

POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS NA CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS CONTRASTANTES

POTENTIAL OF LEACHING OF HERBICIDE USED IN SUGAR CANE IN SOILS CONTRASTING

Miriam Hiroko INOUE¹; Ana Cássia Silva POSSAMAI²; Kassio Ferreira MENDES³; Ronei BEN⁴; Ana Karollyna Alves de MATOS⁵; Elielton Germano dos SANTOS⁴

1. Engenheira Agrônoma, Professora Doutora em Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra, MT, Brasil. miriamhinoue@hotmail.com; 2. Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil; 3. Engenheiro Agrônomo, Professor Mestre em Agronomia, UNEMAT, Tangará da Serra, MT, Brasil; 4. Graduando em Agronomia, UNEMAT, Tangará da Serra, MT, Brasil; 5. Engenheira Agrônoma, Mestranda em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

RESUMO: O aumento no uso de herbicidas, aliado ao emprego inadequado dessas moléculas, aumentou também as preocupações com os riscos de contaminação ambiental, bem como com seus efeitos sobre os seres humanos e animais. Objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar, em solos contrastantes. Utilizaram-se amostras de Neossolo Quartzarênico (NR – textura arenosa) e Latossolo Vermelho (LR – textura argilosa). Após a aplicação dos herbicidas ametryne (NR 1,60 kg ha⁻¹ e LR 2,40 kg ha⁻¹), clomazone (NR 0,90 kg ha⁻¹ e LR 1,10 kg ha⁻¹) e diuron (NR 1,60 kg ha⁻¹ e LR 3,20 kg ha⁻¹) foram irrigadas lâminas de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm de água nas colunas de solos. Resultados indicam que o ametryne, em amostras NR apresentou movimentação até a camada de 5-10 cm quando aplicado lâminas de 20 e 40 mm de água. Evidenciou-se que o clomazone, independente do solo, não ultrapassou a camada de 0-5 cm nas lâminas de 0 e 20 mm de água e 5-10 cm de profundidade nas lâminas acima de 40 mm de água. Com lâminas de até 80 mm, o diuron lixiviou somente nas camadas de 0-5 cm de profundidade no LR. Conclui-se que o potencial de lixiviação do ametryne e diuron foi influenciado pela textura do solo juntamente com o teor de matéria orgânica, o mesmo não ocorreu para o clomazone.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva simulada. Mobilidade. *Saccharum officinarum*. Textura.

INTRODUÇÃO

A interferência das plantas daninhas em cana-de-açúcar é fator crítico do processo produtivo, prejudicando fortemente as operações de colheita e diminuindo o número de cortes economicamente viáveis do canavial (KUVA et al., 2003). Entretanto, a expansão no uso de herbicidas, aliada ao emprego inadequado dessas moléculas, aumentou também as preocupações com os riscos de contaminação ambiental, bem como com seus efeitos sobre os seres humanos e animais (INOUE et al., 2003). Em amostras de águas subsuperficiais provenientes de áreas próximas ao cultivo de cana-de-açúcar, há ocorrência de resíduos de pesticidas, já que esta é uma das culturas que mais utilizam herbicidas no manejo de plantas daninhas (SOUTHWICK et al., 2002; VIVIAN et al., 2007).

Neste sentido, o potencial de lixiviação no solo é um dos aspectos mais importantes no que diz respeito ao potencial que estas moléculas apresentam de contaminar mananciais aquáticos subsuperficiais. O processo de lixiviação é influenciado pelas propriedades dos herbicidas e de seus metabólicos, dos solos e do clima. A textura, a estrutura, a densidade, o teor de matéria orgânica e o

pH são atributos do solo que influenciam na lixiviação dos herbicidas (PRATA et al., 2003). Tais fatores colaboram para prever o comportamento de herbicidas nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subsequentes (ROSSI et al., 2005).

Ametryne é um herbicida do grupo das s-triazinas, largamente utilizado no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. É considerado muito móvel no solo e altamente persistente em água e solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Segundo Passos et al. (2011) após 160 mm de água percolada e drenagem livre, não há lixiviação de ametryne para camadas abaixo de 20 cm de profundidade no solo. Por outro lado, há relatos de resíduos de ametryn (0,3 µg L⁻¹) em águas de rios pertencentes à região de Mackay Whitsunday, na Austrália (MITCHELL et al., 2005).

O clomazone pertence ao grupo das isoxazolidinonas, sendo altamente solúvel em água (1.100 mg L⁻¹ a 25 °C), por possuir valor de K_{oc} (coeficiente de partição carbono orgânico do solo-água) variando entre 150 e 562 cm³ g⁻¹, o que lhe confere maior lixiviação no solo, podendo atingir às

raízes das culturas, causando danos as espécies sensíveis (ESTÉVEZ et al., 2008; ZANELLA et al., 2008).

Diuron é um herbicida do grupo das uréias substituídas, moderadamente tóxico e persistente no solo e em águas, com tempo de meia vida variando entre 1 mês a 1 ano dependendo das condições ambientais (GIACOMAZZI; COCHET, 2004). Este herbicida é fortemente adsorvido pelos colóides de argila ou matéria orgânica e, por esta razão, a dose adequada é altamente dependente das características do solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). A sorção do diuron no solo tem sido atribuída, principalmente, a matéria orgânica. Diversos estudos mostram que o comportamento sorvido do herbicida apresenta correlação significativa com teores de matéria orgânica e CTC do solo (INOUE et al., 2008). Assim solos com baixos teores de matéria orgânica apresentam alto potencial de lixiviação do herbicida.

Estudos realizados por Dantas et al. (2009) em Ribeirão Preto-SP, detectaram traços de diuron ($0,26$ a $7,12 \mu\text{g L}^{-1}$) em águas subterrâneas de poços localizados em zona de recarga, próximos à cultura de cana-de-açúcar. Chen e Young (2008), mostraram que o diuron é um dos herbicidas mais usados na Califórnia, EUA, e tem sido frequentemente detectado nas águas de abastecimento do estado.

Particularmente no caso dos solos dos cerrados brasileiros, pouco se sabe até o momento sobre o comportamento de herbicidas no solo. Assim, objetivou-se avaliar em colunas de solo, o potencial de lixiviação de ametryne, clomazone e diuron, herbicidas comumente utilizados na cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso, em dois solos com texturas contrastantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Visando obter solos com características contrastantes, as amostras de solos foram coletadas em dois municípios. Os solos de Campo Novo do Parecis - MT e Tangará da Serra - MT são classificados, respectivamente, como Neossolo Quartzarênico (NR – textura arenosa) e Latossolo Vermelho (LR – textura argilosa) (EMBRAPA, 2006) e as características físicas-químicas do NR são: pH (H_2O) de 7,8; $1,13 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de H+Al; $2,75 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de Ca+Mg; $2,19 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de Ca; $0,02 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de K; $46,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P; 15 g dm^{-3} de C; $3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 71% de saturação por bases (V); 908 g kg^{-1} de areia; 32 g kg^{-1} de silte e 60 g kg^{-1} de argila. E do LR são: pH (H_2O) de 6,7; $3,13 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de H+Al; $6,00 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de Ca+Mg; $4,31$

$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de Ca; $0,37 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ de K; $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de P; 43 g dm^{-3} de C; $9,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 67% de saturação por bases (V); 415 g kg^{-1} de areia; 147 g kg^{-1} de silte e 438 g kg^{-1} de argila. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm, peneiradas e secas ao ar.

Os experimentos foram realizados em casa-de-vegetação e o potencial de lixiviação de ametryne, clomazone e diuron foi avaliado por meio de colunas de solos. Para tanto, colunas de PVC (30 cm de altura e 10 cm de diâmetro) foram parafinadas internamente. Na borda inferior de cada coluna foi colocado um sombrite visando reter o solo. Após o acondicionamento das amostras de solo nas colunas, estas foram umedecidas em água por capilaridade durante 24 horas, quando o solo se apresentou saturado até o topo da coluna. A seguir, as colunas foram mantidas na bancada da casa-de-vegetação por mais 24 horas para que o excesso de água fosse drenado.

Foram conduzidos seis experimentos simultaneamente, sendo que em cada experimento utilizado um herbicida (ametryne, clomazone ou diuron) e um solo (NR ou LR), em esquema fatorial 6×6 . Em cada experimento, os fatores estudados foram intensidades de simulações de precipitações (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm) e profundidade das colunas (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 cm), adotando-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

Os herbicidas ametryne (NR $1,60 \text{ kg ha}^{-1}$ e LR $2,40 \text{ kg ha}^{-1}$), clomazone (NR $0,90 \text{ kg ha}^{-1}$ e LR $1,10 \text{ kg ha}^{-1}$) e diuron (NR $1,60 \text{ kg ha}^{-1}$ e LR $3,20 \text{ kg ha}^{-1}$) foram aplicados ao topo das colunas mantendo 50 cm entre a borda superior da coluna e a barra de aplicação, de acordo com as doses recomendadas para cada solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Em seguida, foram simuladas precipitações de 20, 40, 60, 80 e 100 mm, além da testemunha (zero mm). Em todas as aplicações dos herbicidas utilizou-se um pulverizador costal pressurizado por CO_2 , munido de pontas tipo leque XR110.02, mantido à pressão de trabalho de 2 kgf cm^{-2} , aplicando-se volume de calda equivalente a 200 L ha^{-1} .

Vinte e quatro horas após a aplicação, as colunas foram cortadas longitudinalmente. Em seguida foram semeadas as espécies bioindicadoras (*Cucumis sativus* ou *Urochloa decumbens*), ao longo das colunas. A seleção dessas espécies foi de acordo com a sensibilidade de cada herbicida, determinada em experimentos preliminares (dados não publicados). Posteriormente a semeadura, as colunas seccionadas preenchidas com solos foram mantidas em condições favoráveis para o

desenvolvimento das plantas por meio de irrigações diárias de 8,0 mm.

Decorridos 21 dias após a semeadura (DAS), a parte aérea presente em cada seção da coluna foi colhida, acondicionada em sacos de papel e levada à estufa de ventilação forçada a 48°C, por 72 horas para determinação da biomassa seca. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram ajustadas com equações de regressão pelo teste de F ($p < 0,01$ e $0,05$), com o auxílio do programa SigmaPlot 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores médios de biomassa de *Cucumis sativus*, amostras de NR (textura arenosa) e LR (textura argilosa), após a aplicação de ametryne. Observou-se que houve a inibição do crescimento das plantas bioindicadoras nas amostras de NR (textura arenosa) até a camada de 5-10 cm quando aplicado lâminas de 20 e 40 mm, indicando a movimentação vertical de ametryne (Figura 1A). Lâminas de 60 a 100 mm de água proporcionaram lixiviação para camadas mais profundas, chegando até 15-20 cm de profundidade em lâminas de 100 mm de água. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por VIVAN et al. (2007), em que a eficiência do ametryne ($2,0 \text{ kg ha}^{-1}$) permaneceu nas camadas de 0 a 10 cm de profundidade no solo, em amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo. Sabe-se ainda que, dentre o grupo das triazinas, o herbicida ametryne apresenta maior mobilidade, persistência, solubilidade em água e adsorção relativamente fraca ao solo (GFRERER et al., 2002).

Segundo Prata et al. (2001), a baixa solubilidade e a reduzida velocidade de degradação de ametryne, aumentam a sua persistência no solo,

tendo uma atenção relevante sobre o comportamento desta molécula em relação a prováveis contaminações de lençóis freáticos, devido a percolação do herbicida no perfil do solo.

Com a aplicação de lâminas de até 80 mm de água, em solo de textura argilosa (Latossolo Vermelho), evidenciou-se que a movimentação do ametryne ficou limitada às camadas de 0-5 cm de profundidade nas colunas que continham amostras do referido solo, devido à redução da biomassa do bioindicador somente nas camadas superficiais (Figura 1B). Somente com a lâmina de 100 mm de água foi possível verificar a lixiviação do produto até a camada de 10-15 cm de profundidade (Figura 1B).

Os resultados encontrados podem estar relacionados, principalmente, às variações de textura e matéria orgânica do solo entre os solos Neossolo Quartzarênico (NR – textura arenosa) e Latossolo Vermelho (LR – textura argilosa). Sabe-se que a argila, juntamente com a matéria orgânica, são constituintes do solo responsáveis pela maior sorção de diversos herbicidas (INOUE et al., 2008). Portanto, quanto menor a sorção, maior é potencial de lixiviação do herbicida. O menor percentual de argila e, principalmente, os teores inferiores de matéria orgânica encontrados no Neossolo Quartzarênico contribuíram para a maior disponibilidade das moléculas do herbicida na solução do solo, em relação ao Latossolo Vermelho, conforme verificado no bioensaio. Embora existam inúmeros interferentes nas características de sorção de herbicidas à matéria orgânica, Cox et al. (1998) ressaltam a interação herbicida-matéria orgânica e que em solos de textura argilosa a menor tendência de lixiviação de herbicidas representa menor risco de contaminação de águas subterrâneas.

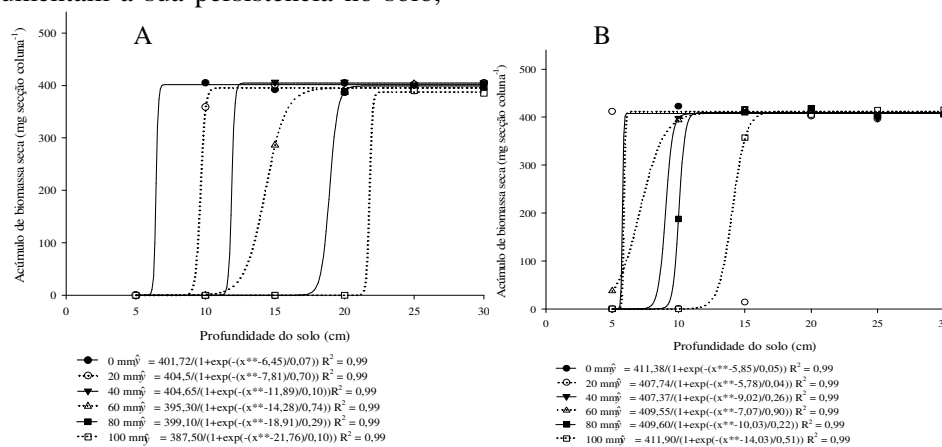


Figura 1. Acúmulo de biomassa seca (mg seção coluna⁻¹) da parte aérea das plantas de *Cucumis sativus* cultivadas em amostras de Neossolo Quartzarênico (NR) (A) e Latossolo Vermelho (LR) (B) de 0-30 cm de profundidade, provenientes das colunas submetidas à aplicação de ametryne (NR $1,60 \text{ kg ha}^{-1}$ e LR $2,40 \text{ kg ha}^{-1}$) com diferentes lâminas d'água (mm). ** e * $p < 0,01$ e $0,05$ pelo teste de F.

Na Figura 2 são apresentados os valores de biomassa seca de *Cucumis sativus* cultivada em amostras de solo com textura arenosa (NR) e argilosa (LR), após a aplicação de clomazone. Observou-se que houve tendência semelhante na movimentação do herbicida ao comparar os solos, evidenciando mobilidade das moléculas de clomazone nas camadas superficiais de 5-10 cm de profundidade, com aplicação de lâminas iguais ou superiores a 40 mm de água (Figuras 2A e 2B). Constatou-se ainda nas lâminas de 0 e 20 mm de água, que a restrição no crescimento do bioindicador ficou restrito à camada superficial (0-5 cm), em ambos os solos avaliados, mostrando que não houve movimentação das moléculas de clomazone em

camadas profundas. O herbicida clomazone apresenta baixo valor de coeficiente de partição octanol-água ($\log K_{ow} = 2,54$) (BARCELÓ; HENION, 2003), o que justifica sua maior tendência a sofrer lixiviação em presença de água, devido também ao fato de ser muito solúvel em água, e menor afinidade à matéria orgânica presente no solo, por causa do baixo valor de K_{oc} (SILVA et al., 2012).

Independente do solo, evidenciou-se que o clomazone não ultrapassou a camada de 0-5 cm nas lâminas de 0 e 20 mm de água e 5-10 cm de profundidade nas lâminas acima de 40 mm de água (Figuras 2A e 2B).

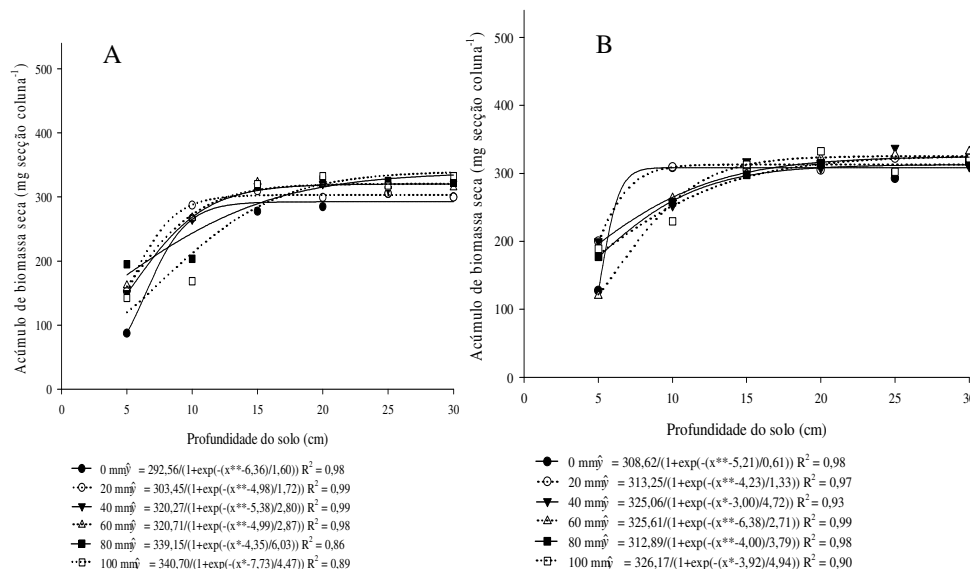


Figura 2. Acúmulo de biomassa seca (mg seção coluna⁻¹) da parte aérea das plantas de *Cucumis sativus* cultivadas em amostras de Neossolo Quartzarênico (NR) (A) e Latossolo Vermelho (LR) (B) de 0-30 cm de profundidade, provenientes das colunas submetidas à aplicação de clomazone (NR 0,90 kg ha⁻¹ e LR 1,10 kg ha⁻¹) com diferentes lâminas d'água (mm). ** e * p<0,01 e 0,05 pelo teste de F.

Os resultados dos ensaios para avaliar o potencial de lixiviação, após a aplicação de diuron (NR 1,60 kg ha⁻¹ e LR 3,20 kg ha⁻¹) podem ser observados por meio de valores médios de biomassa de *Urochloa decumbens*, cultivadas em solos de textura arenosa e argilosa (Figura 3). Constatou-se comportamento diferenciado na movimentação desse herbicida entre os dois solos, havendo inibição do crescimento da planta bioindicadora até a camada de 5-10 cm com a utilização das lâminas de 60 e 80 mm de água com amostras de NR, evidenciando pequena mobilidade das moléculas de diuron em solos de textura arenosa (Figura 3A). Nas colunas que receberam lâminas de 100 mm de água, foi possível detectar a atividade do produto até a profundidade de 10-15 cm (Figura 3A). Através do Fator de Atenuação (AF), Andrade et al. (2011) estimaram que o diuron apresenta mobilidade

potencial muito baixa em Latossolo Vermelho distroférico (textura argilosa) não evidenciando risco de contaminação de águas subterrâneas.

Nas lâminas com até 40 mm de água, houve redução da biomassa da planta bioindicadora nas camadas de até 0-5 cm de profundidade, indicando que não houve movimentação do diuron para camadas profundas no NR (Figura 3A). Resultados semelhantes foram encontrados por Inoue et al. (2008), em que sob precipitações de até 40 mm, a movimentação do herbicida também ficou restrita à camada de 0-5 cm, utilizando amostras de Latossolo Vermelho (textura franco-arenosa) com baixo teor de argila (10%). Ao comparar resultados obtidos por Guzzella et al. (2006), quando avaliaram a mobilidade de diuron através de lisímetros, em amostras de Argiloso Vermelho (carbono orgânico de 2,6% e argila de 12%), a movimentação do

herbicida foi detectada apenas na camada superficial (0-10 cm) do solo e sua concentração inicial do experimento até o final foi reduzida em 50%.

No solo de textura argilosa (LR), o diuron não apresentou redução da biomassa do bioindicador além da camada de 0-5 cm para lâminas aplicadas de 0 a 80 mm, indicando que o herbicida diuron não ultrapassou a camada superficial (Figura 3B). No entanto, verificou-se que a lâmina de 100 mm de água houve controle do bioindicador até a camada de 5-10 cm, indicando que não houve movimentação do diuron para camadas mais profundas. Há indícios que a

interação hidrofóbica entre o diuron e a matéria orgânica do solo é um componente importante na sua sorção do solo (INOUE et al., 2008). Assim, o resultado pode ser atribuído ao fato do solo de textura argilosa apresentar elevado teor de matéria orgânica, o que proporcionou retenção das moléculas de diuron no perfil do solo, reduzindo a movimentação do herbicida. Em solos argilosos (Latosolo Vermelho, 56% de argila), Inoue et al. (2008) também constataram movimentação de diuron apenas na camada superficial, com lâminas entre 0 a 80 mm de água.

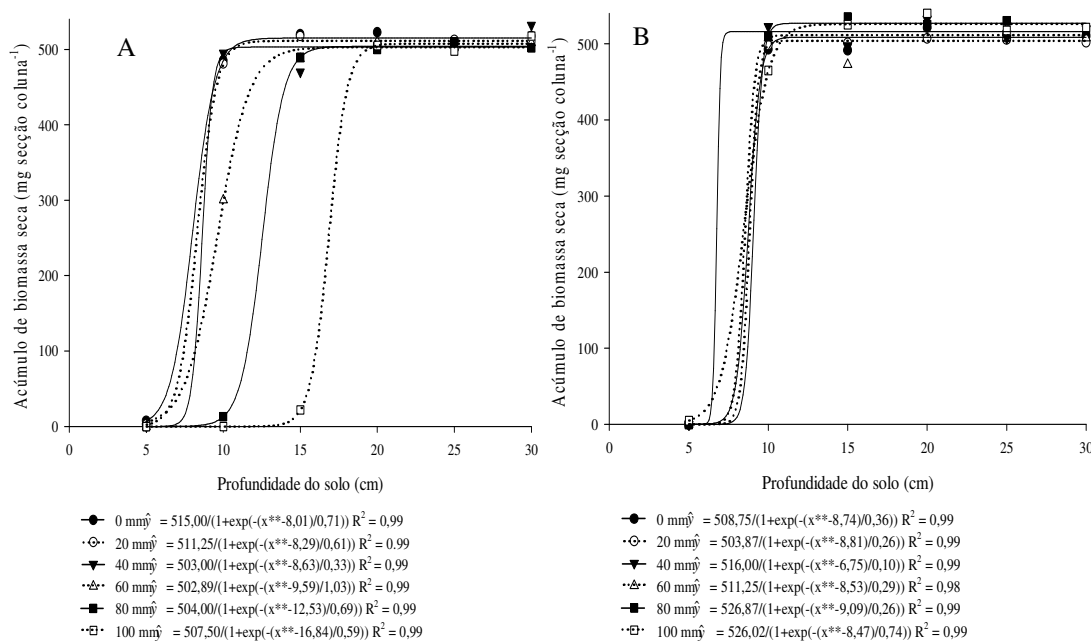


Figura 3. Acúmulo de biomassa seca (mg secção coluna⁻¹) da parte aérea das plantas de *Urochloa decumbens* cultivadas em amostras de Neossolo Quartzarênico (NR) (A) e Latossolo Vermelho (LR) (B) de 0-30 cm de profundidade, provenientes das colunas submetidas à aplicação de diuron (NR 1,60 kg ha⁻¹ e LR 3,20 kg ha⁻¹) com diferentes lâminas d'água (mm). ** e * p<0,01 e 0,05 pelo teste de F.

Nesse sentido, a estimativa de lixiviação de acordo com o índice de GUS proposto por Gustafson (1989), classifica a movimentação da molécula de diuron como intermediária, apresentando um GUS de 2,6. Diante deste contexto, o diuron não apresenta grandes riscos de contaminação ambiental uma vez que sua molécula não apresenta um alto potencial de lixiviação.

CONCLUSÕES

O menor do teor de matéria orgânica e textura mais leve do solo aumentaram o potencial de lixiviação do herbicida ametryne e diuron no solo. Lâminas de até 80 mm de água promoveram movimentação restrita (apenas em 0-5 cm), do ametryne e diuron na camada superficial do solo de textura argilosa. Para o clomazone observou-se comportamento semelhante na movimentação do herbicida ao comparar os solos de texturas contrastantes, não atingindo camadas profundas, permanecendo na profundidade de 0-10 cm do solo.

ABSTRACT: The increased use of herbicides, coupled with inadequate use of these molecules, also increased concerns about the risks of environmental contamination and its effects on humans and animals. The objective of this work evaluates the potential for leaching of herbicides in the crop of cane sugar, in contrasting soils. Used samples were used Psament (NR - sandy texture) and Oxisol Red (LR - clay texture). After application of herbicides ametryne (NR 1.60 kg ha⁻¹ and LR 2.40 kg ha⁻¹), clomazone (NR 0.90 kg ha⁻¹ and LR 1.10 kg ha⁻¹) and diuron (NR 1.60 kg ha⁻¹ and LR 3.20 kg ha⁻¹), were irrigated blades of 0, 20, 40, 60, 80 and 100 mm of water in soil columns. Results indicate that ametryne in NR samples submitted to the handling layer of 5-10 cm when applied blades of 20 and 40 mm of water. It was evident that the clomazone, regardless of the soil, did not exceed 0-5 cm water depths of 0 to 20 mm of water and 5-10 cm deep in the blades above 40 mm of water. With blades up to 80 mm, the diuron leaching only in layers 0-5 cm deep in LR. Conclude that the potential of leaching of diuron and ametryne was influenced by soil texture together with the organic matter content, the same was not true for clomazone.

KEYWORDS: Simulated rain. Mobility. *Saccharum officinarum*. Texture.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. S.; REIS, M. R.; DRUMOND, L. C. D.; CAIXETA, S. P.; RONCHI, C. P. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 95-102, 2011.
- BARCELÓ, D.; HENNION, M. C. Pesticides and their degradation products: characteristics, usage and environmental behaviour. In: _____. **Trace determination of pesticides and their degradation products in water**. Amsterdam : Elsevier Science B, 2003. cap. 1, v. 19, p. 89-94.
- CHEN, W.; YOUNG, T. M. NDMA formation during chlorination and chloramination of aqueous diuron solutions. **Environmental Science and Technology**, Iowa, v. 42, n. 4, p. 1072-1077, 2008.
- COX, L.; KOSKINEN, W. C.; CELIS, R.; YEN, P. Y.; HERMOSIN, M. C.; CORNEJO, J. Sorption of imidacloprid on soil clay mineral and organic components. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 62, n. 4, p. 911-915, 1998.
- DANTAS, A. D. B.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; BALLEJO, R. R.; BERNARDO, L. D. Pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular para remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água subterrânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 373-380, 2009.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- ESTÉVEZ, M. A.; PERIAGO, E. L.; CARBALLO, E. M.; GÁNDARA, J. S.; MEJUTO, J. C.; RÍO, L. G. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 123, n. 4, p. 247-260, 2008.
- GFRERER, M.; WENZL, T.; QUAN, X.; PLATZER, B.; LANKMAYR, E. Occurrence of triazines in surface and drinking water of Liaoning Province in Eastern China. **Journal Biochemical and Biophysical Methods**, Amsterdam, v. 53, n. 1-3, p. 217-228, 2002.
- GIACOMAZZI, S.; COCHET, N. Environmental impact of diuron transformation: a review. **Chemosphere**, Oxford, v. 56, n. 11, p. 1021-1032, 2004.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology**, New York, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.
- GUZZELLA, L.; CAPRI, E.; DI CORCIA, A.; BARRA-CARACCILOLO, A.; GIULIANO, G. Fate of diuron and linuron in a field lysimeter experiment. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 1, p. 312-323, 2006.

- INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; TORNISIELO, V. L.; CONSTANTIN, J. Critério 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.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. supl., p. 631-638, 2008.
- 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 brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e capim colônia (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.
- MITCHELL, C.; BRODIE, J.; WHITE, I. Sediments, nutrients and pesticide residues in event flow conditions in strams of the Mackaay Whitsunday region, Austrália. **Marine Pollution Bulletin**, Grã Bretanha, v. 51, n. 1, p. 23-36, 2005.
- PASSOS, A. T. M.; FOLONI, J. S. S.; FAGAN, E. R. Lixiviação no solo de herbicidas em razão da percolação de água. **Científica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1/2, p. 85-93, 2011.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L. Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 975-981, 2001.
- PRATA, F.; CARDINALI, V. C. B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 175-180, 2003.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.
- ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JR., J. Mobilidade do sulfentrazone em latossolo vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.
- SOUTHWICK, L. M.; GRIGG, B. C.; KORNECKI, T. S.; FOUSS, J. L. Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 15, p. 4393-4399, 2002.
- SILVA, M. S.; COCENZA, D. S.; ROSA, A. H.; FRACETO, L. F. Efeito da associação do herbicida clomazone a nanoesferas de alginato/quitosana na sorção em solos. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 102-107, 2012.
- VIVAN, R.; QUEIROZ, M. E. L. R.; JAKELAITIS, A.; GUIMARÃES, A. A.; REIS, M. R.; CARNEIRO, P. M.; SILVA, A. A. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.
- ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; GONÇALVES, F. F.; MARTINS, M. L.; ADAIME, M. B.; MARCHESANC, E.; MACHADOC, S. L. O. Study of the Degradation of the Herbicide Clomazone in Distilled and in Irrigated Rice Field Waters using HPLC-DAD and GC-MS. **Journal of Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 987-995, 2008.