

Lixiviação do saflufenacil e tebuthiuron em solos de texturas contrastantes submetidos a diferentes precipitações pluviométricas

Objetivou-se avaliar o potencial de lixiviação do saflufenacil e tebuthiuron em solos de textura contrastante, Latossolo Vermelho - LV e Neossolo Quartzarênico-NQ, submetidos a diferentes precipitações pluviométricas, pelo método de bioensaio. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, constituídos das aplicações de saflufenacil (LV - 0,140 kg ha⁻¹ e NQ - 0,105 kg ha⁻¹) e tebuthiuron (LV - 1,5 kg ha⁻¹ e NQ - 1,0 kg ha⁻¹), no topo das colunas de solo. Foram conduzidos quatro experimentos, sendo que em cada experimento foi utilizado um herbicida (saflufenacil ou tebuthiuron) e um solo (LV - textura argilosa ou NQ - textura arenosa) em esquema fatorial 6 x 6 + 1, com três repetições, dispostos em blocos casualizados. Os fatores estudados foram às precipitações simuladas (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm) e as profundidades das colunas (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 e 25-30 cm), além da testemunha (0 mm e 0 g ha⁻¹). Após a simulação das precipitações, as colunas foram cortadas longitudinalmente e ao longo das colunas foram semeadas as plantas bioindicadoras (*Cucumis sativus*), e 21 dias após a semeadura foi avaliado o controle. O saflufenacil evidenciou lixiviação até a camada de 25-30 cm de profundidade, com as aplicações das lâminas d'água de 40, 60, 80 e 100 mm, independente da textura do solo. O tebuthiuron lixiviou até a camada de 25-30 cm de profundidade em LV para as precipitações pluviométricas de 60, 80 e 100 mm, enquanto que em solo NQ, o tebuthiuron apresentou lixiviação em todas as camadas das colunas de solo (0-30 cm) com as precipitações de 0 a 100 mm. Conclui-se que o saflufenacil apresentou maior lixiviação com elevadas precipitação pluviométrica, independente da textura do solo, e a lixiviação do tebuthiuron sofreu influência da textura do solo e da precipitação pluviométrica, onde este atingiu maiores profundidades do solo com textura arenosa (NQ).

Palavras-chave: Bioensaio; Herbicidas; Mobilidade; Profundidade do solo.

Leaching of saflufenacil and tebuthiuron in contrasting texture soils submitted to different pluviometric precipitations

The objective was to evaluate the leaching potential of saflufenacil and tebuthiuron in soils with contrasting texture, Red Latosol - LV and Neossolo Quartzarênico-NQ, submitted to different rainfall, using the bioassay method. The experiments were conducted in a greenhouse, consisting of applications of saflufenacil (LV - 0,140 kg ha⁻¹ and NQ - 0,105 kg ha⁻¹) and tebuthiuron (LV - 1,5 kg ha⁻¹ and NQ - 1,0 kg ha⁻¹), at the top of the soil columns. Four experiments were conducted, with each experiment using a herbicide (saflufenacil or tebuthiuron) and a soil (LV - clay texture or NQ - sandy texture) in a 6 x 6 + 1 factorial scheme, with three repetitions, arranged in randomized blocks. The factors studied were simulated rainfall (0, 20, 40, 60, 80 and 100 mm) and column depths (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 and 25-30 cm), in addition to the control (0 mm and 0 g ha⁻¹). After simulating rainfall, the columns were cut longitudinally and along the columns the bioindicator plants (*Cucumis sativus*) were sown, and 21 days after sowing the control was evaluated. Saflufenacil showed leaching up to the 25-30 cm deep layer, with the application of water slides of 40, 60, 80 and 100 mm, regardless of the soil texture. The tebuthiuron leached up to the 25-30 cm deep layer in LV for 60, 80 and 100 mm rainfall, while in NQ soil, the tebuthiuron leached in all layers of the soil columns (0-30 cm) with precipitations from 0 to 100 mm. It is concluded that saflufenacil showed greater leaching with high rainfall, regardless of the soil texture, and the leaching of the tebuthiuron was influenced by the soil texture and rainfall, where it reached greater depths of the soil with sandy texture (NQ).

Keywords: Bioassay; Herbicides; Mobility; Soil depth.


Topic: **Proteção de Plantas e Fitotecnia**

Received: **05/11/2021**

Approved: **06/12/2021**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Ana Cássia Silva Possamai 
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7037110107076402>
<http://orcid.org/0000-0002-8785-8362>
anacassiapossamai@unemat.br

Francisco de Almeida Lobo 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0296723198831816>
<http://orcid.org/0000-0002-5670-0351>
fdealobo@gmail.com

Mariana Batistti
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4549675556526070>
marianastarg@hotmail.com

Miriam Hiroko Inoue
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5603582678388704>
miriamhinoue@hotmail.com

Kassio Ferreira Mendes 
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7101423608732888>
<http://orcid.org/0000-0002-2869-8434>
kassio_mendes_06@hotmail.com

Ana Karine de Aquino Nunes
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6579420203205649>
karininha_an@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.012.0004

Referencing this:

POSSAMAI, A. C. S.; LOBO, F. A.; BATISTTI, M.; INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; NUNES, A. K. A.. Lixiviação do saflufenacil e tebuthiuron em solos de texturas contrastantes submetidos a diferentes precipitações pluviométricas. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.12, p.36-44, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.012.0004>

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, possuindo uma área estimada em 8,60 milhões de ha, com produção de mais de 665,1 milhões de toneladas, exercendo um papel fundamental na economia brasileira (CONAB, 2020). Entre os problemas existentes no setor canavieiro que reduzem a produtividade, destacam-se as plantas daninhas, as quais são responsáveis por até 74,1 a 90,5% das perdas na produção (YIREFU et al., 2012), podendo também aumentar o custo de produção em cerca de 30% para cana-soca e de 15 a 20% para cana-planta, além de diminuir o número de cortes viáveis (AZANIA et al., 2006; PROCÓPIO et al., 2004).

Para reduzir as perdas, o manejo de plantas daninhas nos canaviais brasileiros é feito basicamente pelo método químico (CARVALHO et al., 2010; KUVA et al., 2014), devido sua praticidade, alta eficiência e pelo baixo custo de controle quando comparado aos demais métodos de controle.

De forma direta ou indireta os herbicidas têm como destino final o solo, pois se houver chuva logo após a aplicação dos mesmos, sua eficiência pode ser reduzida. O impacto que estes herbicidas causam no ambiente, ocorre pelo fato de que estes podem sofrer processos de degradação, sorção e movimentação, tendo como resultados: a absorção do produto pelas plantas, alixiviação do produto para camadas subsuperficiais e a degradação ou formação de resíduos ligados (PRATA et al., 2000).

A lixiviação é necessária para que o herbicida atinja as camadas subsuperficiais do perfil do solo, em profundidades suficientes para atuar no banco de sementes de plantas daninhas. No entanto, a lixiviação excessiva no perfil do solo pode contribuir para a retirada do herbicida da camada de interesse no solo e para sua migração para profundidades que podem contaminar mananciais subsuperficiais de água. A maioria dos herbicidas aplicados em pré-emergência utilizados em cana-de-açúcar apresentam alta mobilidade, podendo maximizar as chances de contaminação do lençol freático (SANTOS et al., 2004).

Entre os herbicidas mais utilizados no Brasil na cultura da cana de açúcar, se destaca o tebuthiuron que pertencente ao grupo químico dos derivados da uréia, que age pela inibição do fotossistema II, interrompendo o processo de fotossíntese das plantas daninhas (BREITENBACH et al., 2001). E o saflufenacil que pertencente ao grupo dos inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), ocasiona uma ruptura celular na planta, levando a um extravasamento do suco celular, necrose dos tecidos e morte das plantas (GROSSMANN, 2010). O uso desses produtos têm despertado preocupações em relação ao risco ambiental, principalmente à contaminação dos lençóis freáticos. Alguns trabalhos descrevem a suscetibilidade da água subterrânea à contaminação (ACAYABA et al., 2021; SANTAROSSA et al., 2010; BARNHOORN et al., 2020). Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar o potencial de lixiviação do saflufenacil e tebuthiuron sob diferentes precipitações pluviométricas em solos com texturas contrastantes, pelo método de bioensaio.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), *Campus* de Tangará da Serra-MT, localizada na rodovia MT 358, Km 07 com altitude

média de 320 m. Para tanto, foram utilizadas amostras de solos com texturas contrastantes provenientes do município de Tangará da Serra - MT, de duas áreas diferentes, sendo classificados respectivamente, como Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ) (EMBRAPA, 2013). As características físico-químicas de ambos os solos encontram-se na Tabela 1.

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

Solo	Ph		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺			Ca ²⁺	K ⁺
	(CaCl ₂)	(H ₂ O)			(cmol _c dm ⁻³)				
LV ^{1/}	4,9	4,2	0,7	4,4	0,7			0,5	0,2
NQ ^{2/}	5,5	6,2	0,0	1,6	2,0	1,3	0,2		
Solo	P	MO	CTC	V (%)	Areia		Silte	Argila	
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(cmol _c dm ³)		(g kg ⁻¹)				
LV ^{1/}	1,2	18,7	5,1	14,7	329,0	117,0		554,0	
NQ ^{2/}	9,4	11,2	3,8	58,5	843,0	30,0		127,0	

Fonte: Laboratório Agro Análise, Cuiabá, MT. ^{1/}LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa); ^{2/}NQ = Neossolo Quartzarênico (textura arenosa).

As amostras foram coletadas a uma profundidade de 5-10 cm, removendo os resíduos presentes na superfície do solo, peneirando-o até obter a quantidade necessária para o preenchimento das colunas. O potencial de lixiviação do saflufenacil e tebuthiuron foi avaliado por meio de colunas de solos, através do método de bioensaio. As colunas de PVC (30 cm de altura e 10 cm de diâmetro) foram parafinadas, a fim de garantir a sua impermeabilização, sendo a parte inferior de cada coluna vedada com sombrite, para reter o solo. As amostras de solo foram peneiradas, secas ao ar e devidamente acondicionadas nas colunas. Posteriormente, estas colunas foram umedecidas por capilaridade e retiradas depois de 24 h. A seguir, as colunas foram mantidas na bancada da casa de vegetação por mais 24 h para drenagem do excesso de água, conforme

Foram conduzidos quatro experimentos, sendo que em cada experimento foi utilizado um herbicida (saflufenacil ou tebuthiuron) e um solo (LV - textura argilosa ou NQ - textura arenosa) em um esquema fatorial 6 x 6 + 1, com três repetições, dispostos em blocos casualizados. Os fatores estudados foram às precipitações simuladas (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mm) e as profundidades das colunas (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 e 25-30 cm), além da testemunha (0 mm e 0 g ha⁻¹).

O saflufenacil (LV - 0,140 kg ha⁻¹ e NQ - 0,105 kg ha⁻¹) e tebuthiuron (LV - 1,5 kg ha⁻¹ e NQ - 1,0 kg ha⁻¹), foram aplicados com um pulverizador costal pressurizado por CO₂, com pontas do tipo leque XR110.02, mantidos à pressão de trabalho de 2 kgf cm⁻², resultando em volume de calda de 200 L ha⁻¹. Os herbicidas foram aplicados ao topo das colunas mantendo 0,50 m entre a borda superior da coluna e a barra de aplicação, de acordo com as doses recomendadas para cada textura de solo, com temperaturas inferiores a 35°C e umidade relativa superior a 60%, de acordo com Rodrigues e Almeida (2018). Após a aplicação dos herbicidas, foram simuladas as precipitações.

Vinte e quatro horas após a simulação das precipitações, as colunas foram cortadas longitudinalmente com o auxílio de uma serra-mármore, separando-as em duas partes. Em seguida, semeou-se a espécie bioindicadora (*Cucumis sativus* - pepino), ao longo das colunas. As colunas de solos foram mantidas em condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas mediante a aplicação de

irrigações diárias (5 mm) e todas as colunas receberam adubações segundo Filgueira (2012).

Decorridos 21 dias após a semeadura (DAS), foram efetuadas as avaliações visuais do controle das plântulas de *C. sativus* com densidade de 24 plantas por coluna de solo, pelo critério de escala de notas de 0 a 100%, em que, 0 corresponde a nenhuma injúria e 100 a morte das plantas, estabelecendo-se notas e conceitos segundo escala proposta pela SBCPD (1995). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram ajustadas com equações de regressão pelo teste de F ($p < 0,05$) (SILVA et al., 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No solo com textura argilosa (LV), não houve evidência de arraste vertical do saflufenacil nas camadas abaixo de 5-10 cm, para a lâmina d' água de 0 mm (Figura 1). Contudo, na camada de 10-15 cm de profundidade, constatou-se controle na planta bioindicadora de 43,3%, para a lâmina d' água de 20 mm (Figura 1). Entretanto, nas lâminas d' água de 40 a 100 mm evidenciou uma movimentação vertical das moléculas de saflufenacil ao longo de toda a coluna de solo (30 cm), sendo que a lâmina d' água de 100 mm apresentou maior percentual de controle na planta bioindicadora (*C. sativus*) de 80% (Figura 1).

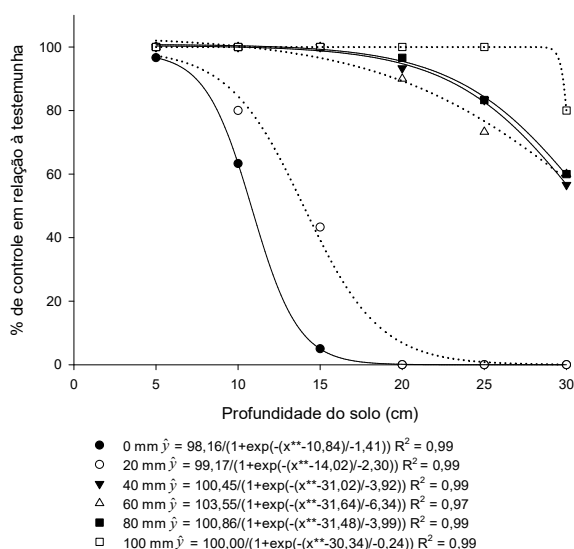


Figura 1: Porcentagem de controle das plantas de *C. sativus* cultivadas em colunas de Latossolo Vermelho (LV), com textura argilosa, após a aplicação de saflufenacil ($0,140 \text{ kg ha}^{-1}$). ** $p < 0,05$ pelo teste de F.

Resultados desta pesquisa corroboram com os de Agazzi (2019), que utilizou solo argiloso (1,48% de matéria orgânica e 51% de argila) com a aplicação em pré-emergência de saflufenacil ($70,0 \text{ g ha}^{-1}$), observando que a lixiviação foi até a profundidade de 35 cm, utilizando lâmina d' água de 60 mm, e ocorreu morte de todas as plantas cultivadas nas amostras coletadas nos primeiros 10 cm de profundidade, independentemente do valor de pH que foi utilizado no estudo (4,6 e 6,1 pH).

No solo de textura arenosa (NQ), na lâmina d' água de 0 mm não houve mobilidade do saflufenacil abaixo da camada de 15-20 cm apresentando controle de 23,3% na planta bioindicadora (*C. sativus*) (Figura 2). Entretanto, evidenciou lixiviação do herbicida até a camada de 20-25 cm de profundidade, com a aplicação da lâmina d' água de 20 mm (Figura 2). Nas lâminas d' água de 40 a 100 mm observou-se a movimentação vertical das moléculas do saflufenacil até a camada de 25-30 cm de profundidade nas colunas de solo, onde as lâminas d' água de 80 e 100 mm proporcionaram, respectivamente, controle na

planta bioindicadora (*C. sativus*) de 86,6 e 90,0% (Figura 2).

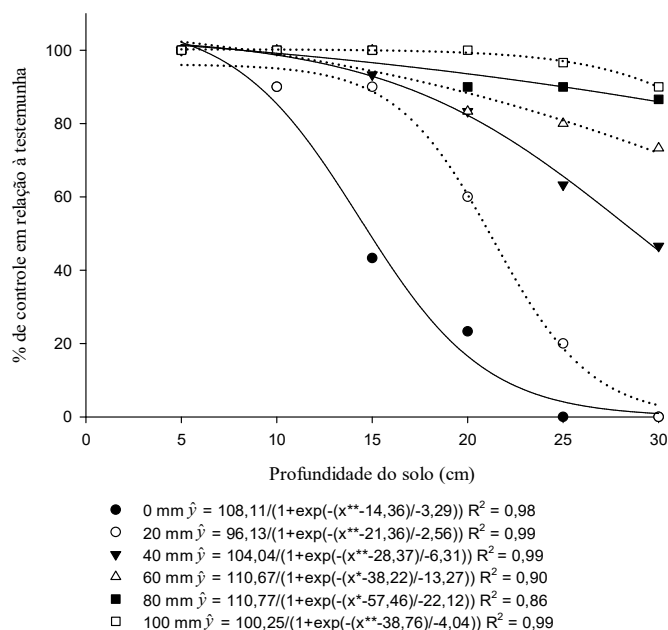


Figura 2: Porcentagem de controle das plantas de *C. sativus* cultivadas em colunas de Neossolo Quartzarênico (NQ), com textura arenosa após a aplicação de saflufenacil (0,105 kg ha⁻¹). ** p < 0,05 pelo teste de F.

O fato de o saflufenacil ter o potencial de lixiviação maximizado em solos de textura arenosa condiz com Marchese (2007), onde afirma que o potencial de lixiviação dos pesticidas é maximizado, quando estes são aplicados em solos de textura arenosa e com pouca matéria orgânica. Deste modo, as plantas cultivadas sob solo de textura arenosa (12,7% de argila e 1,1% de matéria orgânica), apresentaram maior porcentagem de controle do bioindicador do que no solo de textura argilosa (55,4% de argila e 1,8% de matéria orgânica) (Figuras 1 e 2).

Monquero et al. (2012) relataram que o saflufenacil aplicado em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa com pH 6,0 apresentou lixiviação até a profundidade de 25 cm, porém ela foi mais pronunciada na faixa de 15 a 20 cm, e quando o herbicida foi aplicado no mesmo solo, mas com pH 5,2, houve lixiviação até a profundidade de 15 cm, e em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, a lixiviação foi elevada até a profundidade de 25 cm.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Barcellos Jr. (2018), ao estudar a lixiviação do saflufenacil em solo arenoso (3% de matéria orgânica e 19,5% de argila), com pluviosidade 60 mm d' água, confirmou a lixiviação até a profundidade 25 cm. Os resultados encontrados corroboram também com os de Freitas (2014) que ao estudar o comportamento do sulfentrazone, herbicida ácido fraco (pKa 6,56) pertencente ao mesmo mecanismo de ação do saflufenacil, em diferentes substratos observou que solos com menores teores de matéria orgânica e argila apresentaram maior potencial de lixiviação.

Para o tebuthiuron no solo de textura argilosa (LV), nas lâminas d' água de 0 e 20 mm evidenciou-se uma movimentação do tebuthiuron até a profundidade 5-10 cm na coluna de solo, apresentando controle de 86,6 e 93,3%, respectivamente (Figura 3). Na lâmina de 40 mm evidenciou-se uma movimentação vertical das moléculas deste herbicida até a camada de 20-25 cm de profundidade na coluna do solo (Figura 3). A medida que se aumentou a lâmina de água aplicada, houve um incremento na disponibilidade do

tebuthiuron em profundidade. Com a aplicação das lâminas de 60, 80 e 100 mm houve o arraste do tebuthiuron ao longo de toda a coluna (25-30 cm), sendo que a lâmina d'água de 100 mm provocou maior controle na planta bioindicadora (*C. sativus*) de 46,6% (Figura 3).

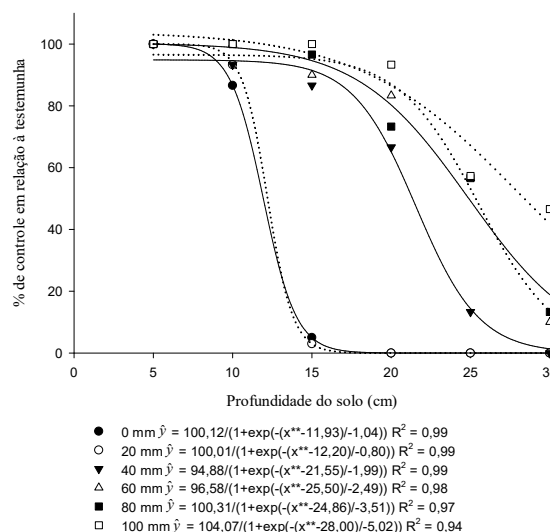


Figura 3: Porcentagem de controle das plantas de *C. sativus* cultivadas em colunas de Latossolo Vermelho (LV), com textura argilosa, após a aplicação de tebuthiuron (1,5 kg ha⁻¹). ** p<0,05 pelo teste de F.

Trabalhos realizados por Pessoa et al. (2003), com tebuthiuron (1,1 kg ha⁻¹) avaliando a tendência de seu movimento vertical, em Latossolo Vermelho (MO de 0,14%) sob cana-de-açúcar, relataram a presença do produto após um ano de aplicação na camada de 60 cm de profundidade (0,730 kg ha⁻¹). Faria et al. (2018) verificaram que o tebuthiuron (1,5 kg ha⁻¹), lixiviou até a camada de 50 cm independente do solo utilizado (Latossolo vermelho-amarelo húmico com 59% de argila e 4,3% de MO; Latossolo vermelho-amarelo com 69% de argila e 3,7% de MO; e Latossolo vermelho com 27% de argila e 0,8% de MO), deste modo podendo observar que independente da concentração de argila e matéria orgânica, o tebuthiuron pode-apresentar alto risco de contaminação do ambiente. Segundo o índice de Gustafson (1989), o GUS do tebuthiuron é de 5,4, uma vez que, o índice de GUS for $\geq 2,8$, o herbicida é classificado como lixiviável.

Nas amostras de solo com textura arenosa (NQ), evidenciou-se que em todas as camadas das colunas de solo (0-30 cm), nas simulações de chuva de 0 a 100 mm d'água, houve o arraste vertical das moléculas de tebuthiuron, apresentando uma porcentagem de controle na planta bioindicadora (*C. sativus*) entre 16,6 e 86,6%, respectivamente (Figura 4). Portanto o potencial de lixiviação das moléculas do herbicida foi evidenciado ao longo de toda a coluna (25-30 cm) (Figura 4).

Em estudos de lixiviação, Matallo et al. (2003) relataram que o tebuthiuron na dose de 0,8 kg ha⁻¹, lixiviou até a camada de 50 cm em Neossolo Quartzarênico (11% de argila e 0,2% de MO), como o teor de argila e matéria orgânica no solo foram baixos, isto pode ter influenciado na capacidade de lixiviação do herbicida. Pessoa et al. (2003) também verificaram que a quantidade de 0,18 kg ha⁻¹ do tebuthiuron, pôde ser encontrada na profundidade de 301 cm em Neossolo Quartzarênico (MO de 0,12%).

O tebuthiuron apresenta elevada mobilidade em solos com baixos teores de argila e de carbono orgânico, sendo portanto, fonte de contaminação dos aquíferos (QIAN et al., 2017). O volume de chuvas após a aplicação do herbicida também pode interferir na interação, pois, segundo Christoffoleti et al.

(2005), os herbicidas de alta solubilidade, como o tebuthiuron (2.500 ppm a 25 °C), quando utilizados em períodos de alta precipitação pluviométrica, podem ser lixiviados. Essas informações corroboram com os resultados observados nas Figuras 3 e 4, uma vez que, o tebuthiuron lixiviou em maiores profundidades nos solos em estudo (textura argilosa e arenosa) conforme as precipitações foram aumentando, sendo maior a lixiviação no solo de textura arenosa com menor teor de matéria orgânica (1,1%) e argila (12,7%).

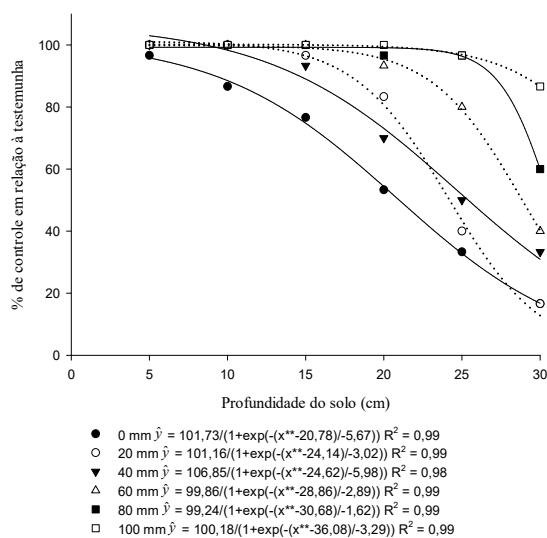


Figura 4: Porcentagem de controle das plantas de *C. sativus* cultivadas em colunas de Neossolo Quartzarênico (NQ), com textura arenosa após a aplicação de tebuthiuron (1,0 kg ha⁻¹). ** p<0,05 pelo teste de F.

Uma alternativa para reduzir a mobilidade do tebuthiuron é a adição de compostos aos solos com alta capacidade de adsorção, como biocarvão e palha de arroz. A incorporação de compostos reduziram a lixiviação de acetochlor e 2,4-D (LU et al., 2012); atrazina, bentazona (DECHENE et al., 2014; Jaramillo et al., 2014); e simazina (JONES et al., 2011). Devido a sua alta capacidade de adsorção, o uso de biocarvão pode ser uma estratégia de alto potencial para reduzir a lixiviação dos herbicidas sem modificação da molécula (DECHENE et al., 2014).

CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que o saflufenacil apresentou lixiviação até a camada de 25-30 cm de profundidade, com as aplicações das lâminas de 40, 60, 80 e 100 mm d'água tanto em Latossolo Vermelho quanto em Neossolo Quartzarênico. O tebuthiuron apresentou lixiviação até a camada de 25-30 cm de profundidade para as precipitações pluviométricas de 60, 80 e 100 mm d'água em solo (LV). Em solo (NQ) o tebuthiuron apresentou lixiviação em todas as camadas das colunas de solo (0-30 cm), com as simulações de chuva de 0 a 100 mm d' água. Evidenciou-se desta forma, um maior deslocamento do tebuthiuron em solo com textura arenosa (NQ) por apresentar menores teores de argila e matéria orgânica. Este potencial de lixiviação no perfil do solo pode contribuir para que o herbicida atinja e contamine o lençol freático.

REFERÊNCIAS

ACAYABA, R. D.; ALBUQUERQUE, A. F.; RIBESSI, R. L.; UMBUZEIRO, G. A.; MONTAGNER, C. C.. Occurrence of pesticides in waters from the largest sugar cane plantation

region in the world. *Environmental Science and Pollution Research*, Heidelberg, v.28, p.9824-9835, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11428-1>

AGAZZI, L. R.. **Sorção e lixiviação do saflufenacil em latossolos com diferentes atributos**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

AZANIA, C. A. M.; ROLIM, J. C.; CASAGRANDE, A. A.; LAVORENTI, N. A.; AZANIA, A. A. P. M.. Seletividade de herbicidas: 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000300010>

BARCELLOS JUNIOR, L. H.. **Comportamento do saflufenacil em latossolos com diferentes teores de matéria orgânica**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

BARNHOORN, I.; VAN DYK, C.. The first report of selected herbicides and fungicides in water and fish from a highly utilized and polluted freshwater urban impoundment. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v.27, p.33393-33398, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09930-7>

BREITENBACH, J.; ZHU, C.; SANDMANN, G.. Bleaching herbicide norflurazon inhibits phytoene desaturase by competition with the cofactors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.49, n.11, p.5270-5272, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0106751>

CARVALHO, F. T.; CASTRO, R. M.; OTSUBO, R. I.; PEREIRA, F. A. R.. Controle de dez espécies daninhas em cana-de-açúcar com o herbicida mesotrione em mistura com ametryn e metribuzin. **Planta Daninha**, Viçosa, v.28, n.3, p.585-590, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S010083582010000300015>

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2005.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2020.

DECHENE, A.; ROSENDAHL, I.; LAABS, V.; AMELUNG, W.. Sorption of polar herbicides and herbicide metabolites by biochar-amended soil. **Chemosphere**, Oxford, v.109, p.180-186, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.010>

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: 2013.

FARIA, A. T.; SOUZA, M. F.; PASSOS, A. B. R. J.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; ZANUNCIO, J. C.; ROCHA, R. R.. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental Earth Sciences, Germany**, v.77, p.214, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7285-x>

FIGUEIRA, F. A. R.. **Novo Manual de Olericultura**. 3 ed. Viçosa, 2012.

FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; FAUSTINO, L. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A.. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa, v.32,

n.2, p.392-385, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582014000200016>

JARAMILLO, M. G.; COX, L.; CORNEJO, J.; HERMOSIN, M.. Effect of soil organic amendments on the behavior of bentazone and tricyclazole. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.466, p.906-913, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.088>

GROSSMANN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANSEN, R. L.; EHRHARDT, T.. The herbicide saflufenacil (Kixor™) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**, United States, v.58, n.1, p.1-9, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-09-00004.1>

GUSTAFSON, D. I.. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, United States, v.8, n.4, p.339-357, 1989.

JONES, D.; JONES, G. E.; MURPHY, D.. Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil. **Soil Biol Biochem**, Oxford, v.43, p.804-813, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.12.015>

KUVA, M. A.; SALGADO, T. P.. **Manejo de plantas daninhas da cultura de cana-de-acucar**. 2014.

LU, J.; LI, J.; LI, Y.; CHEN, B.; BAO, Z.. Use of rice straw biochar simultaneously as the sustained release carrier of herbicides and soil amendment for their reduced leaching. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, United States, v.60, p.6463-6470, 2012.

MARCHESE, L.. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C.. Lixiviação dos herbicidas tebuthiuron e diuron em colunas de solo. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.13, n.1, p.83-90, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/pes.v13i0.3167>

MONQUERO, P. A.; SABBAG, R.; ORZARI, I.; HIJANO, N.; GALVANI FILHO, M.; DALLACOSTA, V.; KROLIKOWSKI, V.; HIRATA, A. C. S.. Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, Viçosa, v.30, n.2, p.415-423, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000200022>

PESSOA, M. C. Y.; CHAIM, A.; GOMES, M. A. F.; SILVA, A. S.; SOARES, J. M.. Simulação de aldicarb e tebuthiuron movimento em solos sob cultivos de banana e cana-de-açúcar no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.297-302, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200019>

PRATA, F.; LAVORENTI, A.. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Biociência**, Taubaté, v.6, n.2, p.17-20, 2000.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; VARGAS, L.. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S.. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004.

QIAN Y.; MATSUMOTO, H.; LIU, X.; LI, S.; LIANG, X.; LIU, Y.; ZHU, G.; WANG, M.. Dissipation, occurrence and risk assessment of a phenylurea herbicide tebuthiuron in sugarcane and aquatic ecosystems in South China.

Environmental Pollution, Londres, v.227, p.389-396, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.082>

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S.. **Guia de herbicidas**. 7 ed. Londrina, 2018.

SANTAROSSA, M. A. S.; COLEONE, A. C.; MELLO, N. P.; IGNÁCIO, N. F.; MACHADO, A. A.; SILVA, J. R. M.; VELINI, E. D.; MACHADO NETO, J. G.. Contamination of fee-fishing ponds with agrochemicals used in sugarcane crops. **Applied Sciences**, v.2, p.1498, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03274-0>

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, E. A.. Seletividade do

herbicida trifloxysulfuron sodium para fins de fitorremediação. **Ceres**, Viçosa, v.51, n.293, p.129-141, 2004.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SBCPD. Sociedade Brasileira Da Ciência Das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995.

YIREFU, F.; TANA, T.; TAFESSE, A.; ZEKARIAS, Y.. Competitive ability of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars to weed interference in sugarcane plantations of Ethiopia. **Crop Protection**, Guildford, v.32, p.138-43, 2012.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.