

SELEÇÃO DE BIOINDICADORES PARA HERBICIDAS RESIDUAIS APLICADOS EM PRÉ-EMERGÊNCIA

MIRIAM HIROKO INOUE^{1*}, MONISE CAMILA TSCHOPE², KASSIO FERREIRA MENDES³,
ANA KAROLLYNA ALVES DE MATOS⁴, BARBARA FERREIRA GOULART² e RONEI BEN²

Recebido em 27.01.2012 e aceito em 19.09.2012.

¹ Doutora em Agronomia, Professora do Departamento de Agronomia, Campus Universitário de Tangará da Serra, Universidade do Estado de Mato Grosso, CEP 78300-000, Tangará da Serra/MT, miriamhinoue@hotmail.com. Autor para correspondência.

² Acadêmicos do curso de Agronomia, Departamento de Agronomia, Campus Universitário de Tangará da Serra, Universidade do Estado de Mato Grosso, CEP 78300-000, Tangará da Serra/MT, motschope@hotmail.com; barbarafg_tga@hotmail.com; roneiben@hotmail.com

³ Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), Instituto de Ciências Agrárias, Campus Universitário de Rio Paranaíba, Universidade Federal de Viçosa, CEP 38810-000, Rio Paranaíba/MG, kassio_mendes_06@hotmail.com

⁴ Mestranda em Agronomia (Agricultura), Campus Universitário de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", CEP 18610-307, Botucatu/SP, karollyna_matos1991@yahoo.com.br

RESUMO: O trabalho objetivou avaliar a sensibilidade de espécies vegetais aos herbicidas hexazinone, diuron+hexazinone+sulfometuron, diuron e diuron+hexazinone visando monitorar a dinâmica desses herbicidas. Para tanto, foram conduzidos quatro experimentos, sendo que para cada experimento foi adotado o esquema fatorial 5 x 4, em um delineamento em blocos casualizados com três repetições. Os fatores referem-se às doses dos herbicidas pré-emergentes hexazinone, diuron+hexazinone+sulfometuron, diuron ou diuron+hexazinone (0; 12,5; 25; 50; 100% da dose recomendada), usados para controlar plantas daninhas antes da emergência das mesmas sobre o solo e os bioindicadores (*Cucumis sativus*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruziziensis* e *Zea mays*). Portanto, cada experimento foi composto por um herbicida, quatro bioindicadores e cinco doses. A porcentagem de controle das variáveis analisadas em relação à testemunha permitiu concluir que a espécie *C. sativus* foi a que apresentou maior sensibilidade, em comparação aos demais bioindicadores. Verificou-se ainda que a espécie *Z. mays*, não apresentou nenhuma fitointoxicação pela mistura diuron+hexazinone+sulfometuron, obtendo baixo controle em relação aos demais herbicidas. As espécies *B. decumbens* e *B. ruziziensis* foram controladas (< 80%) por todos os herbicidas. Portanto, dentre as espécies avaliadas, *C. sativus* foi a mais adequada para utilização como bioindicadora para os herbicidas testados.

Termos para indexação: sensibilidade, doses, resíduos.

SELECTION OF BIOINDICATOR FOR RESIDUAL HERBICIDES APPLIED IN PRE-EMERGENCY

ABSTRACT: The work aimed to evaluate the sensitivity of plant species in order to monitor the dynamics of hexazinone, diuron+hexazinone+sulfometuron, diuron and diuron+hexazinone. For this, four experiments were conducted, and for each experiment was adopted 5 x 4 factorial in a randomized block design with three replications. The factors relate to rates of pre-emergence herbicides hexazinone, diuron+hexazinone+sulfometuron, diuron or diuron+hexazinone (0, 12.5, 25, 50, 100% of recommended rate) used to control weeds before the emergence of the same on the soil and bioindicators (*Cucumis sativus*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruziziensis* and *Zea mays*). Therefore, each experiment consisted of one herbicide, four bioindicators and five rates. The herbicides were applied at four different rates (0, 12.5, 25.0, 50.0 and 100% of recommended rate). The percentage of the control variables in relation to the witness concluded that the species *C. sativus* showed the largest percentage of control, compared to other biomarkers. It was also found that the species *Z. mays*, have not been phytotoxicity by mixture diuron+hexazinone+sulfometuron, getting under control compared to other herbicides. The species *B. decumbens* and *B. ruziziensis* were controlled (< 80%) for all herbicides. Therefore, among the evaluated species, *C. sativus* was the most suitable for use as bioindicator for tested herbicides.

Index terms: sensitivity, rates, waste.

INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a utilização de herbicidas vem crescendo progressivamente no mundo. Com isso, cresce a importância do entendimento do destino final dessas moléculas, ou seja, o estudo do comportamento dos herbicidas no solo (Prata & Lavoretti, 2000). Neste sentido, o solo é, normalmente, o destino final dos pesticidas aplicados nas culturas de interesse agrícola. A persistência destes compostos depende das características físico-químicas específicas, embora seja fortemente influenciada por fatores relacionados ao ambiente, ao manejo do solo e à dose inicial do produto (Inoue et al., 2000).

O efeito residual e o potencial de lixiviação dos herbicidas podem ser avaliados por meio de vários métodos, tais como a cromatografia de camada delgada de solo (Helling, 1971; Sanchez-Martin et al., 1994), e do lisímetro (Ogner, 1987; Winton & Weber, 1996).

Assim, o método de bioindicadores é simples, rápido e de baixo custo sendo possível avaliar o tempo do resíduo com bioatividade, podendo assim, além de avaliar seu impacto ambiental, estimar o tempo em que o herbicida pode permanecer no solo e afetar culturas sensíveis, em um sistema de sucessão ou rotação de culturas (Blanco et al., 2010). Alternativamente, podem-se utilizar espécies vegetais (bioindicadores) que apresentam alta sensibilidade ao herbicida de interesse (Nunes & Vidal, 2009), sendo esta técnica mais acessível que o uso de radioisótopos e a cromatografia líquida e gasosa, que permitem identificar e quantificar de resíduos de herbicidas no solo (Inoue et al., 2002).

A utilização de herbicidas pré-emergentes com efeito residual prolongado é um dos fatores que determinam grande eficiência no controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição. Com essa alternativa, torna-se possível a execução de planos para controle efetivo de plantas infestantes na lavoura (Miller et al., 1995).

O herbicida hexazinone pertencente ao grupo químico das triazinonas, sua ação também é no Fotossistema II, inibindo o processo de transporte de elétrons da quinona Qa para a Qb paralisando a fotossíntese (Oliveira Jr., 2011). O tempo de meia-vida do hexazinone no Latossolo Vermelho Distrófico psamítico é de 125-145 dias (Queiroz et al., 2009). Portanto, a aplicação de

hexazinone em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tem eficácia em época seca, controlando adequadamente o *Cucumis sativus* com avaliação da atividade residual do herbicida em Nitossolo Vermelho eutrófico (Carvalho et al., 2012).

O herbicida diuron pertence ao grupo das uréias, com inibição do fotossistema II, interrompendo o fluxo de elétrons entre o fotossistema II e I, impedindo a realização da fotossíntese, ocasionando a morte da planta (Oliveira Jr., 2011). A *Brachiaria decumbens* foi um bioindicador eficiente para determinar a lixiviação e degradação do diuron em colunas de solo com textura franco-arenosa e argilosa (Inoue et al., 2008). A aveia (*Avena sativa* L.) também mostrou alta sensibilidade ao diuron para avaliar a persistência biológica e mobilidade em solo (Peñaherrera-Colina et al., 2005).

A mistura do diuron + hexazinone consiste em inibir o fotossistema II, controlando folhas largas e gramíneas, respectivamente (Oliveira Jr. & Constantin, 2001). Trabalhos desenvolvidos por Monquero et al. (2008b) e Monquero et al. (2008a), detectaram eficácia na fitointoxicação de *Cucumis sativus* ao efeito residual e lixiviação da mistura diuron + hexazinone, respectivamente, em Latossolo Vermelho distrófico (textura argilosa) e Latossolo Vermelho distroférrico (textura média). Por outro lado, o sulfometuron pertence ao grupo de herbicidas que inibe de forma não competitiva a enzima acetolactato sintase (ALS), resultando na interrupção da divisão celular e no crescimento da planta, levando a mesma à morte (Oliveira Jr., 2011).

Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a sensibilidade das espécies *Cucumis sativus*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruziziensis* e *Zea mays*, de acordo com a aplicação de diferentes doses dos herbicidas pré-emergentes hexazinone, diuron + hexazinone + sulfometuron, diuron e diuron + hexazinone, utilizando solo de textura argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação, sendo que as amostras de solos (Latossolo Vermelho, textura argilosa) foram coletadas em Tangará da Serra- MT, na

profundidade de 5 à 10 cm da superfície do solo (latitude 14°37'55"S, longitude 57°28'05"W e altitude de 488 m). As características encontram-se na Tabela 1.

As amostras de solos foram peneiradas para retirada das impurezas, secas ao ar ambiente e posteriormente acondicionadas em vasos de plástico com capacidade de 250 cm³.

Tabela 1. Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas nos experimentos.

Solo	pH		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺
	CaCl ₂	H ₂ O					
LV ^{1/}	4,9	4,2	0,7	4,4	0,7	0,5	0,2
	cmol _c dm ⁻³						
P (mg dm ⁻³)	C (g dm ⁻³)		CTC (cmol _c dm ⁻³)		V (%)	Areia	Silte (g kg ⁻¹)
1,2	18,7		5,1		14,7	329	117
							554

^{1/}LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa). Fonte: Laboratório Agro Análise, Cuiabá, MT.

Foram conduzidos quatro experimentos no esquema fatorial 5 x 4, com três repetições, dispostos em blocos casualizados. Os fatores referem-se às doses dos herbicidas hexazinone, diuron + hexazinone + sulfometuron, diuron ou diuron + hexazinone (0; 12,5; 25; 50; 100%) da dose recomendada pelo fabricante e os bioindicadores (*Cucumis sativus*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruziziensis* e *Zea mays*). Portanto, cada experimento foi composto por um herbicida, quatro bioindicadores e cinco doses. Assim a dose recomendada de cada herbicida para o solo estudado foi: (0,4 kg ha⁻¹) hexazinone, (2,6 kg ha⁻¹) diuron + hexazinone + sulfometuron, (4,0 kg ha⁻¹) diuron, e (1,9 kg ha⁻¹) diuron + hexazinone.

Nas aplicações dos herbicidas utilizou-se um pulverizador costal pressurizado por CO₂, munido de bicos tipo leque XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 2 kgf cm⁻², com volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹, de forma que a barra do pulverizador estava posicionada a 50 cm acima da borda superior dos vasos. Todas as aplicações foram realizadas com temperaturas inferiores à 36°C e umidade relativa de 60%. Após a aplicação dos herbicidas, 10 sementes do bioindicador selecionado (*B. decumbens*, *B. ruziziensis*, *C. sativus* e *Z. mays*) foram semeadas à profundidade de 1 cm, em 01/11/2011, sem a realização de desbaste e adubação e até aos 5 dias após a semeadura, germinaram todas as sementes de todos os bioindicadores. Nos períodos entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura do bioindicador, foram simuladas precipitações regulares equivalentes à média histórica de 38 anos, com lâmina mensal esperada de 145,74 mm e 4,85 mm dia⁻¹, ao nível de 75% de probabilidade em

novembro, para a região de Tangará da Serra, no mês de novembro (Martins et al., 2010).

Decorridos 21 dias após a semeadura das plantas bioindicadoras, foram realizadas avaliações visuais pelo critério de fitointoxicação, por uma escala de notas de 0 a 100%, em que zero corresponde a nenhuma injúria e 100% à morte das plantas (SBCPD, 1995). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e ajuste de regressão a 5% de probabilidade. Para análise destes dados foi utilizado o programa Sistema para Análise de Variância (Ferreira, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Hexazinone

Os resultados referentes ao controle de *Z. mays*, *C. sativus*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, com a aplicação de hexazinone (0,4 kg ha⁻¹) no solo são apresentados na Figura 1.

Na aplicação de hexazinone (0,4 kg ha⁻¹), o bioindicador *C. sativus* foi a espécie mais sensível, com 100% de controle acima da metade da dose recomendada (Figura 1). Os dados corroboram com Carvalho et al. (2012), que verificaram aos 70 dias após a aplicação de hexazinone (0,45 kg ha⁻¹), controle do *C. sativus* superior a 90%. Estudos desenvolvidos por Guerra et al. (2011), com herbicidas inibidores da ALS e bioindicadores *C. sativus*, *Glycine max*, *Z. mays* e *Phaseolus vulgaris*, destacam que o *C. sativus* também foi a espécie que apresentou maior sensibilidade, onde a partir da dose de 0,0013 kg ha⁻¹ de trifloxysulfuron-sodium os níveis de intoxicação se estabilizaram ficando entre 74 e 84% e com

doses a partir de 20 ha⁻¹ de pyrrithiobac-sodium, proporcionou sintomas severos de intoxicação (>90%).

Já para o *Z. mays*, a dose de 50% da recomendada, apresentou controle de somente 10%. Conforme o aumento da dose a variação de controle foi de pouca relevância, pois a dose recomendada proporcionou controle de 35% para esse bioindicador. Com 100% da dose aplicada, o bioindicador *B. ruziziensis* foi controlado em 50%, e a *B. decumbens* 60% (Figura 1). Estudo realizado por Carbonari et al. (2010) utilizaram 2,0 kg ha⁻¹ de clomazone + hexazinone, em Latossolo Vermelho-Escuro de textura média (19 g dm⁻³ de MO, 76% de areia, 20% de argila e 4% de silte), onde analisaram controles inferiores a 86,3% para *B. decumbens*.

O hexazinone é um ingrediente ativo de alta solubilidade (29.800 ppm a 25 °C), necessita de menor umidade no solo para se movimentar e atuar, quando comparado ao diuron (42 ppm a 25 °C) (Bouchard et al., 1985), sendo recomendado Ressaltando a importância do balanço hídrico da

região sobre este herbicida. Os valores obtidos estão em consonância com Arsego (2009), onde a aplicação do hexazinone na época seca, indica que quando aplicado o herbicida hexazinone em solos com maior teor de argila e de matéria orgânica, este apresenta dessorção intensa em relação à sorção, pois este processo envolve mecanismos com menor quantidade de energia de ligação do que a sorção, sendo comum a presença deste produto na solução do solo, estando passível à lixiviação.

Tal fato pode justificar o resultado insatisfatório desse herbicida em relação às plantas bioindicadoras (*Z. mays*, *B. decumbens* e *B. ruziziensis*), sendo o seu controle inferior a 50% (Figura 1), pois possui uma acentuada movimentação das suas moléculas no solo, além dos mecanismos fisiológicos destes bioindicadores que explicam a tolerância ao hexazinone, com exceção do *C. sativus* que foi sensível, apresentando resultados satisfatórios.

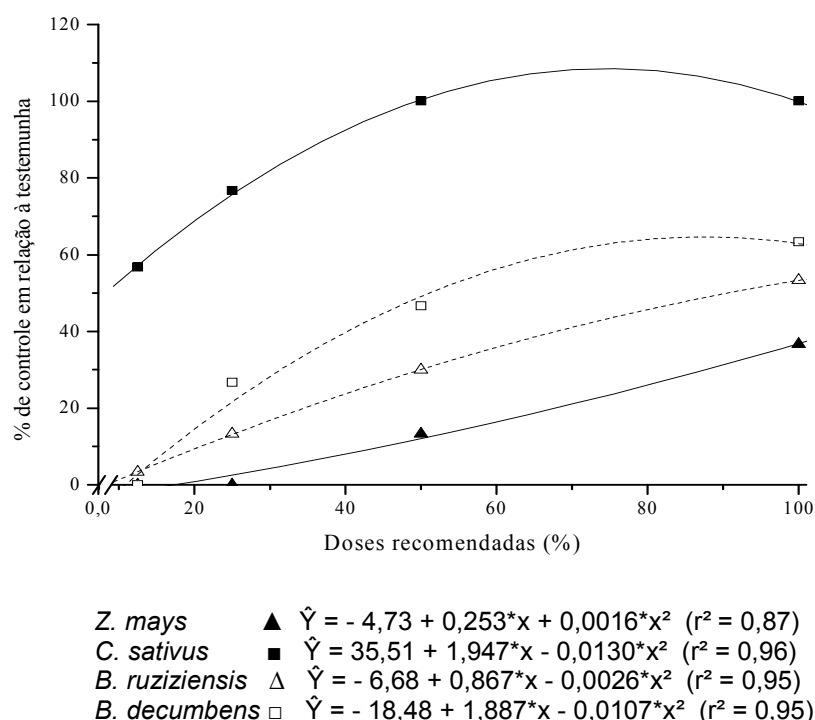


Figura 1. Porcentagem de controle de bioindicadores, em relação à testemunha, com a aplicação de 12,5%; 25%; 50% e 100% da dose recomendada de hexazinone (0,4 kg ha⁻¹).

Diuron + hexazinone + sulfometuron

Os resultados referentes ao controle de *Z. mays*, *C. sativus*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, com a aplicação de diuron + hexazinone + sulfometuron ($2,6 \text{ kg ha}^{-1}$) no solo são apresentados na Figura 2.

Na Figura 2 observa-se que a aplicação de 50% ($1,3 \text{ kg ha}^{-1}$) da dose recomendada de diuron + hexazinone + sulfometuron causou 100% de fitointoxicação nas espécies de *C. sativus*, já para a *B. ruziziensis* e *B. decumbens* o controle foi de 65%. Entretanto, na espécie *Z. mays*, a mistura não causou nenhuma injúria com a dose recomendada ($2,6 \text{ kg ha}^{-1}$), analisando que essa planta bioindicadora não apresentou sensibilidade a mistura.

Cason et al. (2010a), verificaram que os herbicidas diuron + hexazinone + sulfometuron ($2,1 \text{ kg ha}^{-1}$ no solo de textura argilosa) provocaram fitointoxicação nas plantas de *C. sativus*, sendo $\geq 80\%$. No entanto, de acordo com a Figura 2, doses de $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$ causaram 100% da morte das plantas de *C. sativus*.

Contudo, em aplicação isolada de cada herbicida da mistura, o diuron ($1,386 \text{ kg ha}^{-1}$ no solo de textura argilosa) apresentou menor potencial de lixiviação, provocando 60% de efeito fitotóxico nas plantas de *C. sativus*, pelo fato da molécula permanecer nas camadas mais superficiais do solo. O sulfometuron ($0,03335 \text{ kg ha}^{-1}$ no solo de textura pesada) apresentou efeito leve nas plantas de *C. sativus*, provocando 40% de controle aos 5 cm de profundidade (Cason et al., 2010a).

Entretanto, segundo Pereira (2004), o grau de fitointoxicação causado por um herbicida depende da dose, do tipo de aplicação, da presença de adjuvante, do tipo e da umidade do solo, do estágio de desenvolvimento da cultura, das condições climáticas no momento e após a aplicação, e do posicionamento do herbicida no perfil do solo.

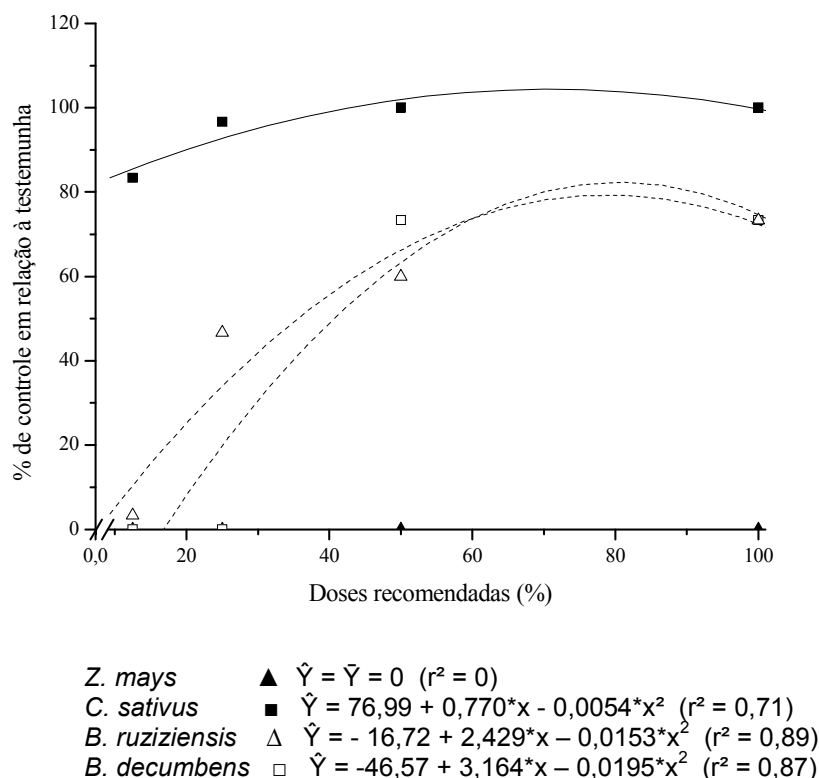


Figura 2. Porcentagem de controle de bioindicadores, em relação à testemunha, com a aplicação de 12,5%; 25%; 50% e 100% da dose recomendada de diuron + hexazinone + sulfometuron ($2,6 \text{ kg ha}^{-1}$).

Diuron

Os resultados referentes ao controle de *Z. mays*, *C. sativus*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, com a aplicação de diuron (4,0 kg ha⁻¹) no solo são apresentados na Figura 3.

As doses máximas do herbicida diuron proporcionaram controle inferior à 40% para *Z. mays* (Figura 3). O bioindicador *C. sativus* apresentou 100% de controle com doses maiores ou iguais a 50% da quantidade recomendada, evidenciando que com a redução para até 50% da dose recomendada é possível obter excelente controle. Mesmo com a aplicação de 100% da dose recomendada, constatou-se o controle para *B. ruziziensis* e *B. decumbens* em apenas 70%, ressaltando que a utilização da metade da dose causou o mesmo efeito fitotóxico na planta bioindicadora *B. decumbens* (Figura 3).

Dias et al. (2003) utilizaram a dose (2,4 kg ha⁻¹) do herbicida diuron em duas espécies de capim-colchão (*Digitaria ciliaris* e *Digitaria nuda*). Os autores observaram redução da massa seca de 70 e 90%, respectivamente para *D. nuda* e *D. ciliaris* e evidenciando a diferença de sensibilidade entre as espécies, sendo que a espécie *D. nuda* necessitou de doses maiores para apresentar a mesma redução no crescimento.

Inoue et al. (2011) utilizaram *C. sativus* e *B. decumbens* como espécies bioindicadoras, no estudo com herbicida diuron (1,60 e 3,20 kg ha⁻¹), observando os dados relativos às doses de diuron, notaram que o herbicida apresentou alta estabilidade em solo argiloso e proporcionou excelente controle (acima de 90%) para a *B. decumbens*. Com essa mesma dose (40%) de diuron em solo argiloso (55,4% de argila e 18,7 g dm⁻³ de MO), tem se observado um controle inferior (67%) para a *B. decumbens*, aumentando o controle de acordo com o aumento das doses (Figura 3).

Peñaherrera-Colina et al. (2005), verificaram a fitointoxicação, utilizando o herbicida diuron (3,2 kg ha⁻¹). A aveia (*Avena sativa*) mostrou alta sensibilidade aos herbicidas testados (ametryn a 2,0 kg ha⁻¹, diuron a 3,2 kg ha⁻¹ e oxyfluorfen a 0,48 kg ha⁻¹) e destes produtos o diuron foi o que apresentou a maior persistência e a menor mobilidade no solo, pois de acordo Doris et al. (2009), o diuron possui coeficiente de sorção (K_d) de 2,7 à 14,7 mL g⁻¹ e elevado coeficiente de sorção para teor de carbono orgânico (K_{oc}), com valor máximo de 917 mL g⁻¹, destacando que quanto maior o K_{oc} menor será a lixiviação do herbicida.

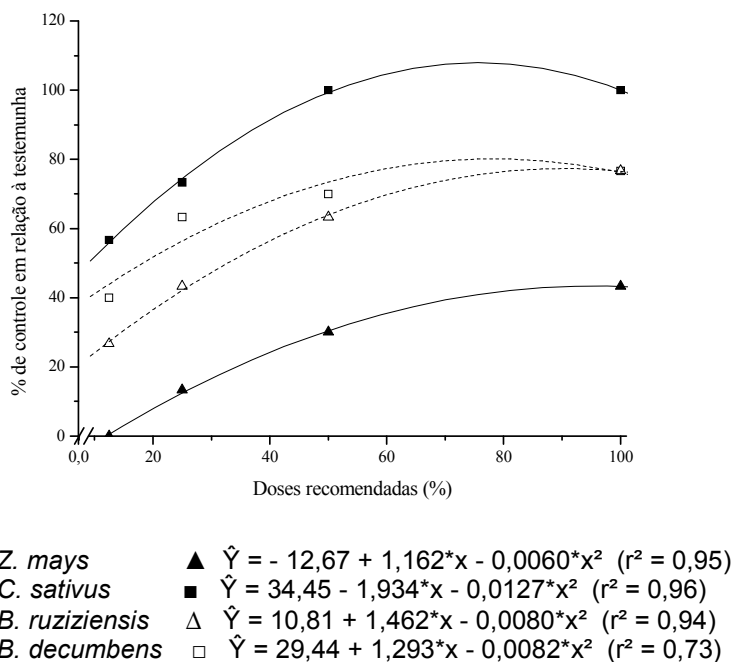


Figura 3. Porcentagem de controle de bioindicadores, em relação à testemunha, com a aplicação de 12,5%; 25%; 50% e 100% da dose recomendada de diuron (4,0 kg ha⁻¹).

Diuron + hexazinone

Os resultados referentes ao controle de *Z. mays*, *C. sativus*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, com a aplicação de diuron + hexazinone ($1,9 \text{ kg ha}^{-1}$) no solo são apresentados na Figura 4. As doses recomendadas ($1,9 \text{ kg ha}^{-1}$) do produto diuron + hexazinone causaram 20% de controle nas plantas bioindicadoras de *Z. mays*, no entanto metade da dose ($0,95 \text{ Kg ha}^{-1}$) de diuron + hexazinone proporcionou 100% do controle da planta bioindicadora de *C. sativus*, obtendo excelente controle, acima de 90% para todas as doses avaliadas. Em relação a *B. ruziziensis* e a *B. decumbens* a aplicação de 50% da dose proporcionou controle de 70% e 75% respectivamente, obtendo constante elevação para doses superiores (Figura 4).

Dados semelhantes foram observados por Monquero et al. (2008b), em que aos 14 e 21 dias após a semeadura em Latossolo Vermelho distrófico (textura média), a mistura diuron + hexazinone ($1,097 + 0,0277 \text{ kg ha}^{-1}$) afetou o desenvolvimento do bioindicador *C. sativus* em 100%, mostrando-se estáveis ao longo dos 90 dias de período de seca.

Ao simular 80 mm de chuva, o herbicida diuron + hexazinone ($1,17 + 0,33 \text{ kg ha}^{-1}$) aplicado sobre o solo com textura argilosa e média atingiu a camada de 30 cm com aproximadamente 25 e 60% de controle sobre o *C. sativus*, respectivamente (Monquero et al., 2008a). A diferença de controle em relação a *C. sativus*, pode se justificar devido à menor dosagem, comparando a dosagem da Figura 4 que foi de $1,9 \text{ kg ha}^{-1}$ da mistura e o seu respectivo controle (100%).

Cason et al. (2010b) avaliaram a porcentagem de controle aos 21 dias após a semeadura do bioindicador *C. sativus* em Latossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). Após 20 mm de chuva, os herbicidas diuron + hexazinone ($1,404 + 0,396 \text{ kg ha}^{-1}$ no solo de textura argilosa) provocaram injúrias severas nas plantas de *C. sativus* até 15 cm de profundidade e sintomas decrescentes até a profundidade de 20 e 30 cm, respectivamente.

Evidenciou-se ainda que isolado, o hexazinone provocou injúrias muito severas nas plantas de *C. sativus* até 15 cm de

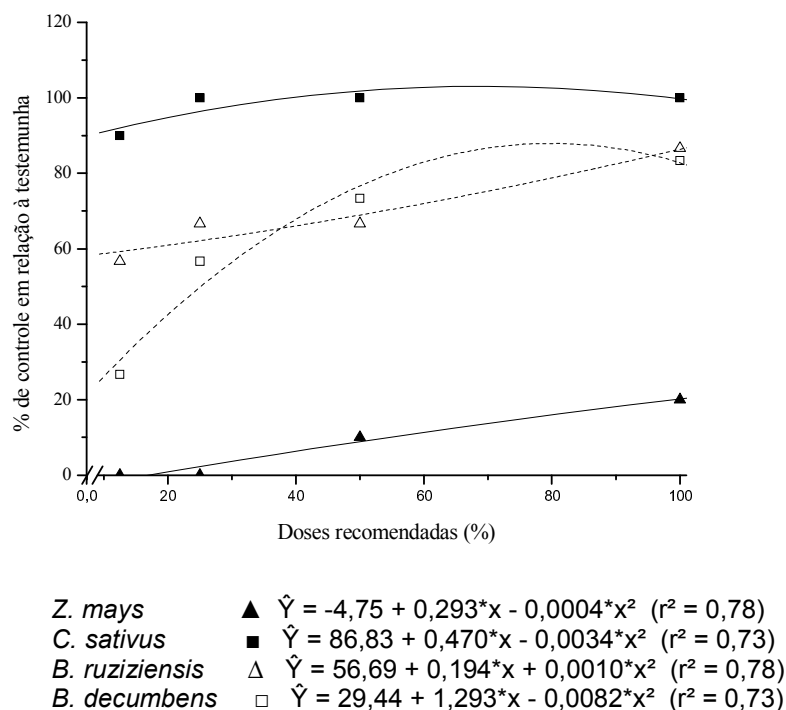


Figura 4. Porcentagem de controle de bioindicadores, em relação à testemunha, com a aplicação de 12,5%; 25%; 50% e 100% da dose recomendada de diuron + hexazinone ($1,9 \text{ kg ha}^{-1}$).

profundidade, com 100% de controle e sintomas decrescentes até a profundidade de 30 cm. Já o herbicida diuron, por ter baixa solubilidade, apresentou menor potencial de lixiviação provocando 80% de efeito fitotóxico nas plantas de *C. sativus* até os 10 cm de profundidade (Cason et al., 2010b).

A precipitação de 40 mm fez com que as misturas diuron + hexazinone ($1,17 + 0,33$ e $1,33 + 0,16$ kg ha⁻¹) aos 21 dias após o tratamento, provocassem injúrias muito severas nas plantas de *C. sativus* até 15 cm de profundidade, com 100% de controle e sintomas decrescentes até a profundidade de 20 cm para a dose $1,33 + 0,16$ kg ha⁻¹ e 25 cm para $1,17 + 0,33$ kg ha⁻¹ (Monquero et al., 2008c).

Nos bioensaios realizados por Cason et al. (2010b), a dose da mistura diuron + hexazinone recomendada ($1,8$ kg ha⁻¹) causou 80% de controle na espécie *C. sativus*. No entanto, de acordo com a Figura 4, a utilização da metade dessa dose sugerida pelos autores ($0,95$ kg ha⁻¹), proporcionou 100% de controle de *C. sativus*. Corroborando com esses dados, podemos verificar a eficiência do herbicida aplicado em doses inferiores, gerando economia e menos impactos no ambiente.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados, foi possível verificar que o bioindicador *C. sativus* foi a planta mais sensível aos herbicidas hexazinone, diuron + hexazinone + sulfometuron, diuron e diuron + hexazinone. Por outro lado, *Z. mays* apresentou o menor controle em relação às demais espécies bioindicadoras, evidenciando nenhuma fitointoxicação com as diferentes doses da mistura diuron + hexazinone + sulfometuron, ressaltando que esta espécie não é indicada para detectar a permanência destes herbicidas. De modo geral, as diferentes porcentagens das doses recomendadas dos herbicidas diuron e diuron + hexazinone em solo argiloso, influenciaram o controle das quatro espécies bioindicadoras avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSEGO I.B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BLANCO, F.M.G.; VELINI, E.D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.71-75, 2010.
- BOUCHARD, D.C.; LAVY, T.L.; LAWSON, E.R. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. **Journal of Environmental Quality**, Bethesda, v.14, n.2, p.229-233, 1985.
- CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; CORREA, M.R.; NEGRISOLI, E.; ROSSI, C.V.; OLIVEIRA, C.P. Efeitos de períodos de permanência de clomazone + hexazinona no solo e na palha de cana-de-açúcar antes da ocorrência de chuvas na eficácia de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.28, n.1, p.197-205, 2010.
- CARVALHO, S.J.P.; DIAS, A.C.R.; MINAMIGUCHI, M.H.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.278-285, 2012.
- CASON J.B.; SABBAG, R.; STOREL, P.; SILVA, V.P.G.; SILVA, P.V.; MONQUERO, P.A. Lixiviação e persistência de diuron + hexazinone + sulfometuron, hexazinone, sulfometuron e diuron. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010a, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: SBCPD, 2010a, p.3396-3400.
- CASON J.B.; STOREL, P.; SABBAG, R.; SILVA, V.P.G.; SILVA, P.V.; MONQUERO, P.A. Lixiviação e persistência de diuron + hexazinone, hexazinone e diuron. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010b, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: SBCPD, 2010b, p.3396-3400.
- DIAS, N.M.P.; REGITANO, J.B.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; TORNISIELO, V.L. Absorção e translocação do herbicida diuron por espécies suscetível e tolerante de capim-colchão (*Digitaria* spp.). **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.293-300, 2003.

DORES, E.F.G.C.; SPADOTTO, C.A.; WEBER, O.L.S.; CARBO, L.; VECCHIATO, A.B.; PINTO, A.A. Environmental behaviour of metolachlor and diuron in a tropical soil in the central region of Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, Guelph, v.197, n.1, p.175-183, 2009.

FERREIRA, D.F. **Programa Sisvar.exe**: Sistema de Análise de Variância. Versão 3.04. Lavras: UFLA, 2003.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; DAN, H.A.; ALONSO, D.G.; JUMES, T.M.C. Seleção de espécies bioindicadoras para os herbicidas trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Umuarama, v.10, n.1, p.37-48, 2011.

HELLING, C.S. Pesticide mobility in soils. III. Influence of soil properties. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.35, n.5, p.743-748, 1971.

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**, Viçosa, v.20, n.1, p.125-132, 2002.

INOUE M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G.; SANTANA, D.C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.supl., p.631-638, 2008.

INOUE M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, M.F. Persistência da atividade biológica de imazaquin e imazethapyr aplicados em duas épocas do ano. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.22, n.4, p.993-997, 2000.

INOUE, M.H.; SANTANA, C.T.C.; OLIVEIRA JR., R.S.; POSSAMAI, A.C.S.; SANTANA, D.C.; ARRUDA, R.A.D.; DALLACORT, R.; SZTOLTZ, C.L. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v.29, n.2, p.429-435, 2011.

MARTINS, J.A.; DALLACORT, R.; INOUE, M.H.; SANTI, A.; KOLLING, E.M.; COLETTI, A.J. Probabilidade de precipitação para a microrregião de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.3, p.291-296, 2010.

MILLER, L.C.; RESENDE, L.C.L.; MEDEIROS, A.M.L. Manejo de herbicidas na lavoura de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.13, n.34, p.9-13, 1995.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; AMARAL, L.R.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; INACIO, E.M. Lixiviação de clomazone + ametryn, diuron + hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.3, p.685-691, 2008a.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V.; AMARAL, L.R. Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.1, p.185-193, 2008b.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.2, p.403-409, 2008c.

NUNES, A.L.; VIDAL, R.A. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.19, n.1, p.19-28, 2009.

OLIVEIRA JR., R.S. Mecanismos de Ação de Herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (eds.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p.141-192.

OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. 1.ed. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001.362p.

PEÑAHERRERA-COLINA, L.A.; SOUZA, I.F.; GUILHERME, L.R.G.; BUENO FILHO, J.S.S. Persistência biológica de ametryn, diuron e oxyfluorfen no solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.5, p.980-987, 2005.

PEREIRA, W. Manejo e controle de plantas daninhas em hortaliças. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.519-570.

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

QUEIROZ, S.C.N.; FERRACINI, V.L.; GOMES, M.A.F.; ROSA, M.A. Comportamento do herbicida hexazinone em área de recarga do aquífero Guarani cultivada com cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v.32, n.2, p.378-381, 2009.

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

WINTON, K.; WEBER, J.B. A review of field lysimeter studies to describe the environmental fate of pesticides. **Weed Technology**, Champaign, v.10, n.1, p.202-209, 1996.

★★★★★