**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Lixiviação e eficácia de controle de plantas daninhas da formulação
de diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em diferentes
solos, condições hídricas e presença de palha**

Danilo de Brito Garcia

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia**

**Piracicaba
2012**

Danilo de Brito Garcia
Engenheiro Agrônomo

**Lixiviação e eficácia de controle de plantas daninhas da formulação de diurom
+ hexazinona + sulfometurom-metílico em diferentes solos, condições hídricas
e presença de palha**

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia**

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Garcia, Danilo de Brito

Lixiviação e eficácia de controle de plantas daninhas da formulação de diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em diferentes solos, condições hídricas e presença de palha / Danilo de Brito Garcia.- - Piracicaba, 2012.
77 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Cana-de-açúcar 2. Capim colônia 3. Capim colchão 4. Corda-de-viola - Planta daninha 5. Curvas de dose-resposta 6. Herbicidas 7. Palhas I. Título

CDD 632.58
G216L

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

“Deus é tão visível quanto um átomo e tão palpável quanto uma estrela. Não é questão de acreditar ou não, é questão de viver.”

Danilo de Brito Garcia

“É tudo de acordo com o geral e o específico.”

Terry Pratchett

Aos meus pais e avôs e a todos que um dia me influenciaram a seguir e gostar do que faço.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais e irmãos pelos constantes incentivos;
- Ao meu pai, Engenheiro Agrônomo, pela ótima influência que me deu;
- A tudo e todos que representam para mim a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, que sempre me fez avançar mais veloz;
- Ao Prof. Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela prontidão e orientação;
- À Dupont do Brasil S.A. representada pelos excelentes profissionais Carlos Alberto Lovatto (pela oportunidade), Nilton Cesar Picinato e André Luis Moraes (pela aprovação), João B. Cason (pelas indicações), Samuel Neves Rodrigues Alves (pela enorme ajuda);
- A todos com os quais já passei bastante tempo conversando sobre este trabalho e que também ajudaram de alguma outra forma: Rodrigo B. Rodrigues, Fabrícia C. dos Reis, Roberto E. B. de Toledo e Ronaldo Chiavegato;
- A toda a equipe do laboratório de biologia do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento DuPont de Paulínia;
- A toda a equipe de campo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento DuPont de Paulínia, para os quais eu falei que um dia seria escrito algo a respeito dos vasos com que estávamos trabalhando;
- À Luciane A. Lopes do departamento de Fitotecnia pelo auxílio;
- Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias pela ajuda nas análises estatísticas;

- Aos meus primeiros companheiros de experimentação em campo, que sempre me incentivaram na pesquisa, Dr. José Antônio Delfino Barbosa Filho e Dr. Frederico Márcio Corrêa Vieira;

- A todos que participaram deste trabalho de alguma forma, direta ou indiretamente;

OBRIGADO.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
Referências	16
2 CURVAS DE DOSE-RESPOSTA DA FORMULAÇÃO CONTENDO OS HERBICIDAS DIUROM + HEXAZINONA + SULFOMETUROM-METÍLICO EM SOLOS COM TEXTURAS CONTRASTANTES	19
Resumo.....	19
Abstract	19
2.1 Introdução	20
2.2 Material e Métodos	22
2.3 Resultados e Discussão	27
2.4 Conclusões.....	37
Referências	38
3 LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS DIUROM, HEXAZINONA E SULFOMETUROM- METÍLICO APLICADOS EM FORMULAÇÃO COMERCIAL E ISOLADAMENTE EM DOIS SOLOS COM TEXTURAS CONTRASTANTES	41
Resumo	41
Abstract	41
3.1 Introdução	42
3.2 Material e Métodos	45
3.3 Resultados e Discussão	46
3.4 Conclusões.....	52
Referências	53
4 EFICÁCIA DE DIFERENTES HERBICIDAS APLICADOS EM CONDIÇÕES DE RESTRIÇÃO HÍDRICA SOBRE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR	57
Resumo	57
Abstract	57
4.1 Introdução	58
4.2 Material e Métodos	61
4.3 Resultados e Discussão	64
4.4 Conclusões.....	73

Referências.....	73
5 CONCLUSÕES GERAIS	77

RESUMO

Lixiviação e eficácia de controle de plantas daninhas da formulação de diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em diferentes solos, condições hídricas e presença de palha

A expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil é evidente, e para um eficaz manejo dessas extensas áreas, é necessário um bom planejamento das operações agrícolas. Nesse sentido, a aplicação de herbicidas pode ocorrer até no período seco do ano e em condições de solo bem distintas. Sabe-se que os diferentes ambientes nos quais os herbicidas são aplicados têm grande influência em sua eficácia, e entender essas diferenças é importante para se obter o melhor rendimento e se fazer o correto uso dessa excelente ferramenta de manejo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da formulação comercial contendo os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico quando aplicado em solos com texturas contrastantes, além de avaliar a lixiviação desse herbicida e seus componentes e também como condições de restrição hídrica em presença de palha de cana-de-açúcar podem afetar o seu efeito residual e de seus componentes. Foram realizados ao todo 5 experimentos sendo 3 com o uso de curvas de dose-resposta, avaliando-se capim-colchão e corda-de-viola; um com lixiviação em tubos de PVC, avaliando-se corda-de-viola, e um com períodos de restrição hídrica, avaliando-se corda-de-viola e capim-colonião. Os resultados obtidos nos experimentos com as curvas de dose-resposta demonstraram a grande influência da textura na eficácia do herbicida, com quantidades de argila menores que 30% sendo suficientes para gerar respostas consideravelmente distintas. O experimento com lixiviação demonstrou que as três moléculas do herbicida comportam-se diferentemente no solo, o que também é importante para o seu uso em diferentes ambientes. Os resultados obtidos no experimento com períodos de restrição hídrica em palha de cana-de-açúcar permitem concluir que apesar de as três moléculas comportarem-se diferentemente no ambiente, elas se complementam no controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas, e têm o efeito residual pouco influenciado por períodos de restrição hídrica.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Curvas de dose-resposta; Corda-de-viola; Capim-colonião; Capim-colchão

ABSTRACT

Leaching and efficacy for weed control by the formulation of diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl in different soils, hydric conditions and presence of straw

The expansion of areas planted with sugar cane in Brazil is clearly noticeable and a good planning of agricultural operations is necessary for an effective management of these extensive areas. Accordingly, the application of herbicides may occur even in the dry season and in distinctive soil conditions. It is known that the different environments in which the herbicides are applied have great influence on their effectiveness and understanding these differences is an important factor in order to obtain best performance and make proper use of this excellent management tool. Thus, this work aimed to evaluate the behavior of the commercial formulation containing the herbicides diuron + hexazinone + sulfometurom-methyl when applied to soils with contrasting textures, and also to evaluate the leaching of this herbicide and its components as well as how conditions of water restriction with presence of sugarcane staw can affect your residual effect and its components. Five experiments were performed, three of those using dose-response curves, to evaluate crabgrass and morning glory; one with leaching using PVC tubes, evaluating morning glory and one with periods of water restriction, evaluating morning glory and guinea grass. Obtained results of the experiments with the dose-response curves demonstrated the great influence of the texture on the effectiveness of the herbicide, clay amounts of less than 30% being sufficient to generate considerably distinct responses. The experiment with leaching showed that the three molecules behave differently in the soil, which is also important to their use in different environments. Obtained results in the experiment with periods of water restriction on straw sugarcane allow the conclusion that although the three molecules behave differently in the environment, they complement each other in control of mono and dicotyledonous weeds, and they have little residual effect influenced by periods of water restriction.

Keywords: Sugarcane; Dose-response curves; Morning glory; Guinea grass; Crabgrass

1 INTRODUÇÃO

É notável o crescimento que o cultivo da cana-de-açúcar tem apresentado nos últimos anos. Este crescimento é evidenciado não só pela maior exposição da cultura na mídia, mas também devido às oscilações de preço do álcool e açúcar e os impactos cada vez mais perceptíveis à população. Além disso, surgem questões relacionadas à produção de alimentos e também à própria mudança no cenário agrícola, com cada vez mais usinas, destilarias e canaviais surgindo.

A área total cultivada com cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil, nas últimas seis safras, cresceu aproximadamente 80%, passando de 4,6 milhões de ha na safra 2005/06 para 8,3 milhões de ha na safra 2010/11. Somente no estado de São Paulo, essa cultura ocupa aproximadamente 5,3 milhões de hectares (CANASAT, 2011).

A tendência de crescimento é consequência do aumento no consumo de açúcar e da perspectiva de expansão do mercado de etanol, que pode ser explicada, principalmente, pelo crescimento da frota de carros bicomcombustíveis no país e pela pressão da sociedade por fontes de energia renováveis e menos poluentes (FRANCONERE, 2010).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (MAULE; MAZZA; MARTA, 2001). Esta ideia também está se disseminando ao mostrar que, pelo custo, pela tecnologia e pelos resultados energéticos e ambientais, o combustível produzido pela gramínea é a alternativa mais viável aos derivados do petróleo (ANUÁRIO..., 2010).

A participação da cultura no fornecimento de matéria prima para produção de açúcar e álcool, como fonte alternativa de energia, tem sido relevante para o crescimento econômico do Brasil (PICOLI et al., 2009). Além disso, o aumento de investimentos estrangeiros no setor indica sua maior exposição aos mercados internacionais (MORAES, 2011; ANUÁRIO..., 2010). O etanol brasileiro pode ser considerado a opção mais preferível em termos de eficiência energética e de emissões de gases do efeito estufa, sendo o uso do bagaço para a cogeração de

energia nas plantas de produção de etanol o fator chave para o resultado favorável (CARDOSO; ÖZDEMİR; ELTROP, 2012).

Nesse contexto, seja a partir de investimentos estrangeiros ou nacionais, a cana-de-açúcar plantada ou proveniente de rebrota, irá crescer sujeita a fatores que comprometem a sua produtividade, sendo as plantas daninhas de elevada importância nesse sentido.

Dentre os fatores bióticos, as plantas daninhas são um dos principais componentes do agroecossistema da cana-de-açúcar que interferem no desenvolvimento e na produtividade desta cultura (KUVA et al., 2003). Podem ocorrer interferências negativas à cultura causadas por efeitos alelopáticos, além de decréscimo na longevidade do canavial, queda na qualidade industrial da matéria-prima e dificuldade nas operações de colheita e transporte, além do fato de que as plantas daninhas podem ser hospedeiras de pragas e doenças da cultura (PROCÓPIO, 2008).

O manejo de plantas daninhas na cana-de-açúcar nos sistemas de produção atualmente em uso está baseado na integração de medidas culturais, mecânicas, físicas e químicas. No entanto, o principal método de controle empregado é o uso de herbicidas aplicados em pré-emergência, pós-emergência inicial ou eventualmente em pós-emergência tardia em jato dirigido à entrelinha da cultura (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

Considerando o mercado de defensivos agrícolas na cultura da cana-de-açúcar, o segmento de herbicidas é o que detém maior relevância, representando, em 2009, mais de 68% do mercado, segundo dados do Instituto Kleffmann de pesquisa de mercado (FRANCONERE, 2010)

Os herbicidas atualmente em uso na cultura da cana-de-açúcar apresentam variações específicas de eficácia de controle das espécies que compõem a comunidade de plantas daninhas infestantes das áreas onde são aplicados. Além disso, apresentam variações no grau de seletividade para a cultura em função da dose, época de aplicação, condições edáficas e climáticas, estágio fenológico e condições fisiológicas e bioquímicas da cultura e das plantas daninhas. Por outro lado, a gama de produtos disponíveis no mercado varia em suas características físico-químicas, que interagem com os aspectos climáticos, edáficos e culturais do sistema de produção. Essas interações permitem variabilidade de aplicação e usos de herbicidas, posicionando-os em diferentes nichos de aplicação na cultura, sendo

que, para a correta seleção desta estratégia, é necessário o conhecimento das interações mencionadas (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

Um aspecto a ser observado é a composição do solo no qual o herbicida será aplicado, principalmente quanto aos teores de argila e matéria orgânica. Eles influenciam diretamente na disponibilidade dos produtos para a solução do solo, desde que apresentem uma força de adsorção molecular fraca ou moderada, regulada pelo coeficiente de distribuição solo/água (K_d) ou pelo coeficiente de distribuição normalizado para carbono orgânico (K_{oc}). Assim, deve-se usar produtos e doses recomendadas para cada tipo de solo, procurando evitar a ocorrência de lixiviação acentuada em produtos de K_d ou K_{oc} muito baixos e, também, a retenção de produtos em condição inversa. Para efeito no ambiente, quanto maior o valor de K_d ou K_{oc} apresentado pelo produto, maior será sua tendência a ser adsorvido ao solo, imobilizando-o (GEBLER; SPADOTTO, 2008).

A adsorção é o processo que mais influi na lixiviação de herbicidas no solo, porém as condições de umidade e de temperatura também têm papel relevante. A lixiviação compreende o transporte em profundidade, através do perfil do solo, da fração dos sólidos dissolvidos na solução do solo (GEBLER; SPADOTTO, 2008).

Como fatores que podem atuar na degradação de herbicidas, pode-se citar a fotólise e a volatilização, importantes principalmente para herbicidas aplicados na época seca do ano.

No estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é colhida durante o inverno, época de pouca ocorrência de chuvas. No entanto, muitos produtores, devido às questões de planejamento e operações agrícolas, optam por utilizar o controle químico mesmo durante o período de restrição hídrica (AZANIA; AZÂNIA; FURTADO, 2006). O mercado tem oferecido novas moléculas, capazes de se adaptar a condição de solo seco ou semi-seco, popularmente chamadas de “herbicidas de seca” (CHRISTOFFOLETI et al., 2005). Entre elas está o diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico (ALVES, 2010).

Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de diferentes texturas de solo na eficácia e lixiviação do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico e também de diferentes períodos de restrição hídrica na eficácia deste herbicida e de seus componentes, para melhor compreender seu comportamento no ambiente.

Referências

ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo na cultura da cana-de-açúcar.** 2010. 126p.. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ANUÁRIO Brasileiro Da Cana-De-Açúcar – 2010. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2010. 136p.

AZANIA, C.A.M.; AZÂNIA, A.A.P.M.; FURTADO, D.E. Biologia e manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: CP 2, 2006. p. 173-191.

CANASAT, **Mapeamento de cana via imagens de satélite.** Tabelas. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/tabelas.html>>. Acesso em: 21 ago. 2011.

CARDOSO, R.S.; ÖZDEMİR, E.D.; ELTROP, L. Environmental and economic assessment of international ethanol trade options for the German transport sector. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 36, p. 20-30, 2012.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2005. 1 CD-ROM.

FRANCONERE, R. **Mercado de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar.** 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

GEBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 39-69.

KUVA, M.A. GRAVENA, R.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n.1, p. 37-44, 2003.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTA JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MORAES, M.A.F.D. Perspective: lessons from Brazil. **Nature**, London, v. 474, p. S25-S25, 2011.

PICOLI, M.C.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 476-531.

2 CURVAS DE DOSE-RESPOSTA DA FORMULAÇÃO CONTENDO OS HERBICIDAS DIUROM + HEXAZINONA + SULFOMETUROM-METÍLICO EM SOLOS COM TEXTURAS CONTRASTANTES

Resumo

A cana-de-açúcar é uma cultura de destaque em termos de distribuição territorial no Brasil, ocupando vastas áreas em diferentes regiões. Os herbicidas são bastante usados no controle de plantas daninhas nessa cultura, e as interações desses com o solo são importantes para entender o seu comportamento nos diferentes ambientes e as implicações na eficácia dos produtos. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência de texturas contrastantes de solo na eficácia do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico através do uso de curvas de dose-resposta. Para isso, foram realizados três experimentos em casa de vegetação com o delineamento experimental de blocos ao acaso e esquema fatorial de tratamentos. Para a planta daninha *Digitaria* spp. realizou-se um experimento com solos de texturas argilosa, média e arenosa. As doses utilizadas foram 0D, (1/256)D, (1/64)D, (1/32)D, (1/16)D, (1/8)D, (1/2)D, 1D, 2D e 4D, sendo “D” igual a 1,7 Kg ha⁻¹, que é uma das doses de campo registradas, equivalente a 1025,1; 289 e 24,25,35 g ha⁻¹ de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico, respectivamente. Para a planta daninha *Ipomoea triloba* foram feitos dois experimentos em casa de vegetação, um com dois solos (texturas argilosa e média), usando as mesmas doses e concentrações do experimento com *Digitaria* spp., e outro usando dois solos (de texturas argilosa e arenosa) e suas misturas nas proporções ½ + ½ e ¾ + ¼. Nesse experimento, as doses utilizadas foram 0D, (1/64)D, (1/8)D, (1/4)D, 1D e 1,77D, sendo “D” igual a 1,3 Kg ha⁻¹, que é uma das doses de campo registradas, equivalente a 783,9; 221 e 18,85 g ha⁻¹ de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico, respectivamente. Em todos os experimentos observou-se a influência das diferentes texturas sobre o herbicida, sendo importantes fatores edafológicos a quantidade de argila e matéria orgânica. Solos com teores até 24 a 25% de argila e 17 a 19 g dm⁻³ de matéria orgânica tiveram respostas bem distintas de solos com quantidades acima desses valores. A planta daninha *Digitaria* spp. demonstrou ser menos suscetível ao herbicida quando comparada a *Ipomoea triloba*, que necessitou de menor dose para se obter o mesmo nível de controle.

Palavras chave: Cana-de-açúcar, Corda-de-viola; Capim-colchão

Abstract

Sugarcane is a highlighted crop in terms of territorial distribution in Brazil, and it occupies large areas in different regions. Herbicides are widely used for weed control in this culture and its interaction with the soil is important to understand its behavior in different environments and the implication in products' efficacy. The objective of this research was to evaluate the influence of contrasting soil textures in the efficacy of

the herbicide diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl through the use of dose-response curves. Three greenhouse experiments were done with complete randomized blocks design and a factorial scheme of treatments. For the weed *Digitaria* spp. one experiment was made with clay, sandy-clay and sandy soils. Used doses were 0D, (1/256)D, (1/64)D, (1/32)D, (1/16)D, (1/8)D, (1/2)D, 1D, 2D and 4D, "D" being equal to 1,7 kg ha⁻¹, which is one of the recommended field rates, equivalent to 1025,1; 289 and 24,65 g ha⁻¹ of diuron, hexazinone and sulofmeturon-methyl, respectively. For the weed *Ipomoea triloba* two experiments were made in greenhouse, one with two soils (clay and sandy-clay textures), using the same rates and concentrations of the experiment with *Digitaria* spp., and other using two soils (clay and sandy textures) and the mixtures in the ½ + ½ e ¾ + ¼ proportions. In this experiment used rates were 0D, (1/64)D, (1/8)D, (1/4)D, 1D and 1,77D, "D" being equal to 1,3 Kg ha⁻¹, which is one of the recommended field rates, equivalent to 783,9; 221 e 18,85 g ha⁻¹ of diuron, hexazinone and sulofmeturon-methyl, respectively. In all the experiments it were observed the influence of the different textures on the herbicide, with the amount of clay and organic matter as two important edaphological factors. Soils with up to 24-25% clay and 17-19 g dm⁻³ of organic matter had very different responses from those of the soils with values above these amounts. The weed *Digitaria* spp. proved to be less susceptible to the herbicide when compared to *Ipomoea triloba*, which required a lower dose in order to achieve the same level of control.

Keywords: Sugarcane; Morning glory; Crabgrass

2.1 Introdução

A agroenergia vem ocupando espaço crescente na matriz energética nacional. A cana-de-açúcar se consolidou como a segunda fonte mais importante, respondendo por 17% da oferta interna de energia, atrás apenas do petróleo (BRASIL, 2010).

Na maior parte do mundo, os herbicidas são a tecnologia dominante usada para o controle de plantas daninhas que infestam as culturas (MANALIL et al., 2011). Muitos processos envolvidos na dinâmica dos herbicidas no ambiente ainda são desconhecidos. No entanto, o entendimento das interações entre solo, planta e herbicida é determinante na recomendação adequada a cada tipo de solo, com maior eficácia e menor contaminação do ambiente. Particularmente, para solos brasileiros, com grande variabilidade das características físicas, químicas e biológicas, espera-se que a eficácia, o efeito residual, a lixiviação e a sorção dos herbicidas sejam também diferentes (OLIVEIRA JR. et al., 2006).

Quando a molécula de um herbicida chega ao solo, ela pode sofrer os processos de degradação e sorção, e os resultados destes dois processos podem

ser a absorção da molécula pelas plantas, a lixiviação da molécula para camadas subsuperficiais do solo, podendo até mesmo atingir os cursos de água subterrâneos, ou a formação de resíduos ligados (PRATA; LAVORENTI, 2000).

A sorção é um processo interfacial e refere-se à adesão ou atração de uma ou mais camadas iônicas ou moleculares para uma superfície (PRATA; LAVORENTI, 2000). A sorção de herbicidas na superfície dos colóides orgânicos e minerais do solo explica parte do comportamento apresentado por essas moléculas, dentro das diversas classes de solo, tornando-se difícil prever o comportamento desses agrotóxicos sem antes conhecer os fatores que agem sobre eles (FIRMINO et al., 2008).

O mecanismo de sorção de herbicidas, por estes se tratarem de moléculas orgânicas nos mais variados arranjos, é muito mais complexo do que a dos íons que servem como nutrientes para as plantas. Forças físicas como pontes de hidrogênio, forças de van der Waals, forças eletrostáticas, ligações covalentes e interações hidrofóbicas são os principais mecanismos que podem contribuir com a sorção dos herbicidas e estes mecanismos podem atuar concomitantemente na sorção de uma mesma molécula (PRATA; LAVORENTI, 2000).

Em razão da grande variabilidade nas características físicas, químicas e biológicas entre os solos, é esperado que a natureza e a intensidade dos processos de sorção também sejam distintas. Assim, é de fundamental importância o conhecimento das características físico-químicas do solo para que se possa estimar o comportamento do herbicida no ambiente, o que possibilita seu uso correto, a minimização dos impactos ambientais e a maior eficiência na utilização do produto (FIRMINO et al., 2008).

Diuron é um herbicida aplicado no solo comumente utilizado em cana-de-açúcar devido a sua atividade residual no solo relativamente longa (INOUE et al., 2009). Diuron [3-(3,4-Dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea] é um herbicida da classe das uréias substituídas e age como inibidor da fotossíntese no fotossistema II (HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) que pode variar de 161 a 1666 mL g⁻¹, sendo considerado pouco móvel; solubilidade em água (S_w) de 35,6 (20°C) a 42 (25 °C) mg L⁻¹, sendo considerada baixa; coeficiente de dissociação (pK_a) não aplicável, sendo considerado não dissociável (molécula não ionizável) e tem um coeficiente de partição octanol água ($\log K_{ow}$) de 2,85 a 2,87,

sendo considerado moderado (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011; ROBERTS, 1998).

Hexazinona [3-cyclohexyl-6-dimethylamino-1-methyl-1,3,5-triazine-2,4 (1*H*,3*H*)-dione] é um herbicida da classe das triazinonas e age como inibidor da fotossíntese no fotossistema II (HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 54 mL g⁻¹, sendo considerado móvel; solubilidade em água (S_w) de 33.000 (20°C) mg L⁻¹, sendo considerada alta; coeficiente de dissociação (pK_a) de 2,2, sendo considerada uma base fraca e tem um coeficiente de partição octanol água ($\text{Log}K_{ow}$) de 1,17; sendo considerado baixo (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011).

Sulfometurom-metílico {Methyl2-[(4,6-dimethylpyrimidin-2-yl) carbamoylsulfamoyl] benzoate} é um herbicida da classe das sulfoniluréias e age como inibidor da acetolactato-sintase (ALS) (HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 85 mL g⁻¹, sendo considerado moderadamente móvel; solubilidade em água (S_w) de 70 (20°C) mg L⁻¹, sendo considerada moderada; coeficiente de dissociação (pK_a) de 5,2, sendo considerado um ácido fraco e tem um coeficiente de partição octanol água ($\text{Log}K_{ow}$) de 1,04 (pH 5), -0,46 a -0,51 (pH 7) e -1,87 (pH 9); sendo considerado baixo (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011; ROBERTS, 1998).

Tendo em vista a complexa relação entre as características do solo e as propriedades físico-químicas do herbicida, objetivou-se com este trabalho estudar o efeito de texturas contrastantes na eficácia do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico sobre duas das principais plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, através do uso de curvas de dose-resposta.

2.2 Material e Métodos

Foram realizados três experimentos, de outubro de 2010 a outubro de 2011, em casa-de-vegetação pertencente ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da DuPont do Brasil S.A., localizado no município de Paulínia – SP (S 22° 45' 7,6"; O 47° 8' 51,7" e altitude de 579 m).

Os tratamentos de herbicidas foram aplicados em pré-emergência das plantas daninhas com auxílio de pulverizador costal à pressão constante, mantida por CO₂

comprimido, de 25 PSI (aproximadamente 1,72 bar ou 1,75 Kgf cm⁻²), munido de barra com duas pontas de pulverização XR 110.02, espaçadas de 0,5m, com consumo de calda correspondente a 200 L ha⁻¹. Em todos os experimentos, foram utilizados solos secos e peneirados em malha de 2 mm e as plantas daninhas foram semeadas à 1 cm de profundidade, antes da aplicação dos tratamentos herbicidas. As unidades experimentais consistiram em vasos de aproximadamente 1L (12 cm de diâmetro), com o fundo revestido por papel absorvente e posteriormente preenchidos com os respectivos solos. Após a aplicação, aguardou-se 24 horas para se fazer a primeira irrigação nos vasos (10 mm) e estes foram mantidos com irrigação controlada desde então, de modo que a água de irrigação não percolasse dos vasos. As sementes de plantas daninhas utilizadas nesses experimentos foram obtidas da empresa Agro Cosmos Ltda., empresa produtora de sementes de plantas daninhas. Foi usado o herbicida Front[®], da empresa DuPont do Brasil S.A., na formulação granulado dispersível, composto por diurom (grupo químico das uréias substituídas), hexazinona (grupo químico das triazinonas) e sulfometurom-metílico (grupo químico das sulfoniluréias), nas proporções de 60,3; 17 e 1,45 %, respectivamente.

Para a planta daninha *Digitaria* spp.¹ (DIGSP) foi realizado um experimento com delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial de tratamentos 10 x 3, sendo dez doses de herbicida, três solos com texturas contrastantes e quatro repetições. Os solos foram coletados na camada de 10 a 40 cm, em áreas com ausência de aplicação de herbicidas, sendo utilizados logo após a coleta. As propriedades físicas dos solos utilizados encontram-se na Tabela 2.1, e as propriedades químicas encontram-se na Tabela 2.2. As doses utilizadas foram 0D, (1/256)D, (1/64)D, (1/32)D, (1/16)D, (1/8)D, (1/2)D, 1D, 2D e 4D, sendo “D” igual a 1,7 Kg ha⁻¹, que é uma das doses de campo registradas (BRASIL, 2008), equivalente a 1025,1; 289 e 24,65 g ha⁻¹ de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico, respectivamente. Foram semeadas 0,12g de sementes de *Digitaria* spp. em cada unidade experimental para obtenção de uma população aproximada de 2000 plantas m⁻².

¹ As sementes utilizadas continham espécies de *Digitaria horizontalis* em sua maioria, além de *Digitaria ciliares*, *Digitaria bicornis* e poucas sementes de *Digitaria nuda*.

Tabela 2.1 – Propriedades físicas* dos solos utilizados nos experimentos com *Digitaria* spp. e *Ipomoea triloba*

ID**	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Origem
	%				
Pesado	23,0	16,2	60,8	Muito argiloso	Paulínia - SP
Médio	70,7	5,0	24,3	Franco argilo-arenoso	Piracicaba - SP
Leve	84,5	2,4	13,1	Areia franca	Itirapina - SP

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

** ID = Identificação

Tabela 2.2 – Propriedades químicas* dos solos utilizados nos experimentos com *Digitaria* spp. e *Ipomoea triloba*

ID**	pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	SB	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			%
Pesado	4,5	26	16	0,20	2,4	0,8	4,0	7,4	3,4	45,95
Médio	4,6	19	4	0,13	1,4	0,6	3,4	5,53	2,13	38,52
Leve	4,2	15	2	0,09	0,3	0,2	4,7	5,29	0,59	11,15

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas – SP.

** ID = Identificação.

Para a planta daninha *Ipomoea triloba* (IPOTR) foi realizado um experimento com delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial de tratamentos 10 x 2, sendo dez doses de herbicida, dois solos e quatro repetições. Os solos foram coletados na camada de 10 a 40 cm, em áreas com ausência de aplicação de herbicidas, sendo utilizados logo após a coleta. As propriedades físicas dos solos utilizados encontram-se na Tabela 2.1, e as propriedades químicas encontram-se na Tabela 2.2, sendo que foram utilizados os solos identificados como “Pesado” e “Médio”. As doses utilizadas foram as mesmas do experimento com DIGSP. Cada unidade experimental foi semeada com 23 sementes de *Ipomoea triloba*, para obtenção de uma população aproximada de 2000 plantas m⁻².

Nesses dois experimentos, foram feitas avaliações visuais de porcentagem de controle, atribuindo-se notas de 0 a 100% sendo 0 a ausência de sintomas e 100% a morte das plantas, aos 30 e 60 dias após a aplicação (DAA) e de massa seca da parte aérea aos 70 DAA. Para a última avaliação, as partes aéreas das plantas foram cortadas e colocadas em estufa a 50°C até atingirem massa constante.

Para a planta daninha *Ipomoea triloba* foi realizado outro experimento, com delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial de tratamentos 6 x 5, sendo seis doses de herbicida, cinco solos e quatro repetições. Os solos foram coletados na camada de 10 a 40 cm, em áreas com ausência de aplicação de herbicidas,

sendo utilizados logo após a coleta. As propriedades químicas dos solos utilizados encontram-se na Tabela 2.3, e as propriedades físicas encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.3 – Propriedades químicas* dos solos utilizados no experimento, sendo que os solos identificados como “Pesado” e “Leve” foram misturados em diferentes proporções para formar os outros solos

ID**	pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	SB	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
Pesado	4,8	24	12	0,14	2,4	0,9	3,4	6,84	3,44	50,29
3/4P + 1/4L	4,5	21	3	0,11	1,1	0,5	3,3	5,01	1,71	34,13
1/2P + 1/2L	4,4	17	2	0,07	0,6	0,3	3,6	4,57	0,97	21,23
3/4L + 1/4P	4,3	15	7	0,08	0,5	0,2	3,8	4,58	0,78	17,03
Leve	4,5	10	3	0,05	0,7	0,3	3,4	4,45	1,05	23,60

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

** ID = Identificação.

Tabela 2.4 – Propriedades físicas* dos solos utilizados no experimento sendo que os solos identificados como “Pesado” e “Leve” foram misturados em diferentes proporções para formar os outros solos

ID**	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Origem
	%				
Pesado	27,3	13,7	59,0	Argila	Paulínia – SP
3/4P + 1/4L	51,2	10,2	38,6	Argila arenosa	-
1/2P + 1/2L	68,2	6,7	25,1	Franco argilo-arenoso	-
3/4L + 1/4P	79,8	3,4	16,8	Franco arenoso	-
Leve	86,1	2,4	11,5	Areia franca	Bofete - SP

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

** ID = Identificação.

As doses utilizadas foram 0D, (1/64)D, (1/8)D, (1/4)D, 1D e 1,77D, sendo “D” igual a 1,3 Kg ha⁻¹, que é uma das doses de campo registradas (BRASIL, 2008), equivalente a 783,9; 221 e 18,85 g ha⁻¹ de diurom, hexazinona e sulfometurometilico, respectivamente. Os solos foram adubados com NPK 10-10-10 a 1g L⁻¹ de solo. Cada unidade experimental foi semeada com 13 sementes de *Ipomoea triloba* para obtenção de uma população aproximada de 1000 plantas m⁻². Foram feitas avaliações de porcentagem de controle aos 30 e 50 DAA e de massa fresca da parte aérea aos 50 DAA.

Os dados foram analisados através da aplicação do teste F sobre a análise da variância, com o objetivo de detectar a significância da interação fatorial

(CARVALHO et al., 2005). Sendo significativo o efeito do herbicida, os dados foram analisados com o emprego de regressões não-lineares do tipo log-logístico, segundo proposto por Seefeldt, Jensen e Fuerst (1995) eq. (1):

$$y = Y_o + \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{x}{X_o}\right)^b\right]} \quad (1)$$

Em que “y” é a porcentagem de controle ou de biomassa; “x” é a dose do herbicida em gramas de produto comercial ha⁻¹; “Y_o”, “a”, “X_o” e “b” são coeficientes da curva, de modo que “Y_o” é o limite inferior da curva, “a” é a diferença entre o ponto máximo e o mínimo da curva, “X_o” é a dose correspondente à resposta da média entre o ponto máximo e mínimo da curva (ponto de inflexão) e “b” é a declividade da curva ao redor de “X_o”.

Na eq. (1) o valor de “X_o” vai ser igual à DL₅₀ (dose na qual 50% das plantas morrem) somente quando o ponto máximo e mínimo da curva forem, respectivamente 100 e 0, para valores de porcentagem de controle, ou seja, o ponto de inflexão vai ser igual à DL₅₀. Através da eq. (2) (CARVALHO et al., 2005) pôde-se calcular a DL₅₀ quando os valores do ponto máximo e mínimo da eq. (1) não foram 100 e 0, respectivamente.

$$x = X_o * \sqrt[b]{\frac{a}{(y - Y_o)} - 1} \quad (2)$$

Primeiramente, as curvas foram geradas separadamente pelo programa SIGMAPLOT, sem nenhuma restrição aos parâmetros do modelo log-logístico e foi feito um teste F para falta de ajuste (Faj.) (KRUSE; VIDAL; TREZZI, 2006; SEEFELDT; JENSEN; FUERST, 1995), segundo a eq. (3):

$$Faj = \frac{(SQ_{reg} - SQ_{ANOV}) / (GL_{reg} - GL_{ANOV})}{SQ_{ANOV} / GL_{ANOV}} \quad (3)$$

Sendo SQ_{reg} a soma de quadrados dos resíduos da regressão não linear, SQ_{ANOV} a soma de quadrados do resíduo da análise de variância, GL_{reg} os graus de liberdade do resíduo da regressão não linear e GL_{ANOV} os graus de liberdade do resíduo da análise de variância. Para isso, foi feito para cada solo, uma nova análise de variância.

Similaridades entre as curvas foram testadas adicionando-se restrições ao modelo, ou seja, fixando os valores de “a” e/ou “Yo” e/ou “b”. Fixar os parâmetros, quando possível, além de eliminar valores sem significado biológico como, por exemplo, porcentagens de controle acima de 100% e abaixo de 0%, também aumenta os graus de liberdade do resíduo da regressão e diminui o erro padrão dos parâmetros estimados não fixados (MOTULSKY; RANSNAS, 1987; RITZ, 2010). Depois de fixados, outro teste F para falta de ajuste foi feito, para validar ou não a retirada de parâmetros (MOTULSKY; RANSNAS, 1987; RITZ; STREIBIG, 2005; SEEFELDT; JENSEN; FUERST, 1995) eq (4):

$$F = \frac{(SQ_1 - SQ_2) / (GL_1 - GL_2)}{SQ_2 / GL_2} \quad (4)$$

Sendo SQ a soma de quadrados dos resíduos e GL os graus de liberdade dos resíduos, o sub-escrito 1 refere-se à regressão com menos parâmetros e o sub-escrito 2, à regressão com mais parâmetros.

O coeficiente de variação das regressões foi calculado segundo o exposto por Souza et al. (2000).

Para cada série de dados, usando um lambda ótimo (WESSA, 2008), foi realizada uma transformação Box-Cox para ambos os lados da equação (RITZ; STREIBIG, 2005). As transformações não mudaram as relações entre as curvas e os resultados das análises, então optou-se por usar os dados não transformados.

2.3 Resultados e Discussão

Em todos os experimentos, a análise de variância mostrou que houve interação significativa ($p < 0,05$) entre doses e solos, indicando que para pelo menos uma das doses utilizadas, ocorreu diferença entre os solos. Além disso, o teste F para falta de

ajuste foi não significativo em todas as curvas analisadas ($p > 0,05$), indicando que o modelo empregado ajustou-se bem aos dados.

Na análise das curvas de dose-resposta, se as doses forem escolhidas próximas ao limite máximo e mínimo dessas, as diferenças entre os tratamentos serão menores do que se forem escolhidas na parte central, onde as diferenças são quase independentes dos níveis de dose. Conseqüentemente, a região do meio da curva é a parte ótima para se obter informações sobre diferenças de efeitos (STREIBIG, 2003). As diferenças serão mais independentes das doses quanto maior for a inclinação da curva. Quanto menos inclinada a curva, a regressão indica que as plantas estão respondendo menos aos crescimentos de dose.

A diferença horizontal das curvas indica a relação entre diferentes doses de herbicida dando a mesma resposta nas plantas e pode ser expressa em termos de potência relativa (R) (STREIBIG, 1988), dada pela expressão " $R = d_1/d_2$ ", sendo " d_1 " e " d_2 " doses referentes a diferentes curvas para uma mesma resposta. Se as curvas forem paralelas, a potência relativa será independente do nível de resposta considerado (e.g.: porcentagem de controle). Quando analisando curvas não paralelas, a potência relativa depende do nível resposta, o que torna as curvas mais difíceis de serem avaliadas (RITZ et al., 2006; STREIBIG, 2003; STREIBIG, 1988).

Na figura 2.1 encontram-se os resultados das avaliações de corda-de-violão e capim colchão aos 30 DAA (dias após aplicação). A interação significativa da análise de variância fica evidente nas duas curvas de dose-resposta apresentadas.

Figura 2.1 – Curvas de dose-resposta do herbicida diuron + hexazinona + sulfometurom-metilico em solos com texturas contrastantes, aos 30 dias após aplicação. Barras verticais representam $\pm$ os erros padrão da média

Na Figura 2.1, as curvas referentes a cada uma das plantas daninhas são paralelas (Tabela 2.5 e Tabela 2.6). Após serem testadas as similaridades entre as curvas, estas foram consideradas diferentes somente quando $p < 0,05$; porém, ressalta-se que para a curva do solo leve no experimento com *Digitaria* sp., o p-valor foi bem próximo disso. A potência relativa entre o solo médio e pesado para *Ipomoea triloba* é maior do que para *Digitaria* spp. e, para essa avaliação, a corda-de-viola apresentou maior DL_{50} no solo pesado. Para o capim colchão, observa-se que o solo médio teve a menor DL_{50} , mesmo tendo mais matéria orgânica (M.O.) e argila do que o solo leve. O solo médio é muito mais próximo em suas propriedades físico-químicas do solo leve do que do solo pesado (Tabelas 2.1 e 2.2). Isso pode indicar que um aumento ou queda de 11,2 % de argila e 4 g dm^{-3} de M.O. não são suficientes para que se tenha uma mudança de resposta.

Na figura 2.2, as curvas de corda-de-viola são similares e novamente apresentaram maior potência relativa do que as curvas de capim colchão quando analisados os DL_{50} para os solos médio e pesado. Nesta avaliação, o capim-colchão já se apresentou menos susceptível ao herbicida do que a corda-de-viola (Tabela 2.5 e Tabela 2.6). Embora a relação entre as curvas de *Digitaria* spp. tenham mudado, passando a apresentar uma relação crescente de doses, do solo leve ao pesado (Tabela 2.5), essa relação não é constante, já que as curvas não são paralelas. Nota-se pela Figura 2.2 que, com a queda das doses, as curvas dos solos leve e médio tendem a se igualar, diferenciando-se pouco na DL_{50} (16,31 g p.c./ha). Para ambas as plantas daninhas, as relações apresentadas nas avaliações de porcentagem de controle aos 30 e 60 DAA foram mantidas na avaliação de massa seca aos 70DAA (Figura 2.3).

Figura 2.2 – Curvas de dose-resposta do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em solos com texturas contrastantes, aos 60 dias após aplicação. Barras verticais representam $\pm$ os erros padrão da média

Na avaliação de massa seca aos 70 DAA (Figura 2.3), os dados se ajustaram ao modelo log-logístico adotado, porém, mesmo ponderados sobre as testemunhas, não foram tão bem ajustados quanto os dados de porcentagem de controle. Isso se deve ao fato de que ocorreu um crescimento maior das plantas submetidas a doses baixas do herbicida quando comparado ao crescimento da testemunha, fenômeno conhecido como *hormesis* (BRAIN; COUSENS, 1989; CEDERGREEN, 2008; SEEFELDT; JENSEN; FUERST, 1995; STREIBIG, 1988). Nesse caso, provavelmente os dados seriam mais bem descritos pelo modelo Brain-Cousens de dose-resposta (BRAIN; COUSENS, 1989; RITZ, 2005).

Tabela 2.5 – Sumário do modelo de regressão log-logístico* para o experimento com *Digitaria* spp. em três solos com texturas contrastantes

Solo	Parâmetros da equação log-logística ¹				R ² a ²	CV (%)	F (p-valor) ³
	Y ₀	a	b	X ₀			
30 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-7,52	227,33 (3,10)	0,98	12,0	0,99 (0,40)
Médio	0	100	-7,52	123,15 (1,44)	0,99	7,0	0,42 (0,88)
Leve	0	100	-7,52	151,43 (2,84)	0,99	5,6	2,59 (0,06)
60 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-4,72 (0,82)	312,03 (21,42)	0,99	5,5	0,83 (0,58)
Médio	0	100	-6,91 (0,22)	157,07 (1,67)	0,99	3,3	0,66 (0,68)
Leve	0	100	-9,78 (0,35)	140,76 (1,52)	0,99	1,7	0,00 (0,99)
70 DAA – Massa Seca (% sobre a testemunha)							
Pesado	0	94,66 (1,07)	3,88	229,29 (1,07)	0,98	10,0	1,69 (0,19)
Médio	0	98,03 (1,11)	10,61 (2,55)	157,12 (11,9)	0,98	10,5	0,28 (0,59)
Leve	0	95,76 (2,09)	3,88	131,99 (6,46)	0,96	22,7	0,96 (0,38)

¹ Parâmetros fixados (quando sem os erros padrão entre parêntesis), Y₀ é o limite inferior da curva, a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, X₀ é a dose correspondente à resposta no ponto de inflexão e b é a declividade da curva ao redor de X₀. ² Coeficiente de determinação ajustado. ³ Teste F e respectivo p-valor de cada curva para os parâmetros que foram fixados. Para todos os outros casos, o F foi significativo à 5% de probabilidade (p < 0,05) e, portanto, a mudança não foi considerada.

Tabela 2.6 – Sumário do modelo de regressão log-logístico* para o experimento com *Ipomoea triloba* em dois solos com texturas contrastantes

Solo	Parâmetros da equação log-logística ¹				R ² a ²	CV (%)	F (p-valor) ³
	Y ₀	a	b	X ₀			
30 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-3,02	274,03 (13,23)	0,97	17,0	0,64 (0,59)
Médio	0	100	-3,02	56,49 (2,66)	0,95	14,5	0,36 (0,78)
60 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-5,02	213,55 (8,01)	0,94	22,9	0,44 (0,72)
Médio	0	100	-5,02	42,88 (1,38)	0,97	11,0	0,36 (0,78)
70 DAA – Massa Seca (% sobre a testemunha)							
Pesado	0	100	2,88 (0,26)	155,61 (5,47)	0,98	12,9	1,03 (0,36)
Médio	0	91,87 (2,70)	7,76 (2,28)	79,72 (7,30)	0,94	30,6	0,01 (0,90)

¹ Parâmetros fixados (quando sem os erros padrão entre parêntesis), Y₀ é o limite inferior da curva, a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, X₀ é a dose correspondente à resposta no ponto de inflexão e b é a declividade da curva ao redor de X₀. ² Coeficiente de determinação ajustado. ³ Teste F e respectivo p-valor de cada curva para os parâmetros que foram fixados. Para todos os outros casos, o F foi significativo à 5% de probabilidade (p < 0,05) e, portanto, a mudança não foi considerada.

Figura 2.3 – Curvas de dose-resposta para massa seca do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metilico em solos com texturas contrastantes, aos 70 dias após aplicação. Barras verticais representam $\pm$ os erros padrão da média

Um importante fator que influencia o efeito da dose é a duração da exposição ao herbicida. O tempo de exposição a herbicidas de solo pode ser definido como o tempo em que o sistema radicular fica em contato com o herbicida dissolvido na solução do solo (STREIBIG, 2003). Altas doses podem ser necessárias para uma resposta que de outra forma poderia ser alcançada apenas após muito tempo de exposição a uma dose pequena. Isso significa que o efeito da dose precisa ser avaliado em relação ao tempo de exposição (STREIBIG, 2003). Em condições de campo, com as precipitações, o herbicida tende a lixiviar mais, diminuindo o tempo de exposição. No caso desses experimentos de casa de vegetação, em que a quantidade de água foi controlada para evitar a lixiviação do herbicida, o tempo de exposição tende a ser maior, pela menor lixiviação.

Na figura 2.4 está a avaliação de porcentagem de controle para corda-de-viola aos 30DAA e 50DAA, no experimento com mistura de solos. Os dois solos com menores teores de M.O. e argila distanciaram-se do grupo dos três solos com maiores quantidades desses atributos em todas as avaliações. Além disso, a menor DL_{50} ocorreu no solo com menos, e a maior DL_{50} ocorreu no solo com mais M.O. e argila, porém, no grupo dos solos com mais M.O. e argila, não ocorreu uma resposta proporcional à presença desses dois atributos para um dos solos, na avaliação aos 30DAA (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Curvas de dose-resposta do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em dois solos com texturas contrastantes e suas misturas, aos 30 (a) e 50 (b) dias após aplicação. Barras verticais representam $\pm$ os erros padrão da média

Aos 30DAA, a partir de 25,1% de argila e 17 g dm⁻³ de M.O., o efeito do herbicida não foi proporcional ao aumento nos teores desses atributos. Como as curvas do solo Pesado, 3/4P+1/4L e 1/2P+1/2L são paralelas (Tabela 2.7), essa relação é constante, e embora se consiga distinguir entre as curvas do solo Pesado e 1/2P+1/2L na Figura 2.4, os DL₅₀ não diferem. Para os outros solos, o aumento nos teores de M.O. e argila resultou em aumento na DL₅₀ e essa relação também é constante, pois as curvas são paralelas (Tabela 2.7). Já aos 50DAA, as quantidades crescentes de M.O. e argila resultaram em doses crescentes, ainda com grande distinção entre os mesmos dois grupos, sendo que os solos 3/4P+1/4L e 1/2P+1/2L tiveram DL₅₀ iguais e todos os outros solos foram diferentes entre si (Tabela 2.7). Essa relação, porém, não foi confirmada pela avaliação de massa fresca (Figura 2.5), na qual se verifica que o solo 3/4P+1/4L iguala-se ao solo Pesado, sendo todos os outros solos diferentes entre si.

Tabela 2.7 – Sumário do modelo de regressão log-logístico para dois solos com texturas contrastantes e suas misturas

Solo	Parâmetros da equação log-logística ¹				R ² aj ²	CV (%)	F (p-valor) ³
	Y ₀	a	b	X ₀			
30 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-2,39	76,58 (5,46)	0,99	7,09	0,85 (0,36)
3/4P+1/4L	0	100	-2,39	53,00 (4,84)	0,98	6,49	0,38 (0,54)
1/2P+1/2L	0	100	-2,39	68,68 (4,69)	0,99	5,73	0,75 (0,39)
3/4L+1/4P	0	100	-0,69	13,30 (1,74)	0,97	7,33	1,32 (0,26)
Leve	0	100	-0,69	9,71 (1,59)	0,96	8,03	1,00 (0,32)
50 DAA – Controle (%)							
Pesado	0	100	-2,26	104,35 (3,41)	0,99	5,04	0,13 (0,82)
3/4P+1/4L	0	100	-2,26	81,06 (9,21)	0,96	11,79	0,17 (0,91)
1/2P+1/2L	0	100	-2,26	69,39 (3,69)	0,99	4,70	0,45 (0,72)
3/4L+1/4P	0	100	-0,68	13,89 (1,92)	0,97	7,88	1,79 (0,18)
Leve	0	100	-0,68	5,28 (0,70)	0,98	5,39	0,75 (0,53)
50 DAA – Massa Fresca (% sobre a testemunha)							
Pesado	0	100	2,33	49,72 (6,36)	0,97	20,57	0,17 (0,91)
3/4P+1/4L	0	100	2,33	47,14 (3,98)	0,98	16,03	0,01 (0,99)
1/2P+1/2L	0	100	2,33	29,05 (0,55)	0,99	7,02	0,11 (0,95)
3/4L+1/4P	0	100	0,80	7,11 (0,63)	0,99	14,19	1,29 (0,30)
Leve	0	100	0,80	5,70 (0,66)	0,98	18,87	3,52 (0,07)

¹ Parâmetros fixados (quando sem os erros padrão entre parêntesis), Yo é o limite inferior da curva, a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, Xo é a dose correspondente à resposta no ponto de inflexão e b é a declividade da curva ao redor de Xo. ² Coeficiente de determinação ajustado. ³ Teste F e respectivo p-valor de cada curva para os parâmetros que foram fixados. Para todos os outros casos, o F foi significativo à 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e, portanto, a mudança não foi considerada.

Figura 2.5 – Curvas de dose-resposta do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em dois solos com texturas contrastantes e suas misturas, aos 50 dias após aplicação. Barras verticais representam $\pm$ os erros padrão da média

Pelo resultado dessas avaliações, distingue-se a presença de dois grupos de solos com mesmas declividades. Quando comparando curvas de dose-resposta,

elas serem paralelas é condição necessária, mas não suficiente, para considerar que os compostos avaliados têm modos de ação similares (STREIBIG, 2003; STREIBIG, 1988). Jensen e Kudsk (1988) demonstraram que diferenças no efeito de herbicidas causadas por diferenças nas condições climáticas (temperatura e umidade), resultaram em curvas paralelas. Esses autores consideram como uma possível explicação o fato de que essas mudanças influenciariam principalmente fatores como a penetração, translocação e velocidade dos processos bioquímicos enquanto que o modo de ação do herbicida não seria afetado. Nos experimentos aqui apresentados, o herbicida é composto por três moléculas com dois modos de ação distintos e foi aplicado em solos diferentes, sob mesmas condições. Do mesmo modo, as diferentes declividades para os dois grupos de solos poderiam ser explicadas por diferenças na absorção entre os três diferentes ingredientes ativos do herbicida e essa absorção diferencial seria devido às diferentes texturas. Isso teria que ser confirmado, por exemplo, por testes de eficácia e lixiviação dos três ingredientes ativos aplicados separadamente.

De qualquer forma, para teores de argila/M.O. abaixo de 16,8/15 (%/g dm^{-3}) as doses responderam mais à textura do que para teores de argila/M.O. acima de 25,1/17 (%/g dm^{-3}); em que as variações foram maiores.

Para o solo mais argiloso, obteve-se valores diferentes de DL_{50} nos dois experimentos com corda-de-viola, porém, ressalta-se que o número de sementes e a adubação por vaso também foram diferentes, o que sugere a ocorrência de maior dose necessária para controlar maior concentração de plantas daninhas.

Sendo um bioensaio de herbicida definido como um experimento para estimar a potência de um herbicida pela análise da reação que segue sua aplicação em organismos vivos (STREIBIG, 1988), sua utilidade está justamente nas semelhanças e diferenças entre os tratamentos. Para uma melhor visualização de como os atributos do solo argila e M.O. influenciaram o herbicida, foram feitos gráficos envolvendo as três variáveis discutidas até agora (argila, M.O. e DL_{50}).

Na figura 2.6 estão os resultados dos dois experimentos com corda-de-viola avaliados aos 30DAA. Observam-se os pontos que geraram o gráfico de superfície (Figura 2.6b) no gráfico de dispersão (Figura 2.6a). Na figura 2.7 há o gráfico em duas dimensões do que é apresentado na Figura 6b. De acordo com o observado nas curvas de dose-resposta que geraram esses gráficos, o ponto mais baixo e mais alto são, respectivamente, os que têm menores e maiores quantidades de M.O. e

argila. Nos gráficos de superfície (Figura 2.6b) e contorno (Figura 2.7), os intervalos referentes às doses foram ajustados para representar da melhor forma o que aconteceu nas curvas de dose-resposta apresentadas.

Figura 2.6 – Gráfico de dispersão (a) e de superfície (b) para o herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em dois experimentos com solos de texturas contrastantes. Na legenda, do azul escuro ao vermelho, ocorre incremento de dose

Ressalta-se que esse tipo de apresentação seria melhor para mais pontos. Somente dois experimentos geraram relativamente poucos pontos para a confecção dos gráficos com as três variáveis.

Nas figuras 2.6b e 2.7 não se observa um crescimento constante na dose com o aumento da argila e M.O., pois como já foi visto, a partir de 25,1 % de argila e 17 g dm⁻³ de M.O., não houve aumento proporcional de dose no experimento com misturas de solo, aos 30DAA. Entende-se, portanto, que a partir do ponto citado, o aumento de MO e argila pode ou não resultar em aumento de DL₅₀ e abaixo desse ponto a redução de MO e argila resulta em menor DL₅₀. O aumento relativo na quantidade de argila nos solos estudados é constante, enquanto que a partir do ponto citado, o aumento da matéria orgânica passa a ser proporcionalmente menor (Tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4), o que pode indicar maior influência da matéria orgânica sobre o herbicida.

Figura 2.7 – Gráfico de contorno para o herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico em dois experimentos com solos de texturas contrastantes. Na legenda, do azul escuro ao vermelho, ocorre incremento de dose

2.4 Conclusões

Conclui-se que a eficácia do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico está intrinsecamente ligada às quantidades de argila e matéria orgânica do solo. Traçam-se dois grandes grupos texturais que proporcionam respostas distintas do herbicida, sendo separados por aproximadamente 24 a 25% de argila e 17 a 19 g dm⁻³ de matéria orgânica. Além disso, *Digitaria* spp. demonstrou ser menos suscetível ao herbicida quando comparada a *Ipomoea triloba*, que necessitou de menor dose para se obter o mesmo nível de controle, embora ambas as plantas daninhas tenham sido controladas nas doses registradas pelo fabricante.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrofit**: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://agrofit.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Agrícola e Pecuário 2010-2011**. Brasília : Mapa/SPA, 2010. 48p.

BRAIN, P.; COUSENS, R. An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low dose. **Weed Research**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 93–96, 1989.

CARVALHO, S.J.P.; LOMBARDI, B.P.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; MEDEIROS, D. Curvas de dose resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 535-542, 2005.

CEDERGREEN, N. Herbicides can stimulate plant growth. **Weed Research**, Oxford, v. 48, n. 5, p. 429-438, 2008.

FIRMINO, L.E.; TUFFI SANTOS, L.D.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; TIBURCIO, R.A.S. Sorção do imazapyr em solos com diferentes texturas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.

HERBICIDE RESISTANCE COMMITTEE – HRAC. **Classification of herbicides according to site of action**. Disponível em: <<http://www.hracglobal.com/Publications>>. Acesso em: 4 nov. 2011.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR. R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G.; TORMENA, C.A. Bioavailability of diuron, imazapic and isoxaflutole in soils of contrasting textures. **Journal of Environmental Science and Health - Parte B**, New York, v. 44, n. 8, p. 757-763, 2009.

JENSEN, P.K. KUDSK, P. Prediction of herbicide activity. **Weed Research**, Oxford, v. 28, n. 6, p. 473-478, 1988.

KRUSE, N.D.; VIDAL, R.A.; TREZZI, M.M. Curvas de resposta e isoblograma como forma de descrever a associação de herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 579-587, 2006.

MANALIL, S.; BUSI, R.; RENTON, M.; POWLES, S.B.; Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. **Weed Science**, Champaign, v. 59, n. 2, p. 210-217, 2011.

MOTULSKY, H.J.; RANSNAS, L.A. Fitting curves to data using non-linear regression: a practical and nonmathematical review. **The FASEB Journal**, Rockville, v. 1, n. 5, p. 365-374, 1987.

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**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 733-740, 2006.

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

RITZ, C. Toward a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Malden, v. 29, n. 1, p. 220-229, 2010.

RITZ, C.; STREIBIG, J.C. Bioassay analysis using R. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 12, n. 5, p. 1-22, 2005.

RITZ, C.; CEDERGREEN, N.; JENSEN, J.E.; STREIBIG, J.C. Relative potency in nonsimilar dose-response curves. **Weed Science**, Champaign, v. 54, n. 3, p. 407-412, 2006.

ROBERTS, T.R. (Ed.). **Metabolic pathways of agrochemicals: herbicides and plant growth regulators**. Berkshire: Bookcraft, 1998. 849p.

SEEFELDT, S.S.; JENSEN, S.E.; FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 1, p. 218-227, 1995.

SOUZA, A.P. FERREIRA, F.A. SILVA, A.A. CARDOSO, A.A. RUIZ, H.A. Uso da equação logística no estudo de dose-resposta de glyphosate e imazapyr por meio de bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa, v.18, n.1, p. 17-28, 2000.

STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, Oxford, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.

_____. **Assessment of herbicide effects**. 2003. Disponível em: <http://www.ewrs.org/et/docs/Herbicide_interaction.pdf>. Acesso em: 14 out. 2011.

UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE. **Pesticide properties database**. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/index2.htm>>. Acesso em: 4 nov. 2011.

WESSA, P. **Box-Cox normality plot: free statistics software (calculator)** (version 1.1.23-r7). 2008, Disponível em: <http://www.wessa.net/rwasp_boxcoxnorm.wasp/>. Acesso em: 14 out. 2011.

3 LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS DIUROM, HEXAZINONA E SULFOMETUROM-METÍLICO APLICADOS EM FORMULAÇÃO COMERCIAL E ISOLADAMENTE EM DOIS SOLOS COM TEXTURAS CONTRASTANTES

Resumo

A lixiviação de herbicidas é o processo de movimentação descendente dos herbicidas através da superfície do solo. Ela está relacionada às características físico-químicas dos herbicidas e do solo e influencia entre outros fatores a sua eficácia e o seu destino ambiental. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de texturas contrastantes (argilosa e areia franca) na lixiviação da formulação comercial contendo os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico, além de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico quando submetidos à 0 e 40 mm de simulação de precipitação. O experimento consistiu na aplicação de diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico (1386,9; 391 e 33,35 g ha⁻¹, respectivamente), hexazinona (391 g ha⁻¹), diurom (1386,9 g ha⁻¹) e sulfometurom-metílico (33,35 g ha⁻¹) em colunas de solo montadas em tubos de PVC. Um dia após a aplicação dos herbicidas, metade das colunas recebeu simulação de precipitação de 40 mm. Após a simulação de precipitação, todos os tubos foram colocados na horizontal e foi feita a semeadura da planta daninha *Ipomoea triloba*. Aos 21 e 30 dias após a semeadura foi feita avaliação de porcentagem de controle da planta daninha. Para o solo argiloso, os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico e hexazinona chegaram a aproximadamente 10 e 13 cm de profundidade com 0 e 40 mm, respectivamente. No solo arenoso, a lixiviação desses herbicidas foi evidente até os 20 cm de profundidade, com 40 mm de simulação. Para os herbicidas diurom e sulfometurom-metílico as lixiviações tenderam a se aproximar para o solo argiloso com 40 mm e para o solo arenoso nas duas simulações de precipitação. Diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico e hexazinona foram os herbicidas que apresentaram maior tendência de lixiviação, facilitada no solo de textura arenosa. Já a lixiviação dos herbicidas diurom e sulfometurom-metílico foi baixa, não tendo relação clara com as diferentes texturas e precipitações utilizadas, o que expõe a influência da hexazinona na lixiviação da formulação contendo diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico.

Palavras chave: Cana-de-açúcar; Textura; Corda-de-viola

Abstract

Herbicide leaching is the herbicide descending movement process through the soil surface. It is related with the soils' and herbicides' physico chemical characteristics and it influences the herbicides' environmental fate, among other factors. The objective of this research was to evaluate contrastant textures (clay and sandy) in the leaching of the commercial formulation containing the herbicides diuron

+ hexazinone + sulfometuron-methyl ($1386,9 + 391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), and also hexazinone (391 g ha^{-1}), diuron ($1386,9 \text{ g ha}^{-1}$) and sulfometuron-methyl ($33,35 \text{ g ha}^{-1}$), whilst submitted to 0 and 40 mm of rainfall simulation, in soil columns mounted in PVC pipes. One day after the herbicide application, half the columns received 40 mm of a simulated rainfall. After precipitation simulation, all tubes were laid horizontally and *Ipomoea triloba* was sown. At 21 and 30 days after sowing, percentage of weed control evaluations were made. For the clay soil, the herbicides diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl and hexazinone reached approximately 10 to 13 cm deep with 0 and 40 mm, respectively. In the sandy soil, the leaching of these herbicides was evident up to 20 cm deep, with 40 mm of precipitation. For the herbicides diuron and sulfometuron-methyl, the leaching tended to approach to the clay soil with 40 mm and to the sandy soil in the two simulated precipitations. Diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl and hexazinone were the herbicides which showed the higher trend to leaching, even higher in the sandy soil. The leaching of the herbicides diuron and sulfometuron-methyl was low, with no clear relation with the used different textures and simulated precipitations, which exposes the influence of hexazinone in the leaching of the formulation containing diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl.

Keywords: Sugarcane; Texture; Morning glory

3.1 Introdução

A lixiviação é o fenômeno de transporte em profundidade, através do perfil do solo, da fração dos sólidos dissolvidos em sua solução. A adsorção desses sólidos solúveis é o processo de maior influência na lixiviação de herbicidas no solo, porém as condições de umidade e de temperatura também têm papel relevante. Esse transporte está relacionado com a mecânica de fluídos em meio particulado e, dependendo do caso, pode ser vertical ou horizontal, variando o regime envolvido (GEBLER; SPADOTTO, 2008).

De acordo com Kah e Brown (2006), o solo influencia o destino e comportamento dos produtos fitossanitários aplicados em condições de pré ou pós-emergência das culturas. Uma vez no solo, as moléculas de produtos fitossanitários concentram-se em parte na fase aquosa e em parte na fase sólida desse, o que afeta muitos outros aspectos de seu comportamento: a sorção pode limitar a volatilização, a biodisponibilidade (e conseqüentemente a eficácia e a taxa de degradação por microorganismos), e o transporte em sub-superfície.

O comportamento e o destino dos herbicidas no ambiente dependem de fatores externos a sua composição, como temperatura e umidade, presença de matéria orgânica, modo de aplicação, entre outros. Além disso, são fundamentais as

propriedades intrínsecas do composto, como a conformação da estrutura molecular do ingrediente ativo e as características físico-químicas, que irão determinar sua distribuição na atmosfera, no solo, na água e na biota, onde então passará a sofrer ações de indisponibilização (GEBLER; SPADOTTO, 2008). A estrutura química do produto fitossanitário (ingrediente ativo) influencia a sua eficácia no controle de plantas daninhas, pragas e doenças das culturas, além de sua mobilidade e degradabilidade (PESSOA et al., 2007).

Segundo Pessoa et al. (2007), o comportamento do produto fitossanitário no ambiente é orientado basicamente pelos processos de retenção, transformação e transporte. A retenção é resultante da interação entre o ingrediente ativo e a partícula do solo, podendo ser reversível ou não, sendo denominado como adsorção. Esse processo pode retardar ou acelerar o movimento do produto em diferentes profundidades do solo, influenciando, dessa forma, na sua disponibilidade e interação com outros fenômenos, principalmente os relacionados às transformações bioquímicas e ao escoamento superficial do produto fitossanitário. O processo de transformação pode ser de natureza química (catálise, fotoquímica) ou biológica (microrganismos), encontrados naturalmente no ambiente ou induzidos.

Herbicidas aplicados em solos e que se movem facilmente através deste podem falhar no controle das plantas daninhas devido à diluição e lixiviação. Além disso, a alta mobilidade pode causar danos à vegetação não alvo e pode potencialmente contaminar recursos hídricos (REGITANO et al., 2002).

Compostos ionizáveis compreendem ácidos e/ou bases fracas como grupos funcionais. Como consequência, eles podem ser parcialmente ionizados na amplitude de pH normalmente encontrada nos solos, o que afeta fortemente sua reatividade no solo. A adsorção de compostos orgânicos neutros nos solos ocorre principalmente por particionamento hidrofóbico, enquanto que uma série de outros mecanismos são postulados para a adsorção de produtos fitossanitários ionizáveis. É essencial que esse comportamento específico seja reconhecido em procedimentos de avaliação de riscos para se obter uma análise robusta de seu provável comportamento (KAH; BROWN, 2006).

Diuron [3-(3,4-Dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea] é um herbicida da classe das uréias substituídas e age como inibidor da fotossíntese no fotossistema II (HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) que pode variar de

161 a 1666 mL g⁻¹, sendo considerado pouco móvel; solubilidade em água (S_w) de 35,6 (20°C) a 42 (25 °C) mg L⁻¹, sendo considerada baixa; coeficiente de dissociação (pK_a) não aplicável, sendo considerado não dissociável (molécula não ionizável) e tem um coeficiente de partição octanol água ($\text{Log}K_{ow}$) de 2,85 a 2,87, sendo considerado moderado (ROBERTS, 1998; UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011).

Hexazinona [3-cyclohexyl-6-dimethylamino-1-methyl-1,3,5-triazine-2,4 (1*H*,3*H*)-dione] é um herbicida da classe das triazinonas e age como inibidor da fotossíntese no fotossistema II (HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 54 mL g⁻¹, sendo considerado móvel; solubilidade em água (S_w) de 33.000 (20°C) mg L⁻¹, sendo considerada alta; coeficiente de dissociação (pK_a) de 2,2, sendo considerada uma base fraca e tem um coeficiente de partição octanol água ($\text{Log}K_{ow}$) de 1,17; sendo considerado baixo (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011).

Sulfometurom-metílico {Methyl-2-[(4,6-dimethylpyrimidin-2-yl)carbamoylsulfamoyl] benzoate} é um herbicida da classe das sulfoniluréias e age como inibidor da acetolactato-sintase (ALS) (HRAC, 2011), tem um coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 85 mL g⁻¹, sendo considerado moderadamente móvel; solubilidade em água (S_w) de 70 (20°C) mg L⁻¹, sendo considerada moderada; coeficiente de dissociação (pK_a) de 5,2, sendo considerado um ácido fraco e tem um coeficiente de partição octanol água ($\text{Log}K_{ow}$) de 1,04 (pH 5), -0,46 a -0,51 (pH 7) e -1,87 (pH 9); sendo considerado baixo (ROBERTS, 1998; UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011).

Muitos estudos demonstram que a adsorção de químicos orgânicos (produtos fitossanitários não iônicos) nos solos é feita principalmente pela matéria orgânica, mesmo que a estrutura e propriedades dos constituintes orgânicos não sejam ainda claramente entendidos (KAH; BROWN, 2006). Além disso, os mesmos autores afirmam que os componentes inorgânicos e orgânicos do solo funcionam mais como uma unidade do que como entidades separadas, e sua interação ainda não é totalmente compreendida.

Em qualquer análise de localização do herbicida no solo, a lixiviação entra como uma importante variável, e as equações que descrevem o transporte de massa do soluto na solução do solo irão variar segundo a umidade contida no solo e a porosidade deste (GEBLER; SPADOTTO, 2008).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de texturas contrastantes de solo na lixiviação de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico aplicados em formulação comercial e isoladamente.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido de janeiro a fevereiro de 2011, em casa-de-vegetação pertencente ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da DuPont do Brasil S.A., localizado no município de Paulínia – SP (S 22° 45' 7,6"; O 47° 8' 51,7" e altitude de 579 m). As amostras de solos foram retiradas da sub-superfície de dois solos em áreas sem a aplicação de herbicidas e depois de secas, foram peneirados em malha de 2 mm. As propriedades químicas dos solos utilizados no experimento encontram-se na Tabela 3.1 e as propriedades físicas encontram-se na Tabela 3.2.

As unidades experimentais consistiram em colunas de solo montadas em tubos de PVC de 12 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento. Os tubos foram envoltos internamente por uma camada de parafina a fim de evitar escorrimento lateral da solução do solo. Na parte basal, para reter o solo e permitir a drenagem, foram colocadas telas de sombrite 50%. As colunas de solo foram submetidas à irrigação por capilaridade, até este se apresentar saturado no topo, permitindo-se em seguida o escoamento da água durante 48 horas, para restauração da capacidade de campo.

Tabela 3.1 – Propriedades químicas* dos solos utilizados no experimento

ID**	pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	SB	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³		%
Pesado	4,8	24	12	0,14	2,4	0,9	3,4	6,84	3,44	50,3
Leve	4,5	10	3	0,05	0,7	0,3	3,4	4,45	1,05	23,6

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

** ID = Identificação.

Tabela 3.2 – Propriedades físicas* dos solos utilizados no experimento

ID**	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Origem
		%			
Pesado	27,3	13,7	59,0	Argila	Paulínia - SP
Leve	86,1	2,4	11,5	Areia franca	Bofete - SP

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

** ID = Identificação.

Os tratamentos de herbicidas foram aplicados com auxílio de pulverizador costal à pressão constante, mantida por CO₂ comprimido, de 25 PSI (aproximadamente 1,72 bar ou 1,75 Kgf cm⁻²), munido de barra com duas pontas de pulverização XR 110.02, espaçadas de 0,5m, com consumo de calda correspondente a 200 L ha⁻¹. O ensaio consistiu na aplicação dos seguintes tratamentos: diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico (1386,9 + 391 + 33,35 g ha⁻¹), hexazinona (391 g ha⁻¹), diurom (1386,9 g ha⁻¹) e sulfometurom-metílico (33,35 g ha⁻¹), arranjos em esquema fatorial 5 x 16, sendo 5 os fatores “herbicidas” e 16 os fatores profundidades, avaliados dentro de cada precipitação pluvial simulada (0 e 40 mm).

Um dia após a aplicação dos herbicidas, os tubos destinados a receber 40 mm de chuva foram colocados sob simulador de chuva com intensidade de precipitação de aproximadamente 1 mm min⁻¹, durante o tempo necessário para se aplicar a lâmina de 40 mm. Após a simulação, as colunas ficaram em repouso por 72 horas, quando então foram colocadas na posição horizontal. Em cada uma das 16 subdivisões da coluna, a cada 3 cm, foram semeadas duas sementes de *Ipomoea triloba* com dormência previamente quebrada em água fervente.

Aos 21 e 30 dias após a semeadura, foram feitas avaliações visuais de porcentagem de controle, atribuindo-se notas de 0 a 100% sendo 0 a ausência de sintomas e 100% a morte das plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando detectada a interação fatorial, fez-se o uso de regressões não-lineares para descrever a lixiviação dos herbicidas nas colunas de solo, utilizando-se o programa SIGMAPLOT.

3.3 Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre os herbicidas avaliados e as diferentes profundidades para 0 e 40 mm, indicando que os herbicidas moveram-se de forma diferente no perfil das colunas.

Na avaliação feita aos 21 dias após semeadura (DAS) das plantas daninhas (figura 3.1), observa-se que os herbicidas lixiviaram de maneiras distintas nas

colunas de solo, com maior tendência de lixiviação para os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico (D+H+SMM) e hexazinona (H). Esses herbicidas obtiveram valores de porcentagem de controle de 80% para profundidades de aproximadamente 10 cm no solo argiloso, com ou sem precipitação e no solo arenoso sem precipitação. Isso indica que mesmo sem chuva, em solos na capacidade de campo, esses herbicidas podem lixiviar e apresentar alta disponibilidade no início da camada superficial do solo. Para esses dois herbicidas, no solo argiloso, 40 mm de precipitação não foram suficientes para que demonstrassem diferenças na lixiviação, já que chegaram até aproximadamente 10 cm com ou sem precipitação, causando 80% de controle. O mesmo não aconteceu no solo arenoso, em que D+H+SMM e H, com 0 mm, ficaram próximos a 10 cm de profundidade, enquanto que, com 40 mm de precipitação, chegaram à aproximadamente 13 e 17 cm de profundidade, respectivamente, com disponibilidade suficiente para causar 80% de controle.

Segundo Oliveira Jr., Koskinen e Ferreira (2001), em trabalho com a sorção de herbicidas em seis solos brasileiros, a sorção de bases fracas como a hexazinona, embora baixa, foi primariamente influenciada pela variação na quantidade de carbono orgânico do solo.

De acordo com Cason et al. (2010), em solo de textura argilosa, foi observado com a simulação de 20 mm de chuva que os herbicidas D+H+SMM e hexazinona provocaram fitotoxicidade nas plantas bioindicadoras (*Cucumis sativus*) de aproximadamente 80% até os 20 cm de profundidade. Quando a simulação foi de 40 mm de chuva, os autores observaram maior lixiviação principalmente para D+H+SMM e hexazinona, que provocaram 80% de controle nas plantas de pepino, respectivamente, até aproximadamente 30 e 25 cm de profundidade.

Pela figura 3.1 nota-se que os herbicidas diurom (D) e sulfometurom-metílico (SMM) não lixiviaram em quantidades suficientes para causar a morte de todas as plantas daninhas nem mesmo nos primeiros centímetros de profundidade do solo, pois as maiores porcentagens de controle ficaram próximas aos 60% em profundidades menores do que 10 cm. No solo argiloso, o herbicida diurom apresentou baixa disponibilidade, chegando até aproximadamente 10 cm (< 20% de controle) com 0 mm de chuva e a precipitação de 40 mm somente aumentou sua disponibilidade na camada inicial, evidenciada pela maior porcentagem de controle (30 a 55 % aproximadamente). No solo arenoso ocorreu menos do que 20% de

controle, independentemente da presença de chuva, até aproximadamente 10 cm de profundidade.

Figura 3.1 – Lixiviação dos herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurometílico (D+H+SMM), hexazinona (H), diurom (D) e sulfometurometílico (SMM) no solo pesado (A) e leve (B), submetidos a 0 e 40 mm de precipitação, aos 21 dias após semeadura de *Ipomoea triloba*

De acordo com Cason et al. (2010), o herbicida diurom apresentou menor potencial de lixiviação quando comparado aos herbicidas D+H+SMM e H, provocando 80% de efeito fitotóxico em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) até 10 cm de profundidade, em solo argiloso com 40 mm de precipitação.

Inoue et al. (2008), em solo de textura argilosa, constataram que o diurom ($3,2 \text{ kg ha}^{-1}$) não passou da camada de 0 a 5 cm mesmo com 100 mm de precipitação. Além disso, em solo de textura franco arenosa, na dose de $1,6 \text{ kg ha}^{-1}$ com 80 mm de precipitação, somente encontraram efeito do herbicida na camada de 0 a 5 cm de profundidade para os bioindicadores *Brachiaria decumbens* e pepino, porém na dose de $3,2 \text{ kg ha}^{-1}$ encontraram efeito do herbicida até as camadas de 5 a 10 cm e 10 a 15 cm, respectivamente, para *Brachiaria decumbens* e pepino.

Possamai et al. (2010) constataram comportamento diferenciado na movimentação do diurom em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. Para o Neossolo Quartzarênico, com lâminas de 0, 20 e 40 mm de água, o diurom chegou até a camada de 0 a 5 cm de profundidade. Com lâminas de 60 e 80 mm, chegou até a camada de 5 a 10 cm de profundidade e com lâmina de 100 mm de água, chegou até a camada de 10 a 15 cm de profundidade. Entretanto, no solo de textura argilosa, o diurom não apresentou mobilidade além da camada de 0-5 cm para lâmina aplicadas de 0 a 80 mm e somente a lâmina de 100 mm proporcionou movimentação até a camada de 5-10 cm.

O herbicida sulfometurom-metílico (SMM) apresentou baixa disponibilidade no solo argiloso sem precipitação, com menos de 20% de controle até os 15cm. Quando houve precipitação, chegou aos 3 cm causando aproximadamente 60% de controle, com queda exponencial até aproximadamente 20 cm. No solo arenoso este herbicida chegou até 3 cm causando aproximadamente 50% de controle, apresentando queda exponencial de disponibilidade até aproximadamente 20 cm, para 0 e 40 mm de chuva (Figura 3.1). Cason et al. (2010) constataram que o SMM chegou à aproximadamente 15 cm de profundidade em solo argiloso, causando 20% de controle em plantas de pepino com chuva de 40 mm. Em solo arenoso, com 40 mm de precipitação, o herbicida chegou até 20 cm de profundidade causando 80% de controle.

Na avaliação dos 30 DAS (figura 3.2), observam-se as mesmas tendências de resultados dos 21 DAS, com maior lixiviação dos herbicidas D+H+SMM e hexazinona e menor lixiviação de diurom e SMM. Nesse tipo de experimento, quanto maior o tempo após a semeadura do bioindicador, espera-se ou a recuperação das plantas quando em contato com baixas quantidades de herbicida, ou aumento na porcentagem de controle quando em contato com maiores concentrações de herbicida. De forma geral, aos 30 DAS, observou-se que os herbicidas

demonstraram mais efeito em profundidades maiores, porém, ainda com baixas porcentagens de controle. Para o solo argiloso, os herbicidas D+H+SMM e H chegaram em quantidade suficiente para provocar 80% de controle até 10 e 13 cm, respectivamente, para 0 e 40 mm de precipitação. Já no solo arenoso, a lixiviação desses herbicidas foi mais evidente, chegando aproximadamente aos 20 cm em quantidade suficiente para causar 80% de controle.

Figura 3.2 – Lixiviação dos herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico (D+H+SMM), hexazinona (H), diurom (D) e sulfometurom-metílico (SMM) no solo pesado (A) e leve (B), submetidos a 0 e 40 mm de precipitação, aos 30 dias após semeadura de *Ipomoea triloba*

Para os herbicidas diurom e SMM, as curvas tenderam a se aproximar para o solo argiloso com 40 mm de chuva e para o solo arenoso nas duas precipitações, o que indica menor influência das diferentes texturas utilizadas nesse experimento sobre esses herbicidas (Figura 3.2). De forma geral, a lixiviação dos herbicidas D+H+SMM e H foram semelhantes e maiores do que a lixiviação dos herbicidas D e SMM, para as duas precipitações e solos utilizados nesse experimento.

Monquero et al. (2008b), em experimento com lixiviação do herbicida diurom + hexazinona ($1170 + 330 \text{ g ha}^{-1}$) em solo argiloso, com 40 mm de precipitação, observaram que esse herbicida chegou até aproximadamente 17 cm em quantidade suficiente para causar 80 % de controle do bioindicador *Cucumis sativus*, sendo o herbicida que mais lixiviou, o que é explicado pois a formulação contém concentração alta de hexazinona, que é um ingrediente ativo de alta solubilidade, necessitando de menor umidade no solo para se movimentar e atuar.

Monquero et al. (2008a), em experimento com a lixiviação de duas formulações do herbicida diurom + hexazinona ($1170 + 330$ e $1330 + 160 \text{ g ha}^{-1}$) em solo argiloso, constataram que a lixiviação da formulação com a maior concentração de hexazinona foi maior para as chuvas de 40 e 80 mm.

A lixiviação da hexazinona é explicada em grande parte pela sua alta solubilidade em água aliada ao fato de estar mais presente na forma molecular (não dissociada), o que é comum na amplitude de pHs de 4,0 a 6,5, bastante encontrados em solos brasileiros, sendo considerado um herbicida potencialmente lixiviador por vários autores (ARMAS, 2006; ARSEGO, 2009; CERDEIRA et al., 2005; INOUE et al., 2003; PESSOA et al., 2007; PIZA, 2008; QUEIROZ et al., 2009).

Nesse experimento, a lixiviação de diurom não teve clara relação com as diferenças texturais entre os solos. Entretanto, a baixa lixiviação do diurom, comparada com os outros herbicidas estudados, é explicada pela sua baixa solubilidade e pela sua hidrofobicidade (INOUE et al., 2008; PRATA et al., 2000).

Segundo Inoue et al. (2006), a sorção de diurom foi considerada alta em todas as amostras de solos estudados em uma litosequência, não importando as características químicas das amostras, sendo o carbono orgânico do solo e as quantidades de argila as propriedades mais importantes que influenciaram a sorção do herbicida. Matallo et al. (2003) constataram que a lixiviação do diurom está relacionada mais com o teor de matéria orgânica dos solos que qualquer outra propriedade.

Guzzella et al. (2006), em experimento com lixiviação em lisímetro, obtiveram que a concentração residual no solo e nas amostras de água detectadas no experimento mostraram que a lixiviação do diurom foi baixa em todos os casos, e a sua mobilização para horizontes mais profundos não foi considerada.

Apesar de que a matéria orgânica geralmente fornece a maioria dos sítios de adsorção nos solos, a correlação entre adsorção e matéria orgânica depende mais ou menos da natureza do herbicida e do solo, e a influencia positiva da matéria orgânica não é sempre óbvia (KAH; BROWN, 2006).

O sulfometurom-metílico, nos dois solos, está mais em sua forma molecular (não iônica) e, por isso, tende a lixiviar menos, pois a forma aniônica é transportada mais livremente através da solução do solo. Ou seja, a sorção no solo é baixa, e o potencial de lixiviação é maior em solos alcalinos do que em solos ácidos (OLIVEIRA JR.; KOSKINEN; FERREIRA, 2001). Para solos com o pH menor do que o pKa do sulfometurom-metílico, ele estará em sua forma não iônica e estará sujeito às mesmas forças de sorção que atuam em um herbicida não dissociável (KOSKINEN; STONE; HARRIS, 1996).

A tendência da lixiviação dos herbicidas D+H+SMM e da hexazinona serem iguais (Figuras 3.1 e 3.2), aliada ao fato de que os herbicidas diurom e sulfometurom-metílico tiveram baixas tendências de lixiviação nesse experimento, indica que a maior parte da lixiviação encontrada para o herbicida D+H+SMM é explicada pela hexazinona presente nesse herbicida.

3.4 Conclusões

Conclui-se que a formulação com diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico e hexazinona foram os que apresentaram maior tendência de lixiviação dentre todos os herbicidas estudados, e que a lixiviação desses dois herbicidas foi facilitada no solo de textura arenosa. Além disso, a lixiviação dos herbicidas diurom e sulfometurom-metílico foi baixa, não tendo relação clara com as diferentes texturas e precipitações utilizadas nesse experimento, o que expõe a influência da hexazinona na lixiviação da formulação herbicida com diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico.

Referências

- ARMAS, E.D. **Biogeodinâmica de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na sub-bacia do rio Corumbataí**. 2006. 186 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agrossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006
- ARSEGO, I.B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- CASON, J.B.; SABBAG, R.; STOREL, P.; 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., Ribeirão Preto, 2010. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 3396-3400.
- CERDEIRA, A.L.; SANTOS, N.A.G.; PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; LANCHOTE, V.L. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany Aquifer in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health - Part B**, New York, v. 40, n. 1, p. 159-165, 2005.
- GBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 39-69.
- GUZZELLA, L.; CAPRI, E.; CORCIA, A.D.; CARACCILOLO, A.B.; GIULIANO, G. Fate of diuron and linuron in a field lysimeter experiment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n.1, p. 312-323, 2006.
- HERBICIDE RESISTANCE COMMITTEE - HRAC. **Classification of herbicides according to site of action**. Disponível em: <<http://www.hracglobal.com/Publications>> Acesso em: 04 Nov. 2011.
- INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR.; R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.
- INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR, R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J.; TORNISIELO, V. Sorption-desorption of atrazine and diuron in soils from southern Brazil. **Journal of Environmental Science and Health - Part B**. New York, v. 41, n. 5, p. 605-621, 2006.
- 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. 5, p. 631-638, 2008.

KAH, M.; BROWN, C.D. Adsorption of ionisable pesticides in soils. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 188, n. 1, p. 149-217, 2006.

KOSKINEN, W.C.; STONE, D.M.; HARRIS, A.R. Sorption of hexazinone, sulfometuron-methyl, and tebuthiuron on acid, low base saturated sands. **Chemosphere**, New York, v. 32, n. 9, p. 1681–1689, 1996.

MATALLO, M.B.; LUCHINI, L.C.; GOMES, M.A.F.; SPADOTTO, C.A.; CERDEIRA, A.L.; MARIN, G.C. Lixiviação dos herbicidas Tebutiuron e Diuron em colunas de solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 83-90, jan/dez. 2003.

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, 2008a.

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, 2008b.

OLIVEIRA, JR. R.S.; KOSKINEN, W.C.; FERREIRA, F.A. Sorption and leaching potential of herbicides on brazilian soils. **Weed Research**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 97-110, 2001.

PESSOA, M.C.P.Y.; SCRAMIN, S.; CHAIN, A.; FERRACCINI, V.L. **Avaliação do potencial de transporte de agrotóxicos usados no Brasil por modelos screening e planilha eletrônica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 24p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 44)

PIZA, A.V.T. **Avaliação da capacidade adsortiva de carvões ativados para remoção de diuron e hexazinona**. 2008. 107p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008.

POSSAMAI, A.C.S.; INOUE, M.H.; DALLACORT, R.; SANTANA, D.C.; SANTANA, C.T.C.; ARRUDA, R.A.D.; PEREIRA, K.M.; MENDONÇA, C.G. Estudo do potencial de lixiviação de clomazone e diuron em solos contrastantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010. Ribeirão Preto, 2 **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 3189-3193.

PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L. Degradação e adsorção de diuron em solos tratados com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 217-223, 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.

REGITANO, J.B.; PRATA, F.; ROCHA, W.S.D.; TORNISIELO, V.L.; LAVORENTI, A. Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. **Weed Research**, Oxford, v. 42, n. 4, p.271-279, 2002.

ROBERTS, T.R. (Ed.) **Metabolic pathways of agrochemicals**: herbicides and plant growth regulators. Berkshire: Bookcraft. 1998. 849p.

UNIVERSITY OF HERDFORTSHIRE. **Pesticide Properties Database**. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/index2.htm>>. Acesso em: 4 nov. 2011.

4 EFICÁCIA DE DIFERENTES HERBICIDAS APLICADOS EM CONDIÇÕES DE RESTRIÇÃO HÍDRICA SOBRE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo

Devido às extensas áreas e à constância de práticas agrícolas que o cultivo da cana-de-açúcar requer, as aplicações de herbicidas realizadas durante o período seco do ano facilitam a logística da cadeia produtiva dessa cultura. Objetivou-se com essa pesquisa avaliar os efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico ($1386,9 + 391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinona (391 g ha^{-1}), diurom ($1386,9 \text{ g ha}^{-1}$), sulfometurom-metílico ($33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diurom + hexazinona ($1386,9 + 391 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinona + sulfometurom-metílico ($391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diurom + sulfometurom-metílico ($1386,9 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), amicarbazona (1225 g ha^{-1}), imazapique + isoxaflutol ($98 + 105 \text{ g ha}^{-1}$) e amicarbazona + isoxaflutol ($770 + 105 \text{ g ha}^{-1}$) aplicados em solo coberto por 5 t ha^{-1} de palha de cana-de-açúcar e submetidos a 180, 150, 120, 90, 60, 30 e 0 dias de restrição hídrica (DRH) no controle de *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum*. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial de tratamentos 10×7 , sendo 10 herbicidas e 7 períodos de restrição hídrica, em quatro blocos, além de testemunha com e sem a presença de palha. Aos 60 dias após restabelecimento da umidade avaliou-se o controle e a massa fresca da parte aérea das plantas daninhas. A presença de 5 t ha^{-1} de palha não influenciou na massa fresca da parte aérea das duas plantas daninhas, quando foram comparadas as testemunhas com e sem palha. Não houve clara relação dos períodos de restrição hídrica com a perda de eficácia pelos herbicidas, porém ocorreram diferenças entre os tratamentos, sendo que alguns herbicidas não controlaram as duas plantas daninhas do mesmo modo, além da ocorrência de escapes em alguns tratamentos. Os tratamentos amicarbazona + isoxaflutol e diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico foram os herbicidas que obtiveram os melhores resultados de controle para as duas plantas daninhas. Diurom + hexazinona e amicarbazona falharam somente no controle de *Panicum maximum*. Os herbicidas diurom, hexazinona, sulfometurom-metílico e imazapique + isoxaflutol obtiveram eficácia inferior, com falhas no controle de *I. triloba*, *P. maximum* ou ambas as plantas daninhas, e a associação diurom + sulfometurom-metílico e hexazinona + sulfometurom-metílico falharam principalmente no controle de corda-de-viola.

Palavras chave: Residual; Corda-de-viola; Capim colônia

Abstract

Due to large areas and the constancy of agricultural practices needed by the sugarcane culture, the herbicide spraying made during the drought periods of the year facilitate the logistics of the productive chain of the culture. The objective of this research was to evaluate the effects of drought periods in the efficacy of the

herbicide diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl ($1386,9 + 391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinone (391 g ha^{-1}), diuron ($1386,9 \text{ g ha}^{-1}$), sulfometuron-methyl ($33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diuron + hexazinone ($1386,9 + 391 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinone + sulfometuron-methyl ($391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diuron + sulfometuron-methyl ($1386,9 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), amicarbazone (1225 g ha^{-1}), imazapic + isoxaflutole ($98 + 105 \text{ g ha}^{-1}$) and amicarbazone + isoxaflutole ($770 + 105 \text{ g ha}^{-1}$) sprayed over soil covered with 5 t ha^{-1} of sugarcane straw and under seven drought periods (180, 150, 120, 90, 60, 30 and 0 days) in the control of *Ipomoea triloba* and *Panicum maximum*. The experimental design used was a randomized blocks design in a factorial table of 7 per 10, being 7 drought periods and the 10 different herbicides, in four blocks, and also the untreated checks with and without the sugarcane straw. Sixty days after humidity re-establishment, the control (%) and the fresh weight of the sown *Ipomoea triloba* and the *Panicum maximum* were evaluated. The 5 t ha^{-1} of sugarcane straw used in this experiment did not influence the fresh weight of the two tested weeds when compared the untreated checks with and without sugarcane straw. There were no clear relation between the drought periods and efficacy loss of the herbicides, however there were differences among the treatments and in the control between the two studied weeds for some of the herbicides, because some herbicides did not control the two weeds the same way, and considering there were escapes in some of the treatments. Amicarbazone + isoxaflutole and diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl were the herbicides with the best control results for the two weeds. Diuron + hexazinone and amicarbazone failed in the control of *Panicum maximum*. The herbicides diuron, hexazinone, sulfometuron-methyl and imazapic + isoxaflutole showed inferior performance, with control fails of *I. triloba*, *P. maximum* or both weeds, and the association among diuron + sulfometuron-methyl and hexazinone + sulfometuron-methyl failed in the control of morning glory.

Keywords: Residual; Morning glory; Guinea grass

4.1 Introdução

Nos últimos anos, o processo de colheita da cana-de-açúcar vem sendo modificado, passando da tradicional queima do canavial para a colheita da cana-crua, seja por imposições da legislação ou conscientização ambiental, e também por pressões da sociedade (FERREIRA et al., 2010). No sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palha ou palhada (SOUZA et al., 2005b). A palhada e as modificações técnicas necessárias para implementar a colheita mecânica da cultura criaram um novo sistema de produção, denominado de cana-crua (TOFOLI et al., 2009). A adoção desse novo sistema de colheita da cana-de-açúcar tem resultado em importantes modificações das técnicas de cultivo, como o uso de maiores espaçamentos entre as linhas e a deposição de palha à superfície

do solo, as quais influenciam diretamente a ocorrência e o manejo de plantas daninhas e a fertilidade dos solos (FERREIRA et al., 2010). Além disso, esse sistema possibilita o aproveitamento energético do palhço para cogeração de energia elétrica (SOUZA et al., 2005a).

O sistema de colheita por cana queimada elimina o material vegetal seco e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa e diminuindo o teor de matéria orgânica no solo (SOUZA et al., 2005b). O cultivo da cana sem a queima proporciona menor emissão de gás carbônico e também proporciona aumento dos estoques totais de carbono no solo (FIGUEIREDO; SCALA JR., 2011; GALDOS; CERRI; CERRI, 2009). Além disso, o sistema de cana-crua ocasiona aumento no teor de matéria orgânica do solo, em razão do grande acúmulo de palha. Esse acréscimo pode causar aumento da sorção de herbicidas no solo, limitando a eficácia e exigindo maiores doses, elevando o custo do tratamento e possibilitando a maior ocorrência de problemas ambientais (FERREIRA et al., 2010).

No sistema mecanizado da colheita da cana-crua, a quantidade de palha que sobra no solo é dependente da variedade plantada. Esse resto de cultura (palha) faz com que as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo se modifiquem, bem como a presença e o desenvolvimento fisiológico das plantas daninhas. Fatores como a umidade e temperatura do solo e efeitos alelopáticos podem interferir no processo de desenvolvimento dessas plantas (FOLONI et al., 2011). O sistema de cana-crua reduziu a movimentação do solo, introduziu a colhedora como agente disseminador, eliminou o distúrbio pela queimada e proporcionou a manutenção de uma camada de palha sobre o solo (KUVA et al., 2008). As espécies menos afetadas pela presença da palha podem ser selecionadas com o tempo, tornando-se importantes problemas nos canaviais (LABONIA, 2008).

A deposição de palha sobre o solo favorece espécies com maior capacidade de germinação sob uma espessa cobertura de palha, e retém alguns herbicidas, diminuindo a sua eficácia. Entretanto, a palhada sobre o solo impede a germinação e o estabelecimento de espécies com poucas reservas armazenadas na semente em função dos efeitos físicos e/ou alelopáticos, atuando no manejo integrado de espécies daninhas, com diminuição da dependência de herbicidas, e melhorando a qualidade do solo (FERREIRA et al., 2010).

Segundo Negrisoli et al. (2007), a palha afeta drasticamente o estabelecimento de plantas daninhas em áreas cultivadas, de diferentes maneiras. Dentre elas, citam-se a limitação de variação da temperatura na superfície do solo; a formação de uma barreira física a ser transposta pela planta em germinação; o aumento da quantidade de microrganismos que podem decompor as sementes destas plantas, além dos possíveis efeitos alelopáticos que inibem a germinação.

Algumas espécies dicotiledôneas têm sido selecionadas nesse sistema, como espécies do gênero *Ipomoea*, extremamente agressivas e capazes de impossibilitar a colheita mecanizada ou encarecer a colheita manual (FERREIRA et al., 2010, MONQUERO et al., 2009).

O controle químico de plantas daninhas em áreas de cana-de-açúcar é uma prática bastante difundida no Brasil, sendo os herbicidas, em geral, de ação em pré e pós-emergência inicial, recomendados para controle de gramíneas, folhas largas e plantas perenes de difícil controle (CARBONARI et al., 2010). Porém, a dinâmica e interação destes herbicidas com a palha de cana-de-açúcar promovem alterações no comportamento e eficácia dos produtos (CARBONARI; GOMES; VELINI, 2010). Além disso, a palha pode influenciar o comportamento e destino ambiental do herbicida no solo, pois o resíduo nela presente pode se espalhar para vários outros compartimentos ambientais por processos de transporte, provocando com isso uma série de consequências a saúde humana, à flora e à fauna do meio (FOLONI et al., 2011).

O controle químico de plantas daninhas é mais eficaz quando realizado durante a estação chuvosa, pois a água disponível no solo e o intenso desenvolvimento das plantas daninhas favorecem a absorção dos herbicidas (CORREIA; KRONKA JR., 2010). No entanto, os produtores têm dificuldade em concentrar as aplicações de herbicidas somente na estação chuvosa, devido às questões de planejamentos e operações agrícolas, o que os leva a aplicar os herbicidas também no período de estiagem, a fim de que persistam no solo até o início da estação chuvosa (ALVES et al., 2010, AZANIA et al., 2009, AZANIA et al., 2006). Nas épocas mais secas do ano (junho, julho e agosto) a aplicação de herbicidas pode ser realizada em pré-emergência, após a colheita, ou em pós-emergência, quando a umidade do solo for restabelecida (CORREIA; BRAZ; FUZITA, 2010).

Sabendo que *Panicum maximum* e *Ipomoea* spp. estão entre as principais espécies de plantas daninhas infestantes da cana-de-açúcar na região Centro-Sul

(PROCÓPIO; SILVA; VARGAS, 2008), o objetivo dessa pesquisa foi avaliar os efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico, hexazinona, diurom, sulfometurom-metílico, diurom + hexazinona, hexazinona + sulfometurom-metílico, diurom + sulfometurom-metílico, amicarbazona, imazapique + isoxaflutol e amicarbazona + isoxaflutol aplicados em solo coberto por 5 t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum*.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido de abril a dezembro de 2011, em casa-de-vegetação pertencente ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da DuPont do Brasil S.A., localizado no município de Paulínia – SP (S 22° 45' 7,6"; O 47° 8' 51,7" e altitude de 579 m). O solo utilizado foi retirado da camada de 5 a 10 cm de profundidade e foi inicialmente seco e peneirado em malha de 2mm. As propriedades químicas do solo utilizado no experimento encontram-se na Tabela 4.1 e as propriedades físicas encontram-se na Tabela 4.2.

As unidades experimentais consistiram em vasos de aproximadamente 1L (12 cm de diâmetro), com o fundo revestido por papel absorvente, preenchidos com solo e palha na superfície. Em cada vaso, antes de se adicionar a palha de cana-de-açúcar, foi moldada uma grade de arame ("tela de passarinho") de 1 mm de diâmetro e 18 mm de malha (Figura 4.1), com o objetivo de permitir que a semeadura das plantas daninhas fosse realizada em uma única data, após serem feitas todas as aplicações de herbicidas. Desse modo, evitou-se que as sementes das plantas daninhas ficassem no solo durante período muito longo de tempo, o que poderia fazer com que perdessem a sua capacidade de germinação. Isso também permitiu que a semeadura fosse realizada evitando-se distúrbios ao herbicida aplicado sobre a palha.

Tabela 4.1 – Propriedades químicas* do solo utilizado no experimento

pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	SB	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%
4,8	24	12	0,14	2,4	0,9	3,4	6,84	3,44	50,3

*Unithal Laboratório Agrônômico, Campinas - SP.

Tabela 4.2 – Propriedades físicas* do solo utilizado no experimento

Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Origem
	%			
27,3	13,7	59,0	Argila	Paulínia – SP

*Unithal Laboratório Agrônomo, Campinas - SP.

A palha de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi da variedade RB 72-454, na quantidade proporcional de 5 t ha^{-1} . Ela foi cortada com tamanho inferior ou igual ao diâmetro do vaso e foi depositada de forma uniforme nesses. A fim de se evitar que a palha que recebeu a aplicação dos herbicidas fosse removida durante o período de restrição hídrica, os vasos foram cobertos e presos com tule, e estes foram retirados somente na ocasião da semeadura das plantas daninhas, antes da aplicação da lâmina de água.

Figura 4.1 – Modelo da unidade experimental com grade que possibilitou realizar a semeadura das plantas daninhas em uma única data, evitando distúrbios no herbicida aplicado sobre a palha

Os herbicidas foram aplicados com auxílio de pulverizador costal à pressão constante, mantida por CO_2 comprimido, de 25 PSI (aproximadamente $1,72 \text{ bar}$ ou $1,75 \text{ Kgf cm}^{-2}$), munido de barra com duas pontas de pulverização XR 110.02, espaçadas de $0,5\text{m}$, com consumo de calda correspondente a 200 L ha^{-1} e consistiram em diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico ($1386,9 + 391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinona (391 g ha^{-1}), diurom ($1386,9 \text{ g ha}^{-1}$), sulfometurom-metílico ($33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diurom + hexazinona ($1386,9 + 391 \text{ g ha}^{-1}$), hexazinona + sulfometurom-metílico ($391 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), diurom + sulfometurom-metílico ($1386,9 + 33,35 \text{ g ha}^{-1}$), amicarbazona (1225 g ha^{-1}), imazapique + isoxaflutol ($98 + 105 \text{ g ha}^{-1}$) e amicarbazona + isoxaflutol ($770 + 105 \text{ g ha}^{-1}$). Cada tratamento herbicida foi

submetido a 7 períodos de restrição hídrica, sendo 180, 150, 120, 90, 60, 30 e 0 dias de restrição hídrica (DRH).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial de tratamentos 10 x 7, sendo 10 herbicidas e 7 períodos de restrição hídrica, em quatro blocos, além de testemunha com e sem a presença de palha. Aos 60 dias após restabelecimento da umidade (DARU), foi feita avaliação de controle (%), baseando 50% da nota na diminuição do número de plantas emergidas da palha e 50% na fitotoxicidade apresentada pelas plantas, sendo então 0 a ausência de sintomas e de redução da emergência e 100% a morte de todas as plantas do vaso, para cada espécie. Na mesma data também foi feita avaliação da massa fresca da parte aérea para as duas plantas daninhas.

Após a última aplicação dos tratamentos herbicidas (correspondente a 0 dias de restrição hídrica), a grade com a palha foi retirada de cada unidade experimental e foi feita a semeadura das plantas daninhas *Ipomoea triloba* (11 sementes vaso⁻¹) e *Panicum maximum* (0,3 g vaso⁻¹), para uma germinação aproximada de 10 plantas por vaso, equivalente a 885 plantas m⁻². Para isso, o solo foi umedecido com água e as sementes foram cuidadosamente colocadas sobre o solo e foram cobertas por camada de 0,5 cm de solo sem a aplicação de nenhum herbicida, sendo recolocada a grade com a palha após esse processo. Em análise prévia, constatou-se que a grade não impediu a germinação e desenvolvimento das plantas daninhas usadas nesse experimento. Depois de feita a semeadura, irrigou-se cada vaso com lâmina de 20 mm de água e estes foram mantidos com irrigação controlada desde então, de modo que a água de irrigação não percolasse dos vasos.

Os resultados de massa fresca foram comparados às testemunhas com e sem palha pelo teste de Dunnet à 5% de probabilidade. Os resultados do fatorial herbicidas x dias de restrição hídrica foram submetidos à análise de variância pelo teste F à 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Os dados de controle (%) para *Ipomoea triloba* foram transformados por $(x+5)^{2,3}$ e para *Panicum maximum* foram transformados por $(x+0,5)^{3,4}$. Os dados de massa fresca da parte aérea para *Ipomoea triloba* foram transformados por $(x+0,5)^{-1,5}$ e para *Panicum maximum* foram transformados por $(x+0,5)^{-2,0}$.

4.3 Resultados e Discussão

Houve interação fatorial entre herbicidas e dias de restrição hídrica para as avaliações de porcentagem de controle e massa fresca para as duas plantas daninhas estudadas, indicando que houve diferença de controle dos herbicidas em pelo menos um dos períodos de restrição hídrica avaliados.

Não houve diferença na massa fresca para *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum*, pelo teste de Dunnet, na presença ou ausência da palha de cana-de-açúcar, demonstrando que a quantidade de 5 t ha⁻¹ de palha usada nesse experimento não foi suficiente para impedir o crescimento e desenvolvimento dessas plantas daninhas. Segundo Velini e Negrisoni (2000), a quantidade de 6 t de palha de cana-de-açúcar foi suficiente para interceptar e reter acima de 95% do produto aplicado. Segundo Cavenaghi et al. (2007), 5 t ha⁻¹ de palha foram suficientes para reter 85% do herbicida amicarbazona aplicado.

Alves (2010) constatou que a quantidade de 10 t ha⁻¹ de palha não foi suficiente para impedir a germinação e acúmulo de biomassa da parte aérea para *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum*.

De acordo com Negrisoni et al. (2007), a cobertura com 5 t ha⁻¹ de palha provocou estímulo na germinação de *I. grandifolia*. Esses resultados também estão de acordo com trabalho de Correia e Durigan (2004), no qual constataram que quantidades de 5, 10 e 15 t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar não diminuíram a presença de *I. grandifolia* em comparação à ausência de palha. Azania et al. (2002) observaram que aos 45 dias após a semeadura, quantidades de 0, 10 e 15 t ha⁻¹ de palha não interferiram na emergência dessa planta daninha, com somente 20 t ha⁻¹ diminuindo o número de plantas emergidas. Santos et al. (2009) também constataram que essa corda-de-viola apresentou germinação reduzida com 20 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar.

Entretanto, Labonia et al. (2009), em experimento com 10 t ha⁻¹ de palha encontraram que para as espécies *I. triloba* e *M. cissoides*, houve emergência inferior nas parcelas com palha distribuída na superfície do solo, quando comparadas àquelas sem palha, e, ainda, a presença de palha reduziu significativamente a velocidade de emergência e o estabelecimento das plântulas.

Na tabela 4.3 encontram-se os resultados de controle (%) para corda-de-viola aos 60 dias após restabelecimento da umidade. O herbicida diurom + hexazinona +

sulfometurom-metílico (DIU + HEX + SMM) apresentou tendência de queda no controle dessa planta daninha a partir dos 90 dias de restrição hídrica (DRH), sendo o valor mínimo de controle de aproximadamente 85%.

Para o herbicida hexazinona (HEX) houve queda no controle já aos 30 dias de restrição hídrica (DRH), sendo esta queda mais evidente aos 120 DRH, com controle de 60,93 %. Aconteceu o mesmo para o herbicida diurom (DIU), porém, com grande falha no controle aos 90 e 150 DRH, com 35,31 e 16,87% de controle, respectivamente (Tabela 4.3).

O herbicida sulfometurom-metílico (SMM) proporcionou controle variando de aproximadamente 60 a 80% em todos os períodos de restrição hídrica avaliados. A associação hexazinona + sulfometurom-metílico (HEX + SMM) apresentou queda no controle evidente aos 60 DRH e controle mínimo de 72,18% aos 150 DRH. Já a associação diurom + sulfometurom-metílico (DIU + SMM) apresentou queda evidente aos 30 DRH com controle de 73,12%. A associação imazapique + isoxaflutol (IMA + ISO) obteve controle máximo de 75% aos 30 DRH, tendo queda no controle de *Ipomoea triloba* a partir desse ponto (Tabela 4.3). Santos et al. (2009) constataram que imazapic a 119 g ha^{-1} obteve 100% controle de *Ipomoea grandifolia*, porém com esta sob 20 t ha^{-1} de palha.

Tabela 4.3 – Controle (%) para *Ipomoea triloba* aos 60 dias após restabelecimento da umidade

Herbicidas ¹	Dias de Restrição Hídrica (DRH)						
	180	150	120	90	60	30	0
DIU + HEX + SMM	92,25	96,25	91,31	85,37	97,81	100,00	100,00
	ABa	ABa	ABa	ABa	ABa	Aa	Aa
HEX	86,87	76,87	60,93	100,00	100,00	90,93	100,00
	ABabc	BCbc	BCc	Aa	Aa	ABab	Aa
DIU	55,00	16,87	82,50	35,31	100,00	83,75	100,00
	Cbc	Dc	ABCab	Cc	Aa	ABa	Aa
SMM	70,93	72,81	81,25	75,00	75,00	81,25	65,62
	BCc	Ca	ABCa	BCa	CDa	ABa	Ba
DIU + HEX	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
HEX + SMM	95,00	72,18	75,37	85,37	77,56	97,81	100,00
	Aab	Cc	BCbc	ABabc	BCDbc	Aab	Aa
DIU + SMM	90,31	70,00	78,43	83,75	90,31	73,12	100,00
	Ababc	Cc	BCbc	ABabc	ABCab	Bbc	Aa
AM1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
IMA + ISO	34,37	19,06	56,56	50,93	67,5	75,00	72,81
	Cb	Db	Cab	Cab	Dab	Ba	Ba
AM2 + ISO	98,18	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
CV %				22,56			
F _{DRH}				12,81**			
F _{Herbicidas}				51,66**			
F _{DRH x Herbicidas}				3,62**			

¹ DIU = Diurom (1386,9 g ha⁻¹), HEX = Hexazinona (391 g ha⁻¹), SMM = Sulfometurom-metilico (33,35 g ha⁻¹), AM1 = Amicarbazona (1225 g ha⁻¹), IMA = Imazapique (98 g ha⁻¹), ISO = Isoxaflutol (105 g ha⁻¹), AM2 = Amicarbazona (770 g ha⁻¹). ** Significativo a 1% de probabilidade. Letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Azania et al. (2009), em experimento em campo com 70 dias sem chuva e 15 t ha⁻¹ de palha, aos 150 dias após tratamento (80 dias após restabelecimento da umidade), constataram que imazapique (122,5 g ha⁻¹) obteve controle médio de *Ipomoea grandifolia* de 87,5 % sendo considerado suficiente.

O herbicida amicarbazona (AM1) e a associação diurom + hexazinona (DIU + HEX) obtiveram controle de 100% em todos os períodos de restrição hídrica e a associação amicarbazona + isoxaflutol (AM2 + ISO) obteve controle diferente de 100% somente para 150 DRH (Tabela 4.3). Negrisoli et al. (2007) constatou que a espécie *I. grandifolia* demonstrou elevada sensibilidade à amicarbazona. Toledo et al. (2009) concluíram que a amicarbazona obteve excelente eficácia no controle dessa planta daninha sob 5 t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar, independentemente da dose utilizada (750 ou 1500 g ha⁻¹).

Azania et al. (2009), em experimento em campo com 70 dias sem chuva e 15 t ha⁻¹ de palha, aos 150 dias após tratamento (80 dias após restabelecimento da umidade), constataram que o herbicida amicarbazona (1050 g ha⁻¹) obteve média de controle de 88,33 %, sendo considerada suficiente.

Na tabela 4.4 encontram-se os resultados de controle (%) para capim colônia aos 60 dias após restabelecimento da umidade. O herbicida DIU + HEX + SMM apresentou controle de 100% em todos os períodos de restrição hídrica estudados. Além deste, a associação herbicida amicarbazona + isoxaflutol obteve controle diferente de 100% somente para 180 DRH, com controle de 85,93%.

O herbicida HEX falhou no controle da gramínea, sendo evidente o escape com 90 e 120 DRH, com controle de 22,91 e 14,06%, respectivamente (Tabela 4.4). O herbicida DIU apresentou queda no controle também a partir dos 90 DRH, com controle de 63,75% para esse período de restrição hídrica (Tabela 4.4).

Sulfometurom-metílico proporcionou controle variando de aproximadamente 50 a 97% em todos os períodos de restrição hídrica avaliados (Tabela 4.4), e ressalta-se que somente com zero dias de restrição hídrica esse herbicida reduziu o número de plantas sendo que nos outros períodos a sua presença evidenciava-se somente pela ação no crescimento das plantas daninhas.

O herbicida DIU + HEX apresentou tendência de queda no controle de *P. maximum* aos 60, 90 e 120 DRH, com 81,25; 85,93 e 77,81%, respectivamente. A associação HEX + SMM apresentou uma tendência de escape somente aos 30 DRH e a associação DIU + SMM obteve controles acima de 95%, evidenciando a ação do sulfometurom-metílico no controle de *Panicum maximum*. A associação imazapique + isoxaflutol obteve queda de controle com 120 DRH e a amicarbazona aplicada isoladamente falhou no controle da gramínea aos 90 DRH, com controle de 58,43%.

Chiovato (2009) comparou o controle de *Panicum maximum* por amicarbazona e isoxaflutol e concluiu que a gramínea é mais susceptível ao isoxaflutol.

Tabela 4.4 – Controle (%) para *Panicum maximum* aos 60 dias após restabelecimento da umidade

Herbicidas ¹	Dias de Restrição Hídrica (DRH)						
	180	150	120	90	60	30	0
DIU + HEX + SMM	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
HEX	82,50 ABCDa	96,87 Db	14,06 Cd	22,91 Db	85,93 ABa	93,43 ABa	100,00 Aa
DIU	38,33 Dc	69,68 BCDbc	70,93 ABCabc	63,75 BCDbc	92,18 Aab	100,00 Aa	100,00 Aa
SMM	50,00 Cdc	92,18 ABCab	79,12 ABCabc	84,06 ABCabc	65,00 Bc	64,06 Bb	96,87 Aa
DIU + HEX	100,00 Aa	100,00 Aa	77,81 ABa	85,93 ABCa	81,25 ABa	100,00 Aa	100,00 Aa
HEX + SMM	90,31 ABCa	97,81 ABa	100,00 Aa	98,18 ABa	100,00 Aa	86,31 ABa	100,00 Aa
DIU + SMM	95,62 ABa	100,00 Aa	95,93 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
AM1	100,00 Aa	82,81 ABCab	71,87 ABab	58,43 CDbc	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
IMA + ISO	70,31 BCDbc	64,68 CDbc	63,75 BCc	93,12 ABCab	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
AM2 + ISO	85,93 ABa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
CV %				31,46			
F _{DRH}				11,16**			
F _{Herbicidas}				16,92**			
F _{DRH x Herbicidas}				3,15**			

¹ DIU = Diurom (1386,9 g ha⁻¹), HEX = Hexazinona (391 g ha⁻¹), SMM = Sulfometurom-metílico (33,35 g ha⁻¹), AM1 = Amicarbazona (1225 g ha⁻¹), IMA = Imazapique (98 g ha⁻¹), ISO = Isoxaflutol (105 g ha⁻¹), AM2 = Amicarbazona (770 g ha⁻¹). ** Significativo a 1% de probabilidade. Letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 4.5 encontram-se os resultados de massa fresca da parte aérea para a planta de corda-de-viola aos 60 dias após restabelecimento da umidade. Observa-se na Tabela 4.5 que os resultados de massa fresca não diferem muito em relação aos resultados de controle (%). Porém, a detecção de diferenças entre os tratamentos torna-se mais difícil pela análise estatística empregada, devido ao fato de terem ocorrido variações grandes no controle de alguns herbicidas.

No caso da avaliação de massa fresca, não se levou em consideração, por exemplo, a redução do número de plantas por vaso, como no caso da avaliação de controle (%) e mediu-se toda a massa vegetal de cada espécie. Nesse experimento observou-se claro controle diferencial entre as plantas daninhas para alguns dos herbicidas estudados. Quando controlada somente uma das espécies, a outra adquire maior espaço para crescimento e a ausência da competição interespecífica

na mesma unidade experimental favorece o crescimento da planta daninha não controlada, gerando acúmulo de massa fresca bem maior do que a testemunha, em que não houve controle de nenhuma das espécies.

Tabela 4.5 – Massa fresca da parte aérea (g) de *Ipomoea triloba* aos 60 dias após restabelecimento da umidade

Herbicidas ¹	Dias de Restrição Hídrica (DRH)						
	180	150	120	90	60	30	0
DIU + HEX + SMM	0,06	0,05	0,06	0,12	0,01	0,00	0,00
	Aa	ABa	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa
HEX	0,68	0,53	1,56*	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aab	BCbc	CDEc	Aa	Aa	ABa	Aa
DIU	3,04*	7,29*	0,97	10,19*	0,00	1,82	0,00
	Bc	Dd	BCDbc	Bd	Aa	ABab	Aa
SMM	0,78*	0,96*	1,19*	0,66*	0,97*	1,29*	0,75*
	Ba	CDa	DEa	Ba	Ba	Ca	Ba
DIU + HEX	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
HEX + SMM	0,10	0,29	0,31	0,12	0,24	0,01	0,00
	Aabc	BCc	ABCbc	Aab	Aabc	Aab	Aa
DIU + SMM	0,09	0,52	0,54	0,14	0,07	0,32	0,00
	Aabc	Cc	CDEc	Aabc	Aab	BCbc	Aa
AM1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
IMA + ISO	5,15*	7,01*	3,71*	2,99*	1,39*	1,17*	0,44
	Bab	Db	Eab	Bab	Bab	Cab	Ba
AM2 + ISO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
Testemunha com palha				6,98*			
Testemunha sem palha				7,66*			
CV %				25,48			
F _{DRH}				13,63**			
F _{Herbicidas}				82,36**			
F _{DRH x Herbicidas}				3,26**			

¹ DIU = Diurom (1386,9 g ha⁻¹), HEX = Hexazinona (391 g ha⁻¹), SMM = Sulfometurom-metílico (33,35 g ha⁻¹), AM1 = Amicarbazona (1225 g ha⁻¹), IMA = Imazapique (98 g ha⁻¹), ISO = Isoxaflutol (105 g ha⁻¹), AM2 = Amicarbazona (770 g ha⁻¹). ** Significativo a 1% de probabilidade. * Médias não diferem das testemunhas com e sem palha pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Para a planta daninha *Panicum maximum*, isso ocorreu com mais evidência (Tabela 4.6), resultando em coeficientes de variação maiores, mesmo na avaliação de controle (%), quando comparada com a planta daninha *Ipomoea triloba*. Segundo Kuva et al. (2003), baixas densidades de *P. maximum* podem trazer grandes prejuízos por causa do porte que alcança, seja pela interferência direta ou pelo enriquecimento do banco de sementes. Monquero et al. (2011), Monquero et al.

(2008) e Gravena et al. (2004) afirmam que a presença de palha muitas vezes é suficiente para controlar o capim colônia, porém as infestações dessas espécies ocorrem onde há irregularidade na distribuição de palha.

Os escapes de corda-de-viola ficaram mais evidentes nos tratamentos com hexazinona, diurom e sulfometurom aplicados isoladamente e na associação de imazapique + isoxaflutol (Tabela 4.5).

Segundo dados de Labonia (2008), quando aplicados sobre o solo, e 90 dias após simulação de chuva, diurom + hexazinona não apresentou acúmulo de massa seca para *I. triloba*, enquanto que imazapique apresentou média igual a 4,75 g.

Escapes de capim-colônia ocorreram para os herbicidas hexazinona, diurom, sulfometurom e amicarbazona aplicados isoladamente, para diurom + hexazinona e para a associação imazapique + isoxaflutol (Tabela 4.6).

O desvio padrão é uma medida de dispersão dos dados e mede a variabilidade das observações com relação à média. Para esse experimento, em que não se identificou claramente a perda de eficácia com os períodos de restrição hídrica para todos os herbicidas e devido às grandes variações no controle de alguns herbicidas, a avaliação do desvio padrão indica quais tratamentos tiveram menos escapes ou pelo menos quais variaram menos em seu controle de forma geral (Figura 4.2).

Pela Figura 4.2 observa-se que os herbicidas hexazinona, diurom e imazapique + isoxaflutol apresentaram os maiores desvios e isso se deve ao fato de terem ocorrido escapes de controle de corda-de-viola para o herbicida diurom e de capim-colônia para o herbicida hexazinona e falha no controle de corda-de-viola para a associação de imazapique + isoxaflutol. O desvio padrão para o herbicida sulfometurom-metílico foi relacionado a uma média baixa de controle em todos os períodos de restrição hídrica. A associação desse herbicida com diurom ou hexazinona melhorou o seu desempenho, porém ainda com falhas de controle, principalmente para de *I. triloba* (Figura 4.2 e Tabela 4.3). Diurom + hexazinona e amicarbazona controlaram totalmente a planta daninha corda-de-viola, porém ocorreram escapes de capim-colônia (Figura 4.2 e Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.6 – Massa fresca da parte aérea (g) de *Panicum maximum* aos 60 dias após restabelecimento da umidade

Herbicidas ¹	Dias de Restrição Hídrica (DRH)						
	180	150	120	90	60	30	0
DIU + HEX + SMM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
HEX	0,39*	10,55*	6,07*	11,02*	4,07	0,29	0,00
	ABabc	Cc	Bc	Bbc	ABab	Aab	Aa
DIU	2,68*	1,93*	4,57*	3,67*	0,00	0,00	0,00
	Bb	BCb	ABab	ABb	Aa	Aa	Aa
SMM	0,37*	0,03	0,08	0,20	0,88*	0,67*	0,01
	ABab	ABa	Aab	ABab	Bb	Aab	Aa
DIU + HEX	0,00	0,00	1,68*	4,19	2,43	0,00	0,00
	Aa	Aa	ABa	ABa	ABa	Aa	Aa
HEX + SMM	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00
	ABa	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
DIU + SMM	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
AM1	0,00	3,12	6,67*	10,16*	0,00	0,00	0,00
	Aa	ABab	ABab	Bb	Aa	Aa	Aa
IMA + ISO	1,44*	2,20*	2,40*	0,26	0,00	0,00	0,00
	Bbc	ABCbc	Bc	ABa	Aa	Aa	Aa
AM2 + ISO	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
Testemunha com palha				3,99*			
Testemunha sem palha				3,89*			
CV %				34,40			
F _{DRH}				8,48**			
F _{Herbicidas}				11,15**			
F _{DRH x Herbicidas}				2,47**			

¹ DIU = Diurom (1386,9 g ha⁻¹), HEX = Hexazinona (391 g ha⁻¹), SMM = Sulfometurom-metílico (33,35 g ha⁻¹), AM1 = Amicarbazona (1225 g ha⁻¹), IMA = Imazapique (98 g ha⁻¹), ISO = Isoxaflutol (105 g ha⁻¹), AM2 = Amicarbazona (770 g ha⁻¹). ** Significativo a 1% de probabilidade. * Médias não diferem das testemunhas com e sem palha pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico e amicarbazona + isoxaflutol, considerando todos os períodos de restrição hídrica, foram os que obtiveram os menores desvios de controle e pelas Tabelas 4.3 e 4.4 observa-se que esse desvio baixo está associado a uma tendência de controle de 100%, o que indica que esses dois tratamentos herbicidas foram os mais estáveis com relação ao controle das duas plantas daninhas conjuntamente, sendo que a associação amicarbazona + isoxaflutol obteve escape no controle de *Panicum maximum* somente para 180 dias de restrição hídrica.

Figura 4.2 – Desvio padrão dos dados de controle (%) de *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum* para cada período de restrição hídrica e herbicida avaliado [DIU = Diurom ($1386,9 \text{ g ha}^{-1}$), HEX = Hexazinona (391 g ha^{-1}), SMM = Sulfometurom-metílico ($33,35 \text{ g ha}^{-1}$), AM1 = Amicarbazona (1225 g ha^{-1}), IMA = Imazapique (98 g ha^{-1}), ISO = Isoxaflutol (105 g ha^{-1}), AM2 = Amicarbazona (770 g ha^{-1})]

4.4 Conclusões

Conclui-se que os herbicidas amicarbazona + isoxaflutol e diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico foram os herbicidas que obtiveram os melhores resultados de controle para as duas plantas daninhas, sendo os mais indicados dentre todos os tratamentos avaliados. Os herbicidas diurom + hexazinona e amicarbazona falharam no controle de *Panicum maximum*. Os herbicidas diurom, hexazinona, sulfometurom-metílico e imazapique + isoxaflutol obtiveram falhas no controle de *I. triloba* ou *P. maximum* ou ambas as plantas daninhas, e a associação diurom + sulfometurom-metílico e hexazinona + sulfometurom-metílico falharam principalmente no controle de corda-de-viola.

Referências

- ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo na cultura da cana-de-açúcar.** 2010. 126 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- ALVES, S.N.R.; VICTORIA FILHO, R.; GARCIA, D.B.; LOVATTO, C.A.; CASON, J.B.; TOLEDO, R.E.B.; PANOSSO, A.R. Influência de diferentes períodos de seca no efeito residual de controle de herbicidas em diferentes espécies de plantas daninhas presentes na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010. Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 2470-2474.
- AZANIA, A.A.P.M.; AZANIA, C.A.M.; GRAVENA, R.; PAVANI, M.C.M.D.; PITELLI, R.A. Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família convolvulaceae. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 207-212, 2002.
- AZANIA, C.A.M.; ROLIM, J.C.; CASAGRANDE, A.A.; LAVORENTI, N.A.; AZANIA, A.A.P.M. Seletividade de herbicidas. III – aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 489-495, 2006.
- AZANIA, C.A.M.; AZANIA, A.A.P.M.; PIZZO, I.V.; SCHIAVETTO, A.R.; ZERA, F.S.; MARCARI, M.A.; SANTOS, J.L. Manejo químico de Convolvulaceae e Euphorbiaceae em cana-de-açúcar em período de estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 841-848, 2009.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.C.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Umuarama, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

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.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CHIOVATO, M.G. **Controle de plantas daninhas em cana de açúcar com herbicidas aplicados na época seca**. 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CORREIA, N.M.; BRAZ, B.A.; FUZITA, W.E. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de *Merremia aegyptia* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 631-642, 2010.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

CORREIA, N.M.; KRONKA JR., B. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 853-863, 2010.

FERREIRA, E.A.; PROCÓPIO, S.O.; GALON, L.; FRANÇA, A.C.; CONCENÇO, G.; SILVA, A.A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.F.; TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.P. Manejo de plantas daninhas em cana crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010.

FIGUEIREDO, E.B.; SCALA JR., N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 141, n. 1/2, p. 77-85, 2011.

FOLONI, L.L.; PLESE, L.P.M.; SILVA, C.L.; FILHO, J.T. Avaliação de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre e sob a palha em cana crua e o destino ambiental. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 447-455, 2011.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, p. 347-352, 2009.

GRAVENA, R.; RODRIGUES, J.P.R.G.; SPINDOLA, W.; PITELLI, R.A.; ALVES, P.L.C.A. Controle de plantas daninhas através da palha de cana-de-açúcar associada à mistura dos herbicidas trifloxysulfuron-sodium + ametrina. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 419-427, 2004.

KUVA, M.A. GRAVENA, R.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n.1, p. 37-44, 2003.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.A.; ALVES, P.L.C.A.; SALGADO, T.P.; PAVANI, M.C.D.M. Banco de sementes de plantas daninhas e sua correlação com a flora estabelecida no agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 735-744, 2008.

LABONIA, V.D.S. **Alguns aspectos de germinação e emergência de cinco espécies de plantas daninhas Convolvuláceas e suas suscetibilidades a herbicidas quando aplicados sobre palha de cana-de-açúcar**. 2008. 80p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LABONIA, V.D.S.; CARVALHO, S.J.P.; MONDO, V.H.V.; CHIOVATO, M.G.; VICTORIA FILHO, R. Emergência de plantas da família convolvulaceae influenciada pela profundidade da semente no solo e cobertura com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, p. 921-929, 2009. Número especial.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; MARTINS, F.R.A. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; INÁCIO, E.M.; SILVA, P.V.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C. Eficácia de herbicidas aplicados em diferentes épocas sobre *B. pilosa* e *I. quamoclit* em área de cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-570, 2009.

MONQUERO, P.A.; SILVA, P.V.; HIRATA, A.C.S.; MARTINS, F.R.A. Monitoramento do banco de sementes de plantas daninhas em áreas com cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 107-119, 2011.

NEGRISOLI, E.; ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; CAVENAGHI, A.L.; COSTA, E.A.D.; TOLEDO, R.E.B. Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 603-611, 2007.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 477-531.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A.L.; OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N.; ALONSO, D.G.; DAN, H.A.; OLIVEIRA JR. R.S.; CONSTANTIN, J. Eficácia e seletividade do herbicida imazapic isolado ou associado a outros herbicidas aplicado com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Umuarama, v. 8, n. 3, p. 75-84, 2009.

SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIN, L.G. SOUZA, S.R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1062-1068, 2005a.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005b.

TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009 .

TOLEDO, R.E.B.; PERIM, L.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 319-326, 2009.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 148-164.

5 CONCLUSÕES GERAIS

- A textura do solo influencia de forma significativa a eficácia de controle de plantas daninhas da formulação contendo os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico. Sendo assim, a dose recomendada desta formulação no campo deve estar fundamentada nos teores de argila e matéria orgânica.
- A susceptibilidade das espécies de plantas daninhas é diferencial em uma mesma dose da formulação contendo os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico. Assim, a planta daninha *Digitaria* spp apresenta um nível de tolerância maior quando comparada com a *Ipomoea triloba*. Desta forma, a recomendação do herbicida deve estar baseada no espectro de plantas daninhas presentes na área e consequentemente determinada pela planta daninha de mais difícil controle.
- As diferentes respostas em função das mudanças texturais podem estar relacionadas à absorção diferencial dos ingredientes ativos pelas plantas daninhas, o que é reforçado pelo fato de os herbicidas terem se comportado de maneiras distintas, em termos de lixiviação, quando aplicados isoladamente.
- O potencial de lixiviação no solo da formulação contendo os herbicidas diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico é maior que os herbicidas isolados desta formulação e tende a ser igual ao potencial de lixiviação da hexazinona, sendo maior em solos de textura arenosa. Esta maior lixiviação da formulação é provavelmente influenciada pela hexazinona, no entanto, a presente pesquisa não determina as razões desta influência.
- Os herbicidas diurom e sulfometurom-metílico aplicados isoladamente não apresentaram grande potencial de lixiviação, quando comparados com a formulação estudada. Nestes herbicidas, a textura do solo teve baixa influência no potencial de lixiviação.
- Quando aplicado sobre 5 t ha⁻¹ de palha e em diferentes períodos de restrição hídrica, o herbicida diurom + hexazinona + sulfometurom-metílico apresentou resultados satisfatórios de manejo das plantas daninhas *Ipomoea triloba* e *Panicum maximum*.