmulo de matéria seca de sorgo, observou-se que foi necessária maior quantidade de isoxaflutole no solo argiloso (Tabela 1). A argila desempenha importante papel no aumento da sorção de diversos herbicidas ao solo (Koskinen et al., 2003; Guimarães et al., 2016), em função da migração e rearranjo de moléculas pesticidas nas camadas internas de minerais de argila (Alonso et al., 2016). Ademais, tal efeito pode ter sido impulsionado pelo maior teor de matéria orgânica inicial do solo argiloso.

Tabela 1. Efeito da adição de esterco bovino em dois solos sobre a dose de isoxaflutole, g i.a. ha⁻¹, que inibe em 50% o acúmulo de matéria seca e a intoxicação de plantas de sorgo

Solos	Característica avaliada	Dose de esterco				
		0%	1%	2,5%	5%	10%
Argiloso (Viçosa)	Intoxicação de plantas	27,26	30,53	35,33	42,86	53,09
	Acúmulo de matéria seca	24,43	25,03	25,95	27,54	30,91
Franco argilo arenoso (Oratórios)	Intoxicação de plantas	8,68	12,94	19,05	28,04	35,60
	Acúmulo de matéria seca	8,77	11,98	15,82	20,01	21,19

Tabela 2. Razão de sorção (RS) da variável avaliada, em g ha⁻¹, em dois solos sob aplicação de esterco bovino

Solos	Característica avaliada	Dose de esterco				
		0%	1%	2,5%	5%	10%
Argiloso (Viçosa)	Intoxicação de plantas	6,92	7,88	9,27	11,46	14,43
	Acúmulo de matéria seca	17,79	18,25	18,96	20,18	22,78
Franco argilo arenoso (Oratórios)	Intoxicação de plantas	1,52	2,76	4,54	7,15	9,35
	Acúmulo de matéria seca	5,75	8,22	11,17	14,39	15,30

Observou-se que elevando-se a dose de esterco bovino, no solo de textura argilosa (Viçosa), maior dose do herbicida foi necessária para intoxicar as plantas (Figura 2A), isso porque o teor de matéria orgânica no solo também aumenta (Quadro 1). O incremento do teor de matéria orgânica do solo favorece o aumento da sorção, o que leva a queda na atividade do herbicida, pois esse fica menos disponível na solução do solo (Ben-Hur et al., 2003), tornando-o menos disponível para a absorção pelas plantas e, conseqüentemente, causando menor intoxicação da planta indicadora.

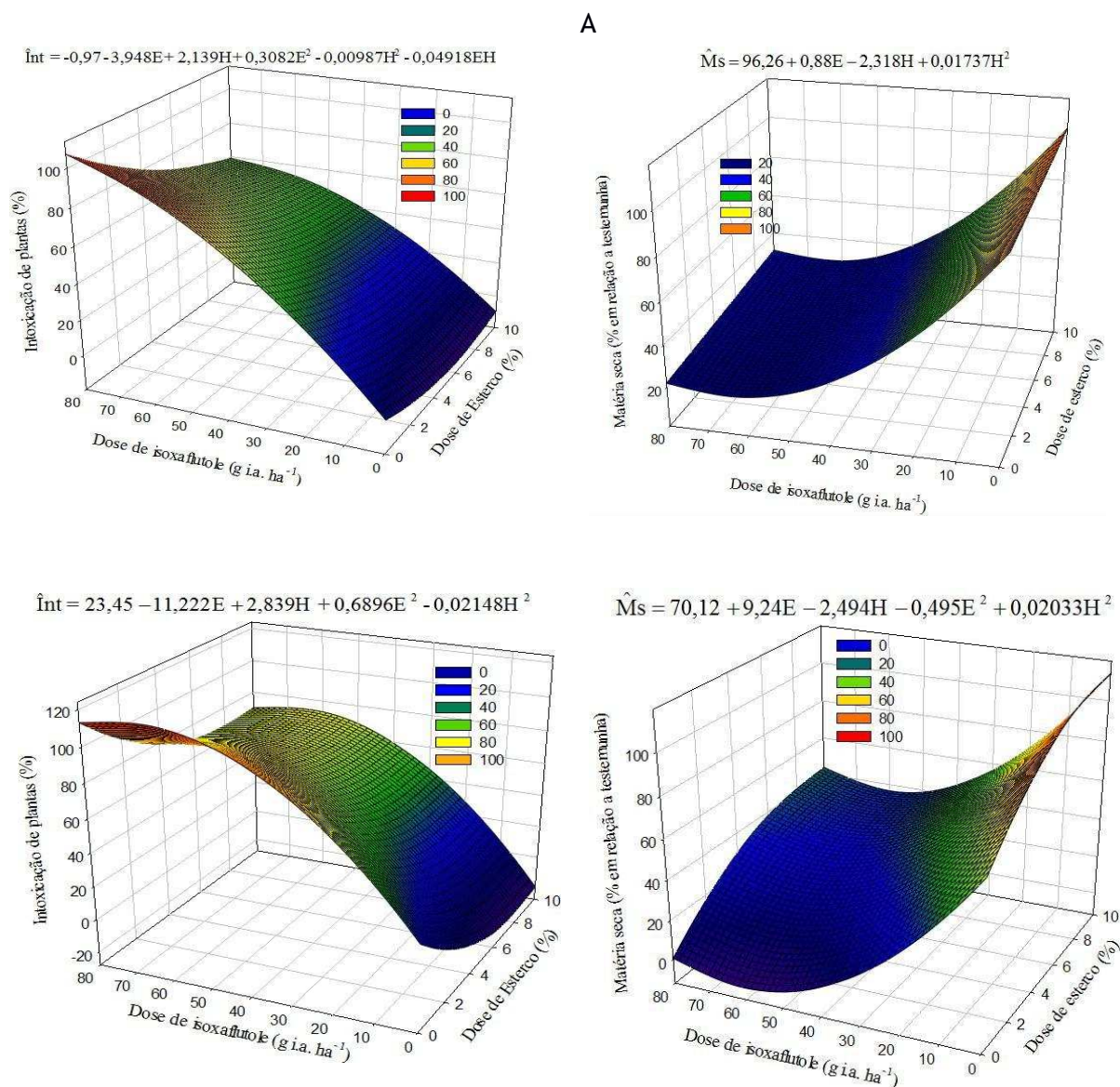


Figura 2. Intoxicação (A) e matéria seca (B) de plantas de sorgo cultivadas por 21 dias em solo de textura argilosa de Viçosa - MG , e Intoxicação (C) e matéria seca em solo de textura franco argilo arenoso de oratórios - MG, em função de doses de isoxaflutole e de esterco bovino aplicados ao solo.

Com relação a matéria seca (MS) de plantas constatou-se efeito semelhante a intoxicação, porém em maior escala, no qual o incremento de esterco ao solo resultou em aumento linear no acúmulo de MS no solo argiloso, independente da dose de herbicida testada (Figura 2B).

Semelhante ao observado no solo de textura argilosa, a intoxicação das plantas reduziu e mostrou maior acúmulo de matéria seca, com o acréscimo da dose de esterco

aplicada ao solo de textura franco argilo arenoso (Oratórios) (Figuras 2C e 2D). Em estudos de sorção e dessorção de isoxaflutole, em cinco solos, foi verificado grande correlação com a matéria orgânica do solo, apresentando maior histerese sorção-dessorção nos solos com maior teor de matéria orgânica, evidenciando maiores forças nas ligações (Mirtra et al., 2000). Oliveira Jr et al. (2006), avaliando a atividade residual do isoxaflutole, verificaram que o herbicida apresentou maior retenção e, conseqüentemente, maior atividade residual em solo com maior teor de matéria orgânica, evidenciando a importância da matéria orgânica na sorção desse herbicida no solo. A matéria orgânica aumenta o potencial de sorção do isoxaflutole por ser constituída por sítios tridimensionais, que formam ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas, que promovem a sorção de compostos não iônicos aos colóides orgânicos (Brusseau, 1999).

No solo de textura franco argilo arenoso observa-se, que a partir de cerca de 6% de esterco aplicado ao solo, foi reduzido o efeito da adição de esterco (Figuras 4 e 5), de forma que o incremento do dobro de esterco resultou em pequeno aumento na sorção, o que pode ser devido ao fato do teor de matéria orgânica também não ter apresentado grandes alterações, destacando-se que o incremento do teor de MO no solo de Oratórios foi de 5,17 para 7,36 dag kg⁻¹, com adição de 5 e 10% de esterco, respectivamente.

Pelos valores de C₅₀ e para a razão de sorção, encontrados nos dois solos avaliados, constatou-se novamente que os dados de acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo são mais sensíveis à ação do isoxaflutole (Tabelas 1 e 2), de maneira que se recomenda o uso desta característica em ensaios, que necessitem detectar resíduos de isoxaflutole no solo. Ademais, a avaliação de intoxicação de plantas pelo método visual pode sofrer interferência do avaliador, o que torna tal avaliação subjetiva.

CONCLUSÃO

A sorção do isoxaflutole aumenta com incremento do teor de matéria orgânica no solo.

Nos dois solos estudados a adição de esterco bovino promoveu efeito semelhante na sorção do herbicida, embora o solo argiloso (Viçosa) tenha apresentado maior sorção do que o solo franco-argilo-arenoso (Oratórios).

Os dados de acúmulo de matéria seca permitem maior precisão na determinação do isoxaflutole do que porcentagem de intoxicação de plantas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelas bolsas de estudo concedidas, auxílio financeiro e concessão da estrutura para realização do projeto.

LITERATURA CITADA

- Alonso, D. G.; Oliveira JR., R.; S.; Koskinen, W. C.; Hall, K.; Constantin, J.; Mislankar, S. Sorption and desorption of indaziflam degradates in several agricultural soils. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 2, p. 169-176, 2016.
- Beltran, E.; Fenet, H.; Cooper, J. F.; Cote, C. M. Kinetics of chemical degradation of isoxaflutole: influence of the nature of aqueous buffers (alkanoic acid/sodium salt vs phosphate). **Pest Management Science**, v. 57, n. 4, p. 366-371, 2001.
- Ben-Hur, M.; Letey, J.; Farmer, W. J.; Williams, C. F.; Nelson, S. D. Soluble and solid organic matter effects on atrazine adsorption in cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 4, p. 1140-1146, 2003.
- Brusseau, M. L.; Rao, P. S. C. The influence of sorbate-organic matter interactions in sorption nonequilibrium. **Chemosphere**, v. 17, n. 9-10, p. 1691-1706, 1999.
- Dick, D. P.; Martinazzo, R.; Knicker, H.; Almeida, P. S. G. Matéria orgânica em quatro tipos de solos brasileiros: composição química e sorção de atrazina. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 14-19, 2010.
- Freitas, M. A. M.; Passos, A. B. R. J.; Torres, L. G.; Moraes, H. M. F.; Faustino, L. A.; Rocha, P. R. R.; Silva, A. A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 385-392, 2014.
- Guimarães, A. C. D.; Takeshita, V.; Catissi, F.; Nicolai, M.; Christoffoleti, P. J. Eficácia do imazapic no controle de capim-camalote aplicado em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 3, p. 213-220, 2016.
- Inoue, M. H.; Santana, D. C.; Oliveira JR., R. S.; Clemente, R. A.; Dallacort, R.; Possamai, A. C. S.; Santana, C. T. C.; Pereira, K. M. Potencial de lixiviação de

herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010.

Koskinen, W. C.; Harper, S. S. The retention process: mechanisms. In *Pesticides in the Soil Environment: Process, Impacts and Modeling*; Cheng, H. H., Ed.; SSSA Book Series 2; SSSA: Madison, WI, 2003. pp 5177.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Agrofit 2002: sistema de informação. Brasília, 2015. Disponível em: <http://agricultura.gov.br/agrofit>. Acesso em: abr. 2017.

Mitra, S.; Bhowmik, P. C.; Xing, B. Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. **Environmental Pollution**, v. 108, n. 2, p. 183-190, 2000.

Novo, M. C. S. S.; Adoryan, M. L.; Favoretto, P.; Tessarioli Neto, J.; Melo, P. C. T. Persistência de isoxaflutole em solo argiloso cultivado com batata. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, s/n, p. 39-50, 2005.

Oliveira JR., R. S.; Marchiori JR., O.; Constantin, J.; Inoue, M. H. Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 733-740, 2006.

Pallett, K. E.; Little, J. P.; Veerasekaran, P.; Viviani, F. Extended Summary New Perspectives in Mechanisms of Herbicide Action. Inhibition of 4-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase: the Mode of Action of the Herbicide RPA 201772 (Isoxaflutole). **Pesticide Science**, v. 50, n. 1, p. 83-84. 1997.

Pallett, K. E.; Little, J. P.; Sheekey, M.; Veerasekaran, P. The mode of action of isoxaflutole. I. Physiological effects, metabolism, and selectivity. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 62, n. 1, p. 113-124, 1998.

Prata, F.; Lavorenti, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, v. 6, n. 2, p. 17-22, 2000.

Seefeldt, S. S.; Jensen, S. E.; Fuerst, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, v. 9, n. 1, p. 218-227, 1995.

Salvador, J. O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agricola**, v. 56, s/n, p. 501-507, 1999.

Silva, A. A.; D'Antonino, L.; Vivian, R. Comportamento de herbicidas no solo. In: *Zambolim, L.; Silva, A. A.; Picanço, M. C. O que os agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários*. Viçosa: UFV, 2014. p. 213-291.

Taylor-Lovell, S.; Sims, G. K.; Wax, L. M. Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 20, p. 5626-5633, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que grande parte dos herbicidas utilizados tem como destino final o solo, é necessário conhecer a dinâmica dos mesmos neste ambiente para que se possa recomenda-los corretamente. Uma das técnicas utilizadas para avaliar o comportamento dos herbicidas no solo é o uso de bioensaios. Este estudo ajuda a compreender o comportamento dos herbicidas indaziflam e isoxaflutole em solos com distintos atributos. Foram estudadas espécies que têm maior sensibilidade a pequenas doses de indaziflam e a partir da definição da melhor espécie estudou-se a sorção, pelo método dos biensaios, do indaziflam em distintos solos. Buscou-se ainda conhecer a sorção do isoxaflutole em solos com distintos teores de matéria orgânica, por meio da adição de esterco bovino a dois solos. Neste trabalho determinou-se que as plantas de sorgo, trigo e aveia podem ser utilizadas para detecção de resíduos de indaziflam em solos contaminados. O pH foi o atributo do solo que mais influencia na sorção do indaziflam aos solos, seguido pelo teor de matéria orgânica. Em solos mais argilosos e com incremento de esterco a sorção do isoxaflutole é maior. A partir dos assuntos aqui tratados propõem-se elaboração de trabalhos com sorção de indaziflam em solos com aplicação de calcário e de esterco, visando avaliar os efeitos individuais dos atributos do solo que mais se relacionam com a sorção do herbicida e ainda realizar trabalhos avaliando a lixiviação deste produto em diversas condições de solo. Quanto ao isoxaflutole deve-se ainda elucidar questões quanto a recomendação deste produto em distintos solos, visto que a recomendação de doses deve-se basear também no conteúdo de matéria orgânica do solo e não apenas seu conteúdo de argila.