

Efeito da calagem na disponibilidade do sulfentrazone no perfil de um latossolo vermelho distroférico e nitossolo vermelho

Liming effects on sulfentrazone availability in the profile of a Dusky Red Latosol and a Red Nitosol

Caio Vitagliano Santi ROSSI¹; Tomás Carneiro de Souza DIAS²; Pedro Luís da Costa Aguiar ALVES³; José MARQUES JÚNIOR⁴

¹Pós-Graduando (Doutorado) em Agricultura. FCA/ UNESP – Botucatu. Depto. de Produção Vegetal – Agricultura/ Matologia. Fazenda Experimental Lageado, s/n. Botucatu - SP. CEP. 18603-970. E-mail: cavragro@msn.com Tel.: (14) 3811 7161 ou (14) 9141 0988.

²Pós-Graduando (Mestrado) em Produção Vegetal. Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, FCAV/ UNESP – Jaboticabal – SP.

³Professor Doutor. Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, FCAV/UNESP – Jaboticabal. Professor Doutor. Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, FCAV/ UNESP – Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. – CEP: 14884-900 – Jaboticabal - SP.

⁴ Professor Doutor. Departamento de Solos e Adubos, FCAV/ UNESP – Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. – CEP. 14884-900 – Jaboticabal - SP.

Resumo

O objetivo do trabalho foi estudar uma possível maneira de disponibilizar o sulfentrazone aplicado em duas classes de solo: Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Nitossolo Vermelho (NV), submetidos a quatro níveis de calagem. O sulfentrazone a 800 g/ha de i.a. foi aplicado com gasto de calda equivalente a 200 L/ha sobre o topo das colunas de PVC, contendo os solos previamente saturados a 65 % de sua capacidade de campo (p/p). Foram simuladas chuvas diárias de 10 mm, até atingir o índice pluviométrico de 60 mm, quando os tubos foram divididos longitudinalmente, e 5 sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) foram postas nas distâncias de 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5 e 30,0 cm a partir da parte superior dos tubos, que assim foram mantidos por 15 dias, sob condições controladas, para a avaliação da germinação e crescimento inicial. Foram avaliadas as possíveis alterações morfofisiológicas que pudessem ser caracterizadas como efeitos tóxicos do produto e mediu-se o comprimento da parte aérea até a última lígula visível das plântulas. As partes aéreas foram secas em estufa com circulação forçada de ar (70 °C por 96 h). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 16 tratamentos e 3 repetições. Pelos resultados obtidos, foi possível concluir que, no LVdf, os diferentes níveis de calagem afetaram significativamente a altura, sobrevivência e peso seco das plântulas nos 2,5 cm superficiais. No NV, a calagem afetou significativamente a altura e sobrevivência nos 2,5 cm superficiais, porém o peso foi afetado significativamente até os 7,5 cm de profundidade.

Palavras-chave adicionais: Calcário, herbicida, lixiviação, adsorção, pH, solo.

Abstract

The objective of this work was to study a way to make available sulfentrazone applied to two soil classes, Dusk Red Latosol (LVdf) and Red Nitosol (NV), which were previously submitted to four liming levels. The sulfentrazone at 800 g/ha of a.i. was applied on the top of PVC columns, containing the soils previously saturated to 65 % of field capacity (w/w). Daily rainfalls of 10 mm were simulated, until the index of 60 mm was reached, when the tubes were divided longitudinally and 5 sorghum (*Sorghum bicolor*) seeds were placed at the depths of 2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, and 30.0 cm starting from the superior part of the tubes, and were thus maintained during 15 days, under controlled conditions, for the evaluation of seed germination and initial seedling growth. Morphophysiological changes that could be ascribed to sulfentrazone toxic effects and the length of the aerial part were evaluated to the last visible ligule of the seedlings. The seedlings aerial parts were oven-dried at 70 °C for 96 h. The results showed that in the Dusk Red Latosol the different liming levels significantly affected height, survival and dry weight of the seedlings at the depth of 2.5 cm. When the Red Nitosol was used, the liming significantly affected seedling height and survival at the depth of 2.5 cm. When seedling weight was considered, this significant influence was detected up to 7.5 cm of depth.

Additional keywords: Liming, herbicide, leaching, texture, pH, soil.

Introdução

No solo, os herbicidas podem sofrer sorção, lixiviação, degradação por processos físicos, químicos e biológicos, além da absorção pelas plantas daninhas e cultivadas (RESENDE et al., 1995). A intensidade do processo de adsorção mostra-se primariamente dependente das características do solo e do herbicida utilizado (VELINI, 1992).

Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio são importantes constituintes da fração argila dos solos tropicais. As características de superfície e de carga fazem com que essas argilas participem de todas as reações de superfície que ocorrem no solo. Quando o solo é ácido ou muito ácido, as cargas dessas argilas possuem balanço líquido positivo, apresentando capacidade de troca aniônica (CTA), podendo adsorver íons ou moléculas de cargas negativas. Com o aumento do pH, as argilas apresentam carga negativa em sua superfície (CTC), podendo atrair íons ou moléculas com carga positiva (KAMPF & CURI, 1991; SPADOTTO & HORNSBY, 2003; RAIJ & PEECH, 1972).

A adsorção de íons à superfície dos óxidos pode ser puramente eletrostática (coulômbica), química indiferente ou química específica (troca de ligantes); as duas últimas ocorrem mesmo que a superfície não apresente cargas. A adsorção específica de ânions desloca o PCZ (ponto de carga zero, isto é, onde a quantidade de cargas negativas é igual à de cargas positivas), para valores de pH mais baixos, enquanto na de cátions o aumento resulta em valores mais altos. A adsorção específica está geralmente associada com ânions de ácidos fracamente dissociados (GOETZ, 1986; PARKS & BRUYN, 1962).

Esse comportamento dos óxidos de ferro suporta a hipótese de sua interferência na dinâmica de substâncias químicas adicionadas ao solo, que possuam cargas ou área superficial elevada. Assim, as moléculas de herbicidas com cargas positivas ou negativas, e mesmo as moléculas apolares, podem reagir com as superfícies dos óxidos por mecanismos de adsorção.

Particularmente no caso de solos tropicais, sabe-se ainda pouco a respeito da influência que a calagem exerce sobre a retenção e o movimento de herbicidas e, por consequência, na sua eficácia e no potencial de lixiviação.

O sulfentrazone, 2',4'-dichloro-5-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonilide, do grupo químico das triazolinonas, é um herbicida para aplicação preferencialmente em pré-emergência, controlando várias espécies de plantas daninhas, mono e dicotiledôneas, das culturas da cana-de-açúcar, soja, café e eucalipto, além do

seu uso em pátios industriais. Apresenta solubilidade em água de 490 mg/L e pressão de vapor de 1×10^{-9} mm Hg a 25°C. É um herbicida ácido e, portanto, ionizável, que se encontra em diferentes proporções das suas formas molecular (neutra) e aniônica, dependendo do pH do solo. No solo, a mobilidade é moderada, com baixa adsorção e Koc 43, com pKa 6,56 e Kow 1,48; nos solos brasileiros, a meia-vida é 180 dias, sendo a decomposição microbiana a via mais importante de degradação (FMC, 1997; RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

Neste contexto, o conhecimento da relação sulfentrazone - solo é muito importante, visto que existem processos, tais como sorção e lixiviação, que interferem na ação desse herbicida quando aplicado na pré-emergência das plantas daninhas. Em virtude disso, o experimento teve como objetivo avaliar a alteração do pH do solo, através da calagem, como uma possível maneira de disponibilizar a fração de sulfentrazone adsorvida e não disponível ao controle das plantas daninhas, em um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e em um Nitossolo Vermelho (NV).

Material e métodos

Este experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação na FCAV/UNESP – Jaboticabal - SP. Como substratos, foram utilizados solos coletados na camada arável (0-30 cm) de um Nitossolo Vermelho (NV) textura média, na Usina São Martinho, situado no município de Pradópolis-SP, e um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) textura argilosa, considerado um dos latossolos mais velhos do Brasil, situado no município de Luiz Antônio-SP. Os solos foram coletados em áreas cujos históricos não apresentavam qualquer aplicação de herbicida.

Após a coleta, os solos foram secos à sombra, por 48 h, depois peneirados, e amostras foram retiradas para a análise química (Tabela 1) e granulométrica.

A análise granulométrica da terra fina foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1979). O pH foi determinado potenciométricamente com relação 1:2,5 de solo:CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. O Ca, Mg e K trocáveis, e o P disponível foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ & QUAGGIO, 1983), e o teor de matéria orgânica foi determinado pelo método da EMBRAPA (1979).

A partir dos resultados das análises de solo, foram calculadas as quantidades de cálcio magnesiano sedimentar (PRNT = 125 %) suficientes para se chegar a níveis de 1; 1,5 e 2 vezes a necessidade de calagem.

Após mistura e homogeneização do calcário ao solo em sacos plásticos, estes foram mantidos durante 60 dias com umidade suficiente, próxima à da capacidade de campo, para

permitir a reação de neutralização do solo. Os valores dos pHs resultantes após o período de incubação encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 - Resultados da análise química* dos solos utilizados.

Table 1 – Chemical analysis results of the soils.

Solo (Soils)	pH CaCl ₂	M.O. (Organic matter) g/dm ³	P res. mg/dm ³	mmolc/dm ³						V (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
				K	Ca	Mg	H+Al	SB	T		
LVdf	4,8	47	9	1,5	18	8	52	27,5	79,5	35	30,26
NV	5,8	25	49	12,5	54	30	28	96,5	124,5	78	21,90

Realizada pelo Depto de Solos e Adubos - FCAV/UNESP – Jaboticabal.

Carried out by the Soils and Fertilizers Department. FCAV/UNESP. Jaboticabal, SP, Brazil

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 2 - Resultados dos valores de pH resultante da incubação com calcário aos solos.

Table 2 – pH values resulting from soil liming.

Solos	LVdf				NV			
	0 x	1 x	1,5 x	2 x	0 x	1 x	1,5 x	2 x
Níveis de Calagem (Liming levels)								
pH (CaCl ₂)	4,8	5,6	5,9	6,0	5,8	6,3	6,4	6,5

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

A determinação da densidade e da capacidade de saturação dos solos foi feita pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1979), para o preenchimento uniforme dos tubos de PVC (recipientes) com os solos, simulando a densidade natural.

Como recipientes foram, utilizados 48 tubos de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento. Esses tubos foram seccionados longitudinalmente (de cima para baixo) na metade e foram fixados com fita adesiva, reconstituindo o original. A base de cada tubo foi fechada por meio de uma tela tipo mosquiteiro.

Após a montagem dos conjuntos com os tubos de PVC preenchidos com os solos, eles foram umedecidos até 65 % de sua capacidade de saturação (EMBRAPA, 1979) e realizou-se a aplicação do sulfentrazone (800 g/ha de i.a.) na superfície exposta dos solos. As condições climáticas durante a aplicação e fora da casa de vegetação foram: temperatura do ar 33,0 °C e do solo de 35,4 °C (LVdf) e 35 °C (NV); umidade relativa do ar de 57 %; com ausência de vento e 60 % de nuvens no céu. As aplicações do produto foram realizadas com pulverizador costal mantido a pressão constante (ar comprimido), munido de barra com quatro bicos XR 110.02 e regulado para uma vazão de 200 L/ha.

Foram simuladas chuvas diárias de 10 mm e, ao momento que se atingiu o índice pluviométrico desejado de 60 mm, foram desmontados os 24 tubos de cada solo (LVdf e NV), separando-se as duas metades unidas pela fita adesiva. Em cada uma das partes, foram postas

para germinar cinco sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) a 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5 e 30,0 cm a partir da superfície. O ensaio de germinação e crescimento inicial foi conduzido por 15 dias em casa de vegetação.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 16 tratamentos principais (quatro níveis de calagem com ou sem herbicida para o LVdf e NV) e as seis profundidades de semeadura que formaram as subparcelas, em três repetições.

Aos 15 dias após a semeadura, foi realizada uma avaliação visual de possíveis alterações morfofisiológicas nas plântulas de sorgo que pudessem ser caracterizadas como efeitos tóxicos do sulfentrazone. Essa avaliação foi baseada em critérios qualitativos, segundo a escala de notas da EWRC (1964), e foi feita para cada linha de semeadura, que representou uma profundidade. Na sequência, realizou-se medição do comprimento da parte aérea das plântulas, as quais foram posteriormente cortadas e postas para secar em estufa com circulação forçada de ar (70 °C por 96 horas) para a obtenção da biomassa seca. A partir do número de plântulas medidas, pôde-se atribuir a porcentagem de sobrevivência para cada linha de semeadura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Os dados de biomassa seca e altura do sorgo não sofreram transformação Os

dados de porcentagem de sobrevivência obtidos foram transformados para $\text{arc sen } \sqrt{(x+1)/100}$.

Resultados e discussão

Com base na escala da EWRC (1964), foram atribuídas notas de toxicidade nas plântulas para cada linha de semeadura. Nas testemunhas, sem sulfentrazone, referentes às classes de solo, a intoxicação nas plântulas de sorgo foi nula, nota 1.

Latossolo Vermelho distroférico (LVdf)

Nos solos com calagem, não foram observadas diferenças quando comparado com o solo sem calagem nos 2,5 cm superficiais, pois o sulfentrazone provocou injúrias severas nas plântulas de sorgo provenientes das sementes

que foram postas para germinar nessa profundidade, que apresentaram sintomas muito fortes de intoxicação (nota 8, Tabela 3), com amarelamento, necrose e encarquilhamento das folhas.

Na Tabela 3, pode-se observar, através das plântulas provenientes de sorgo semeado na profundidade de 7,5 cm do solo (LVdf), que a calagem promoveu a disponibilidade do sulfentrazone, pois enquanto no solo sem calagem as plântulas apresentaram sintomas regulares (nota 4), os solos com calagem, independentemente do nível, apresentaram sintomas médios (nota 5). Nos 12,5 e 17,5 cm de profundidade, os sintomas de intoxicação das plântulas foram leve (nota 3) e muito leve (nota 2), respectivamente. Nos 22,5 e 30,0 cm de profundidade, a intoxicação foi nula (nota 1).

Tabela 3 - Notas de toxicidade nas plântulas de sorgo semeadas em Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Nitossolo Vermelho (NV) submetidas a índices pluviométricos crescentes (EWRC, 1964).

Table 3 - Toxicity levels in sorghum seedlings growing in LVdf and NV soils submitted to increasing rain indices (EWRC, 1964).

Profundidade (cm) (Depth)	CLASSE DE SOLO / NÍVEIS DE CALAGEM (Soil classes/Liming levels)							
	LVdf				NV			
	0 x	1 x	1,5 x	2 x	0 x	1 x	1,5 x	2 x
0-2,5	8	8	8	8	6	8	8	8
2,5-7,5	4	5	5	5	2	3	4	4
7,5-12,5	3	3	3	3	1	1	1	1
12,5-17,5	2	2	2	2	1	1	1	1
17,5-22,5	1	1	1	1	1	1	1	1
22,5-30,0	1	1	1	1	1	1	1	1

Obs.: Nas testemunhas referentes às classes de solo, a intoxicação nas plântulas de sorgo foi nula (nota 1) para todas. Média de três repetições.

Obs.: The toxicity level in sorghum seedlings for the control treatments referring to soil classes was null. Means of three replications.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Com base nos resultados da avaliação visual de toxicidade do sulfentrazone às plântulas de sorgo, observou-se tendência de acúmulo nos 2,5 cm superficiais do solo, tendo um pequeno arraste até os 7,5 cm mesmo com os níveis de calagem crescentes. No entanto, os solos com calagem não incrementaram a disponibilidade do sulfentrazone nas diferentes profundidades.

Na Tabela 4, pode-se observar que o efeito do sulfentrazone no solo com duas vezes o nível de calagem recomendado diferiu significativamente quanto à altura da plântula de sorgo, quando comparado à testemunha sem calagem, porém nos demais tratamentos não houve diferença significativa (1 % de probabilidade). Quanto à sobrevivência e à biomassa do sorgo, também não houve diferença a 1 % de probabilidade, pelo teste F, entre os tratamentos. Por outro lado, os efeitos isolados da profundidade observados na altura, sobrevivência e biomassa foram significativos.

As plântulas oriundas da semeadura até 7,5 cm de profundidade mostraram-se menores em altura. Para a biomassa, essa redução mostrou-se também a 12,5 cm, com as plântulas apresentando valores menores do que aquelas semeadas aos 30,0 cm. No entanto, para a sobrevivência, essa redução limitou-se aos 2,5 cm superficiais (Tabela 4).

Nessa classe de solo (LVdf) verificou-se efeito significativo da interação entre os fatores principais sobre a característica de altura das plântulas de sorgo.

Observa-se que as plântulas de sorgo semeadas a 2,5 e 7,5 cm de profundidade, no solo tratado com sulfentrazone sem calagem e com o nível recomendado de calcário, apresentaram-se menores que as das demais profundidades. No caso das plântulas aos 7,5 cm, houve menor intensidade na redução de altura.

Nos níveis de 1,5 e 2 vezes de calcário, o efeito do herbicida teve maior intensidade nos 2,5 cm superficiais. Quando se analisou o efeito

da profundidade de semeadura, verificou-se apenas efeito aos 2,5 cm, onde as plântulas do solo tratado com sulfentrazone e com os diferentes níveis de calagem foram menores que as das

testemunhas. Nas demais profundidades, não foram constatados efeitos significativos da calagem no solo tratado com sulfentrazone ou não (Tabela 5).

Tabela 4 - Efeito do sulfentrazone no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), sob diferentes níveis de calagem, sobre a altura (cm), sobrevivência (%) e biomassa (g) do sorgo nas diferentes profundidades de semeadura (média de três repetições).

Table 4 – Sulfentrazone effects in a LVdf, under different liming levels, on height (cm), survival (%), and dry matter (g) of sorghum seedlings at different depths

HERBICIDA X CALCÁRIO (HC) (Herbicide X lime)				
TRATAMENTO (Treatment)	Nível de Calagem (Liming level)	ALTURA (cm) (Height)	Sobrevivência ² (%) (Survival)	BIOMASSA (g) (Biomass)
Aplicação de SULFENTRAZONE	0 x	5,02 AB ¹	73,51 A	0,0344 A
	1 x	4,73 AB	78,32 A	0,0411 A
	1,5 x	4,63 AB	74,69 A	0,0458 A
	2 x	4,35 B	73,59 A	0,0398 A
TESTEMUNHA sem aplicação (Control treatment)	0 x	5,20 A	75,47 A	0,0419 A
	1 x	5,01 AB	79,91 A	0,0428 A
	1,5 x	4,93 AB	76,22 A	0,0360 A
	2 x	4,92 AB	69,90 A	0,0450 A
Profundidade (cm) (P) (Depth)				
	2,5	2,87 C	67,80 B	0,0192 D
	7,5	4,93 B	77,66 A	0,0399 C
	12,5	5,22 A	76,71 AB	0,0438 BC
	17,5	5,34 A	75,21 AB	0,0452 ABC
	22,5	5,41 A	78,49 A	0,0467 AB
	30,0	5,32 A	75,33 AB	0,0503 A
F _{HC}		3,41 *	1,47 NS	1,59 NS
F _P		361,84 **	2,88 *	51,17 **
HC x P		25,49 **	1,56 NS	1,52 NS
CV _{HP} (%)		12,75	14,37	33,01
CV _P (%)		5,23	14,75	18,66

1: Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. ** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente; NS: Não significativo pelo teste F. Precip. = precipitação, sobrev. = sobrevivência, prof. = profundidade. 2: Dados transformados $\sqrt{(x+1)/100}$.

1. Means followed by the same letter are not significantly different at the level of 5% of probability according to Tukey's test. The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 5 - Altura das plântulas de sorgo (cm), no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), obtida no desdobramento da interação entre as diferentes profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob os diferentes níveis de calagem (média de 3 repetições).

Table 5 – Effects of sulfentrazone on sorghum seedling height as resulting from liming at different depths of a LVdf soil.

PROF. (cm)	SULFENTRAZONE				TESTEMUNHA (Control treatment)			
	0 x	1 x	1,5 x	2 x	0 x	1 x	1,5 x	2 x
2,5	1,44 Cb ¹	1,21 Cb	1,25 Bb	1,52 Bb	4,39 Ca	4,80 Aa	4,17 Ba	4,18 Ba
7,5	5,27 Ba	4,91 Ba	4,99 Aa	4,49 Aa	4,86 BCa	5,22 Aa	4,88 Aa	4,79 Aa
12,5	5,65 ABa	5,34 ABa	5,38 Aa	4,94 Aa	5,31 ABa	5,11 Aa	5,07 Aa	4,98 Aa
17,5	5,91 Aa	5,81 Aa	5,49 Aab	5,04 Aab	5,26 ABab	4,79 Ab	5,29 Aab	5,17 Aab
22,5	5,85 Aa	5,56 Aa	5,52 Aa	5,04 Aa	5,60 Aa	5,24 Aa	5,18 Aa	5,31 Aa
30,0	6,02 Aa	5,53 Aab	5,14 Aab	5,07 Ab	5,80 Aab	4,92 Ab	5,02 Ab	5,06 Ab

1: Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas são no sentido da coluna e comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas são no sentido da linha e comparam os efeitos dos níveis de calagem sem aplicação e com aplicação do sulfentrazone.

Means in the same line or in the same column followed, respectively, by the same small case letter or large case letter, are not statistically different at the level of 5% of probability, according to Tukey's test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Nitossolo Vermelho (NV)

Nos solos com calagem, foram observadas diferenças quando comparado com o solo sem calagem nos 2,5 cm superficiais, pois o sulfentrazone provocou injúrias severas nas plântulas de sorgo provenientes das sementes postas para germinar nessa profundidade, apresentando sintomas muito fortes de intoxicação (nota 8, Tabela 3), com amarelecimento, necrose e encarquilhamento das folhas. No tratamento sem calagem e herbicida, foi observado um sintoma quase forte (nota 6).

As plântulas de sorgo provenientes dos 7,5 cm apresentaram pequena toxicidade, sendo que, para o solo NV sem calagem, os sintomas foram muito leves (nota 2) e para o que recebeu o nível recomendado de calagem, os sintomas foram leves (nota 3). Já no caso dos solos que receberam os maiores níveis de calagem (1,5 e 2 x), os sintomas foram regulares (nota 4). Aos 12,5 e 30,0 cm de profundidade, a intoxicação das plântulas foi nula (nota 1).

Com base nesses resultados, observou-se tendência de acúmulo nos 2,5 cm superficiais dos solos com calagem, tendo um pequeno arraste até os 7,5 cm mesmo com os níveis de calagem crescentes, porém foi observado pouco sintoma nessa profundidade. No entanto, os solos com calagem não levaram a maior disponibilidade do sulfentrazone nas diferentes profundidades, somente nos 2,5 cm superficiais.

Pode-se observar na Tabela 6 que o aumento dos níveis de calagem inibiu o crescimento da altura das plântulas, independentemente da aplicação ou não do sulfentrazone. No entanto, não houve diferença significativa entre o solo com ou sem aplicação do herbicida, para a mesma quantidade de calcário. Com isso, pode-se atribuir a diferença de altura do sorgo em função da calagem feita no solo.

Quanto às demais características (sobrevivência e biomassa), não houve diferença significativa nos tratamentos com herbicida. Por outro lado, os efeitos isolados da profundidade observados na altura, sobrevivência e biomassa foram significativos.

As plântulas oriundas da semeadura até 12,5 cm de profundidade mostraram-se menores em relação à altura: no entanto, para sobrevivência, essa redução foi verificada somente nos 2,5 cm superficiais. Para a biomassa, essa redução manifestou-se até 7,5 cm (Tabela 6).

Nessa classe de solo NV, verificou-se efeito significativo da interação entre os fatores principais sobre a característica de altura das plântulas de sorgo.

Nos solos que receberam aplicação do sulfentrazone, independentemente dos níveis de calagem, ocorreu maior concentração do herbicida nos 2,5 cm superficiais, já que, a partir desta

profundidade, as plântulas de sorgo não demonstraram diferença significativa em seus tamanhos. Nos tratamentos sem aplicação do herbicida, as plântulas de sorgo também apresentaram menores alturas nessa profundidade, porém de maneira menos acentuada. Este fato pode ser atribuído à lixiviação de nutrientes no perfil do solo. Comparando os efeitos dos diferentes níveis de calagem dentro das profundidades de semeadura, verifica-se novamente uma provável inibição causada pela calagem no crescimento da planta. E ainda, verifica-se que o herbicida atuou apenas aos 2,5 cm de profundidade, sendo que as plântulas no solo com herbicida e nos diferentes níveis de calagem foram menores que nas testemunhas e, ainda, no solo sem adição de calcário (Tabela 7).

ROSSI et al. (2003) relatam que o comportamento do sulfentrazone no perfil de um Nitossolo Vermelho (NV) e em um Neossolo Quartzarênico foi diferenciado, sendo que, no segundo, o herbicida apresentou maior mobilidade que no primeiro, observando ainda que, com o aumento do teor de umidade do solo (90 mm), ocorreu maior disponibilidade do produto, mesmo em solos com baixa mobilidade.

Algumas propriedades dos solos, como pH, teor de argila, ferro total, matéria orgânica e cristalinidade dos óxidos de ferro, podem reduzir a eficácia dos herbicidas, influenciando nas perdas por lixiviação (UPCHURCH, 1966). PAULA NETO (1999), estudando a influência de atributos de diferentes classes de solos (LVA, LV, LVdf e NV), observou redução na eficácia do sulfentrazone no controle da tiririca (*Cyperus rotundus*) com o aumento do teor de óxidos de ferro, não sendo afetada pelos teores de argila e de matéria orgânica, sendo que o LVdf e NV foram os solos mais limitantes ao uso desse herbicida.

OPPONG & SAGAR (1992), estudando o movimento do triasulfuron em um perfil de solo através de bioensaio, observaram relação inversa entre o conteúdo de matéria orgânica no solo e a quantidade e frequência de chuva, os quais influenciaram diretamente a lixiviação do produto. POLL & DU-TOIT (1995), estudando na lixiviação dos herbicidas imazamethabenz-metil e chlorsulfuron + metsulfuron-metil em casa de vegetação em oito diferentes tipos de solos, observaram que os herbicidas lixiviaram somente 6,0 cm em um solo de baixo pH e mais de 24,0 cm em um solo com alto valor de pH.

No Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), com pH de 4,8; 5,6; 5,9 e 6,0 para os solos com os níveis de calagem, respectivamente, iguais a 0,0; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a recomendada e com teor de óxido de ferro de 30,26 %, houve adsorção significativa do herbicida nos 2,5 cm superficiais, independentemente do aumento da calagem. A ação na camada

superficial foi intensa, mas com pequena percolação para os 7,5 cm de profundidade, onde os sintomas visuais não foram muito fortes, não afetando o desenvolvimento das plântulas de sorgo.

Tabela 6 - Efeito do sulfentrazone no Nitossolo Vermelho (NV), sob diferentes níveis de calagem, sobre a altura (cm), sobrevivência (%) e biomassa (g) do sorgo nas diferentes profundidades de semeadura (média de três repetições).

Table 6 – *Sorghum seedlings height, survival, and biomass as affected by liming and sulfentrazone in a NV soil.*

Herbicida X Calcário (HC) (Herbicide X lime)				
Tratamento (Treatment)	Nível de Calagem (Liming level)	Altura (cm) (Height)	Sobrevivência ² (%) (Survival)	Biomassa (g) (Biomass)
Aplicação de SULFENTRAZONE	0 x	6,78 A ¹	66,42 AB	0,0363 A
	1 x	5,72 BC	68,12 AB	0,0359 A
	1,5 x	5,82 BC	73,38 A	0,0467 A
	2 x	5,42 CD	68,35 AB	0,0556 A
TESTEMUNHA sem aplicação (Control)	0 x	6,51 AB	67,75 AB	0,0548 A
	1 x	5,40 CD	61,66 BC	0,0471 A
	1,5 x	5,01 CD	62,05 BC	0,0466 A
	2 x	4,70 D	54,65 C	0,0478 A
Profundidade (cm) (P) (Depth)				
	2,5	2,98 D	47,56 B	0,0273 C
	7,5	5,63 C	69,71 A	0,0420 B
	12,5	6,10 B	66,27 A	0,0516 A
	17,5	6,40 AB	69,76 A	0,0512 A
	22,5	5,32 AB	66,86 A	0,0516 A
	30,0	6,58 A	71,62 A	0,0543 A
F _{HC}		14,76 **	7,28 **	3,12 *
F _P		179,96 **	16,19 **	25,75 **
HC x P		5,94 **	1,19 NS	1,56 NS
CV _{HC} (%)		13,71	13,71	37,56
CV _P (%)		8,75	16,62	21,35

1: Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. ** e *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente; NS: Não significativo pelo teste F. Precip. = precipitação, sobrev. = sobrevivência, prof. = profundidade. 2: Dados transformados $\sqrt{(x+1)/100}$.

Means in the same column followed by the same capital case letter, are not statistically different at the level of 5% of probability, according to Tukey's test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 7 - Altura das plântulas de sorgo (cm), no Nitossolo Vermelho (NV), obtida no desdobramento da interação entre as diferentes profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob os diferentes níveis de calagem (média de 3 repetições).

Table 7 – *Sorghum plants height (cm), on NV, obtained through unfolding interactions between the depths and the treatments with or without sulfentrazone application under different liming levels (three replication average).*

PROF. (cm)	SULFENTRAZONE				TESTEMUNHA (Control treatment)			
	0 x	1 x	1,5 x	2 x	0 x	1 x	1,5 x	2 x
2,5	3,71 Bb ¹	1,28 Bd	1,46 Cd	1,83 Bcd	5,46 Ca	3,49 Bb	3,01 Bbc	3,60 Bb
7,5	7,09 Aa	5,97 Aab	5,76 Bab	5,70 Aab	6,08 BCab	5,39 Abc	4,80 Abc	4,24 ABc
12,5	7,62 Aa	6,46 Aabc	6,68 ABab	5,73 Abcd	6,54 ABCabc	5,68 Abcd	5,27 Acd	4,83 Ad
17,5	7,30 Aa	6,80 Aab	7,07 Aa	6,19 Aabc	6,71 ABab	6,30 Aabc	5,61 Abc	5,25 Ac
22,5	7,32 Aa	6,87 Aab	6,60 ABab	6,21 Aabc	6,94 ABab	5,74 Abc	5,70 Abc	5,17 Ac
30,0	7,67 Aa	6,91 Aab	7,31 Aa	6,87 Aab	7,32 Aa	5,81 Abc	5,66 Abc	5,14 Ac

1: Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas são no sentido da coluna e comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas são no sentido da linha e comparam os efeitos dos níveis de calagem sem aplicação e com aplicação do sulfentrazone.

Means in the same line or in the same column followed, respectively, by the same small case letter or large case letter, are not statistically different at the level of 5% of probability, according to Tukey's test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

O Nitossolo Vermelho (NV), com pH de 5,8; 6,3; 6,4 e 6,5 para os solos com os níveis de calagem, respectivamente, iguais a 0,0; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a recomendada e com teor de óxido de ferro de 21,9 %, apresentou ação do herbicida concentrada na camada de 2,5 cm.

Para ambos os solos, o aumento dos níveis de calagem não afetou a percolação do produto no perfil; contudo, no NV, observou-se efeito sobre a altura das plântulas, que foi maior onde foi adicionado calcário, independentemente da dosagem. Os herbicidas ácidos, como o sulfentrazone, têm a tendência de ionizar-se em solução aquosa e gerar ânions; quando o pH é inferior a sua constante de dissociação (pKa), predominará a forma molecular, enquanto, em caso contrário, predominará na forma dissociada. No caso do NV, a adição de calcário elevou o pH próximo ao pKa, independentemente da quantidade utilizada, porém não ao nível que poderia ter acarretado na geração da forma aniônica do herbicida e, conseqüentemente, não proporcionando sua disponibilização às plântulas.

Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio são importantes constituintes da fração argila dos solos tropicais. As características de superfície e de carga fazem com que essas argilas participem de todas as reações de superfície que ocorrem no solo (KÄMPF & CURI, 1991). Este fato pode-se atribuir aos solos estudados, pois a ação do sulfentrazone ficou concentrada na camada superficial, provavelmente, em decorrência dos elevados teores de óxido de ferro.

ALVES et al. (2004) observaram que o sulfentrazone teve comportamento diferenciado entre as classes de solos, e a eficácia diminuiu com o aumento do teor de óxido de ferro nos solos, na seguinte ordem: LVAd, LVd, NVe, LVef e LVdf, sendo que variações nos teores de argila e matéria orgânica dos solos não interferiram na eficácia do herbicida.

SPADOTTO et al. (2005) afirmaram que o efeito do pH na sorção do sulfentrazone mostrou-se muito interessante. Por causa de seu valor elevado de pKa (6,6), o Kd do sulfentrazone alcança valores "máximos" em valores elevados de pH do solo, quando comparado com o 2,4-D e o flumetsulam. Portanto, o valor de Kd do sulfentrazone não aumenta com a diminuição do pH em profundidades abaixo de 60 cm nos três solos estudados, que apresentavam valores de pH abaixo de 4,8 naquelas profundidades.

Portanto, a mobilidade do sulfentrazone teve comportamento semelhante entre as classes de solos estudados. E ainda, a atividade do sulfentrazone foi pouco influenciada pelo aumento do nível de calagem nos solos, a não ser no caso dos 2,5 cm superficiais do NV.

Referências

ALVES, P.L.C.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; FERRAUDO, A.S. Soil attributes and the efficiency of sulfentrazone on control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.3, p.319-325, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL - EWRC. Citee of methods in weed research. **Weed Research**, Oxford, v.4, p.88, 1964.

FMC do Brasil. **Manual de produtos**. Campinas, 1997. p. 77.

GOETZ, A. J. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Science**, Champaign, v.34, p. 788-793, 1986.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais e óxidos em solos. In: LEPSCH, I. F. ET AL. (Eds) **Gênese, Morfologia, Classificação e Levantamento de Solos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

OPPONG, F. K.; SAGAR, G.R. The activity and mobility of triasulfuron in soil as influenced by organic matter, duration, amount and frequency of rain. **Weed Research**, Oxford, v.32, n.3, p.157-165, 1992.

PARKS, G.A.; BRUYN, P.L. The zero point of charge of oxides. **Journal of Physical Science**, v.66, p.967-973, 1962.

PAULA NETO, J. F. **Influência de atributos de solos na eficiência do sulfentrazone no controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.)**. 1999. 80f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

POLL, C. F.; DU-TOIT, D. Leaching depth of imazamethabenz methyl and chlorsulfuron + metsulfuron methyl in different soils. **Applied Plant Science**, Sunnyside, v.9, n.2, p.43-47, 1995.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 587-593, 1972.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RECOMENDACIONES sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, Bogotá, v.1, n.1, p.35-38, 1974.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. p.304.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: Edição dos autores, 2005. p. 484-490.

ROSSI, C.V.S.; ALVES, P.L.C.A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, Campinas, v.21, n.1, p.207-215, 2003.

SPADOTTO, C.A.; HORNSBY, A.G. Soil sorption of acidic pesticides: modeling pH effects. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p. 949-956, 2003.

SPADOTTO, C.A.; HORNSBY, A.G.; GOMES, M.A.F. Sorption and leaching potential of acidic herbicides in brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health**, New York, v.B40, n.1, p.29-37, 2005.

UPCHURCH, R. P. Behavior of herbicides in soil. **Residue Reviews**, New York, v.16, p.45-85, 1966.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS., 1992, **Anais...** Botucatu: FCA-UNESP, 1992. p.44-64.

Recebido em 28-09-2005

Aceito para publicação em 11-12-2006