

EFEITO DA IRRIGAÇÃO INICIAL NA PROFUNDIDADE DE LIXIVIAÇÃO DO HERBICIDA S-METOLACHLOR EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS¹

Effects of the Initial Irrigation on the S-Metolachlor Herbicide Leaching Depth in Different Types of Soils

PROCÓPIO, S.O.², SILVA, A.A.³, SANTOS, J.B.⁴, FERREIRA, L.R.³, MIRANDA, G.V.³ e SIQUEIRA, J.G.⁵

RESUMO – Muitas vezes a profundidade de lixiviação dos herbicidas aplicados ao solo afeta a seletividade destes às culturas. O objetivo deste trabalho foi estudar a lixiviação do herbicida s-metolachlor em cinco tipos de solos (Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Areia Quartzosa-turfosa e Areia Quartzosa), bem como avaliar o efeito do manejo das primeiras irrigações antes e após a aplicação do herbicida sobre esse processo, por meio de bioensaios, relacionando os resultados encontrados com possíveis efeitos fitotóxicos ocorridos em algumas culturas comerciais. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, utilizando-se colunas de lixiviação, sendo compostos de oito tratamentos, formados da combinação de dois tipos de irrigação inicial (lâmina de irrigação de 25 mm antes ou depois da aplicação do s-metolachlor) com quatro faixas de profundidade de coleta dos solos (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm), com cinco tipos de solos. O herbicida s-metolachlor foi pulverizado na dose de 1,92 kg ha⁻¹ em todos os tratamentos, e a planta indicadora utilizada foi o sorgo-granífero (*Sorghum bicolor*), híbrido BR 304. Observou-se tendência de maior lixiviação e maior disponibilidade do s-metolachlor em todos os solos avaliados quando a irrigação foi realizada após a aplicação do herbicida. Na Areia Quartzosa ocorreu a maior lixiviação e disponibilidade do herbicida. Em todos os solos, o s-metolachlor concentrou-se na camada mais superficial do solo de 0-5 cm. Conclui-se que solos com baixos teor de matéria orgânica e CTC efetiva aumentam a predisposição da ocorrência de efeitos fitotóxicos do s-metolachlor às culturas e a probabilidade de contaminação de águas subterrâneas.

Palavras-chave: herbicida, umidade do solo, planta daninha, bioensaio.

ABSTRACT – *The leaching depth of the herbicides applied on the soil often affects their selectivity to crops. This work aimed to study soil mobility of s-metolachlor in five types of soils (Red-yellow Podzolic, Purple Latosol, Red-yellow Latosol, Quartz Sand-organic and Quartz Sand), as well as to analyze the effect of the initial irrigation management on that process, through bioassays, relating the results found with possible phytotoxicity effects to irrigated crops. The experiments were carried out under, greenhouse conditions using mobility columns, consisting of eight treatments combining two types of initial irrigation (25 mm water lamina irrigated before and after s-metolachlor application), with four soil layers (0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm), and five types of soils. S-metolachlor rate sprayed was 1.92 kg a.i. ha⁻¹ for all the treatments and the test plant seeded in the plots was the *Sorghum bicolor*, hybrid BR 304. A tendency for greater s-metolachlor mobility and availability was observed in all soils, when irrigation was accomplished after herbicide application. The largest mobility and availability of s-metolachlor was observed in the Quartz Sand soil. In all types of soils, s-metolachlor concentrated in the superficial layer (0-5 cm). It was concluded that soils with low levels of organic matter and smaller effective CEC increase the predisposition for occurrence of s-metolachlor phytotoxicity effects to the crops, as well as the probability of underground water contamination.*

Key words: herbicide, soil moisture, weed, bioassay.

¹ Recebido para publicação em 30/3/2001 e na forma revisada em 17/12/2001.

² Doutorando do Dep. de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa - UFV, 36571-000 Viçosa-MG; ³ Prof. do Dep. de Fitotecnia da UFV; ⁴ Acadêmico do Dep. de Fitotecnia da UFV; ⁵ Mestrando do Dep. de Fitotecnia da UFV.



INTRODUÇÃO

É comum, no campo, herbicidas seletivos causarem severa toxicidade à cultura para a qual é registrado. Esse fato tem ocorrido com o metolachlor em algumas regiões do País, quando utilizado na cultura do feijão. Apesar da eficiência comprovada desse herbicida no controle de plantas daninhas gramíneas e de algumas dicotiledôneas, esses problemas de injúrias vêm preocupando produtores e técnicos; em consequência disso, muitas vezes deixa-se de aplicar este herbicida.

Por se tratar de um herbicida aplicado ao solo, os possíveis fatores que determinam o comportamento do metolachlor em relação à cultura do feijão são variados, visto que fatores edáficos podem estar unidos a fatores meteorológicos. Estes últimos são praticamente os únicos a influenciarem os herbicidas aplicados em pós-emergência.

A movimentação descendente dos herbicidas no perfil do solo (lixiviação) é relatada na literatura como um dos principais fatores que determinam a tolerância de algumas culturas a esses produtos. Todavia, esse processo depende de inúmeras características do próprio solo (teor e composição da matéria orgânica, teor e tipo de argila, cátions predominantes nos colóides do solo, pH, densidade, porosidade, temperatura do solo, umidade do solo e cobertura do solo), de fatores meteorológicos (chuva, umidade relativa, temperatura e vento) e de características físico-químicas do próprio herbicida (solubilidade em água, tamanho da molécula, coeficiente de partição carbono orgânico-água, constante de dissociação, coeficiente de distribuição entre octanol e água e pressão de vapor) (Weber & Peter, 1982; van Rensburg & van Dyk, 1986; Kim & Feagley, 1998).

O metolachlor [2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metoxi-1-metiletil) acetamida], pertencente ao grupo químico das cloroacetamidas, está registrado para uso no Brasil nas culturas de feijão, milho, soja e cana-de-açúcar. Esse herbicida apresenta as seguintes características físico-químicas: solubilidade em água de 448 ppm a 20 °C; densidade de 1,117 g cm⁻³ a 20 °C; pressão de vapor de 1,3 x 10⁻⁵ mm Hg a 20 °C; pKa zero (herbicida não-iônico); Kow de 794 a 25 °C; e Koc médio de 200 L kg⁻¹ (Rodrigues & Almeida, 1998).

O s-metolachlor caracteriza-se por ser uma nova formulação do metolachlor, em que o fabricante concentrou apenas o isômero mais ativo da molécula, devendo, assim, possuir maior atividade biológica em comparação à formulação antiga.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a lixiviação do s-metolachlor em cinco solos de características físicas e químicas diferentes, bem como avaliar o efeito do manejo inicial da irrigação nessa movimentação descendente, por meio de bioensaios, relacionando os comportamentos encontrados com possíveis efeitos tóxicos a culturas comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se cinco tipos de solo, previamente caracterizados (Tabela 1). As amostras de solo foram secas ao ar, até atingirem peso constante. Depois disso, foram passadas em peneiras de malha de 4 mm. Os recipientes utilizados na elaboração das colunas foram tubos de PVC rígido com 50 cm de comprimento e diâmetro nominal de 100 mm ou 91 mm de diâmetro real, correspondendo a 65 cm² de área. Esses tubos foram cortados longitudinalmente e a abertura foi fechada com fita adesiva, sendo os tubos amarrados com fitas de borracha externamente, para enchimento com os solos. Os tubos foram envoltos internamente por uma camada de parafina, a fim de evitar escorrimento lateral da solução do solo. Na parte basal, para reter o solo e permitir a drenagem, foram colocados gaze hidrófila e tela de sombrite 50%, que foram fixados por uma placa de Petri, para dar sustentação à coluna. A placa de Petri foi fixada externamente com fita adesiva. Após o preparo das colunas, estas receberam os solos até seu preenchimento. A massa de solo utilizada variou com a densidade deste (Tabela 2).

Após o preenchimento das colunas, foi simulada uma chuva, até que ocorresse saturação de cada substrato. Em seguida, as colunas foram cobertas com sacos de polietileno, a fim de evitar ressecamento superficial do solo, até que se completasse a drenagem do excesso de água. Finalizado esse período, metade das colunas foi levada ao simulador de chuvas, onde receberam uma lâmina de água de 25 mm



e ficaram em repouso por 24 horas. Feito isso, foi aplicado o s-metolachlor (1,92 kg ha⁻¹) sobre todas as colunas (irrigadas ou não-irrigadas). Para a aplicação do herbicida, foi utilizado um pulverizador costal pressurizado com CO₂, provido de uma barra de 0,5 m contendo dois bicos tipo leque Teejet 110-03. A pressão utilizada foi de 3,0 kgf cm⁻², e o volume de aplicação, equivalente a 200 L ha⁻¹.

Realizada essa etapa, as colunas não-irrigadas antes da aplicação do herbicida foram levadas imediatamente ao simulador de chuva, onde receberam uma lâmina de água de 25 mm. Depois disso, todas as colunas ficaram em repouso por 24 horas. Obedecido o tempo de espera, as colunas foram abertas longitudinalmente e colocadas na posição horizontal. Cada coluna foi dividida em quatro seções de 5 cm, medidas a partir da superfície onde o herbicida foi aplicado (até 20 cm). Em cada seção foi semeada uma linha contínua de sementes da planta indicadora - sorgo-granífero (*Sorghum bicolor*), híbrido BR 304 -, espécie que se mostrou altamente sensível ao s-metolachlor em ensaios preliminares. A profundidade de semeadura foi de 3 cm.

O controle de umidade nas colunas foi feito com um medidor de potencial de água no solo (Floral Sensor), três vezes ao dia. Assim que a umidade decaía do valor preestabelecido, as colunas eram levadas ao simulador de chuva, para que a quantidade de água fosse repostada. Uma vez por semana, foi realizada uma aplicação de solução nutritiva comercial em igual volume para todos os tratamentos. As plantas

de sorgo foram colhidas 17 dias após a sua emergência.

Os tratamentos foram compostos da combinação de dois manejos de irrigação (anterior ou posterior à aplicação do herbicida) com quatro faixas de profundidades das colunas (0-5, 5-10, 10-15, e 15-20 cm), totalizando oito tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições, em que o fator da subparcela foi a faixa de profundidade e o fator da parcela principal, o tipo de irrigação.

Para avaliar a mobilidade do s-metolachlor no perfil dos substratos escolhidos, as seguintes características foram analisadas:

1) Toxicidade - avaliação visual realizada aos 17 dias após a emergência (DAE) do sorgo, utilizando a escala da ALAM (Asociación Latinoamericana de Malezas), em que 0% significa planta sem sintomas e 100%, morte da planta.

Tabela 2 - Massas de solo utilizadas por coluna e suas densidades

Solos avaliados	Massa de solo/coluna (g)	Densidade do solo (g cm ⁻³)
Podzólico Vermelho-Amarelo	3.104	0,95
Areia Quartzosa	3.733	1,15
Latossolo Roxo	3.900	1,20
Areia Quartzosa (turfosa)	2.869	0,88
Latossolo Vermelho-Amarelo	3.270	1,01

Tabela 1 - Características físicas e químicas dos solos estudados

Solos avaliados	Análise granulométrica				Análise química			
	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	t	T	MO	pH H ₂ O
	(dag kg ⁻¹)				(cmol _c dm ⁻³)		(dag kg ⁻¹)	
Podzólico Vermelho-Amarelo	35	12	17	36	3,19	5,79	3,58	5,40
Areia Quartzosa	14	21	27	38	1,18	2,58	2,02	4,80
Latossolo Roxo	34	24	21	21	2,61	6,61	3,97	5,50
Areia Quartzosa (turfosa)	16	16	9	35	8,31	24,51	16,64	5,90
Latossolo Vermelho-Amarelo	22	37	13	28	5,11	7,71	3,45	5,50

* Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFV, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).



2) Estande final de plantas – número de plantas por faixa de profundidade.

3) Altura final de plantas (cm).

4) Biomassa seca final da parte aérea das plantas (g).

5) Biomassa seca final das raízes das plantas (g).

6) Biomassa seca final das plantas inteiras (g).

Os valores de matéria seca foram obtidos após as plantas, ou parte delas, serem colocadas em estufa de ar forçado a 72 °C e atingirem peso constante.

Foram avaliadas as pressuposições normalidade e homogeneidade das variáveis para a análise de variância, por meio dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente, sendo os cálculos baseados nos erros. Todas as variáveis que atenderam às exigências foram submetidas à análise de variância. Após a realização do teste de F e seus desdobramentos, a comparação dos cultivares foi feita por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Podzólico Vermelho-Amarelo

Pode-se verificar, pela Tabela 3, que o s-metolachlor se concentrou quase que totalmente na profundidade de 0-5 cm, independentemente do manejo da irrigação. No entanto, quando se utilizou a irrigação posterior à aplicação do herbicida, ocorreu maior toxicidade à planta indicadora (quase o dobro), evidenciando que o s-metolachlor ficou mais disponível nesse manejo. Essa diferença nos sintomas de injúria causada pelo tipo de irrigação não se confirmou estatisticamente em relação à altura de plantas, biomassa seca de raízes, biomassa seca de parte aérea e biomassa seca total. Entretanto, em todas as avaliações houve tendência de maior dano provocado pelo s-metolachlor quando a irrigação inicial foi realizada após a aplicação do herbicida, principalmente na profundidade de 0-5 cm. Também, verifica-se pela Tabela 3 que o s-metolachlor não afetou o estande de plantas, ou seja, não impediu a emergência das plantas indicadoras (mesmo sensíveis) nesse solo.

Tabela 3 - Toxicidade, número de plantas emergidas, altura de plantas, biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em quatro faixas de profundidade de colunas preenchidas com amostras do solo Podzólico Vermelho-Amarelo, com irrigação antes e após a aplicação do s-metolachlor na dose de 1,92 kg ha⁻¹

Prof. (cm)	Toxicidade (%)			Número de plantas emergidas			Altura de plantas (cm)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	42,14 a B	82,14 a A	62,14	5,50	5,25	5,38	12,70	8,80	10,75b
5-10	0,00b	0,00b	0,00	5,75	6,25	6,00	20,15	24,05	21,00a
10-15	0,00b	0,00b	0,00	5,75	6,25	6,00	19,39	20,58	19,98a
15-20	0,00b	0,00b	0,00	6,50	6,25	6,63	20,68	19,84	20,26a
Média	10,54	20,54	15,54	5,88	6,75	6,00	18,23	18,32	18,27
Prof. (cm)	Biomassa seca das raízes (g)			Biomassa seca da parte aérea (g)			Biomassa seca da planta inteira (g)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	0,1588	0,1425	0,1506b	0,2968	0,2000	0,2484b	0,4555	0,3425	0,3990b
5-10	0,2725	0,2883	0,2804ab	0,4600	0,5710	0,5155a	0,7325	0,8593	0,7959a
10-15	0,4200	0,3725	0,3962a	0,4675	0,6655	0,5665a	0,8875	1,0380	0,9627a
15-20	0,4675	0,2475	0,3575a	0,4925	0,4450	0,4688a	0,9600	0,6925	0,8263a
Média	0,3297	0,2627	0,2962	0,4292	0,4704	0,4498	0,7589	0,7331	0,7460

- Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, ou de uma mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Latossolo Roxo

Como observado para o solo Podzólico Vermelho-Amarelo, o s-metolachlor, também nesse solo, se acumulou em sua maioria na profundidade de 0-5 cm (Tabela 4). No entanto, novamente, observa-se tendência de este herbicida ter descido um pouco mais no perfil do solo e também de estar mais disponível na solução deste quando a irrigação inicial foi realizada após a aplicação do herbicida. Essa maior tendência de lixiviação fica evidente quando se analisa a diferença na altura de plantas e no acúmulo de biomassa seca da parte aérea das plantas de sorgo.

Em relação à avaliação visual de toxicidade, verifica-se (Tabela 4) que não houve diferença estatística entre os tipos de manejo de irrigação. Contudo, novamente se observa tendência de maior toxicidade na profundidade de 0-5 cm quando se irrigou após a aplicação do s-metolachlor. A emergência das plantas de sorgo, também neste solo, não foi afetada pelo s-metolachlor em nenhuma profundidade, independentemente do manejo inicial da irrigação.

Latossolo Vermelho-Amarelo

Vê-se, na Tabela 5, que o s-metolachlor se concentrou, mais uma vez, na camada superficial do solo (0-5 cm), porém sua presença em camadas inferiores (principalmente 5-10 cm)

foi mais pronunciada em comparação com os solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo. Esse fato fica mais evidente quando se observam a biomassa seca das raízes e da parte aérea e os sintomas de toxicidade (avaliação visual de injúrias).

A tendência do s-metolachlor de apresentar maior lixiviação e disponibilidade na solução do solo quando se irrigou posteriormente à aplicação do herbicida manteve-se também nesse solo. O nível de toxicidade à planta-teste encontrado nesse manejo da irrigação ultrapassou 90%, enquanto na irrigação realizada antes da aplicação do produto o grau de injúrias foi de pouco mais de 50% (Tabela 5). Não houve efeito do s-metolachlor sobre a emergência das plantas de sorgo.

Areia Quartzosa (turfosa)

Na Tabela 6, observa-se, pela reação da planta indicadora, que a presença do s-metolachlor na solução do solo foi maior nos primeiros centímetros (0-5 cm), porém de forma mais discreta que nos solos anteriormente analisados. Neste solo, a irrigação posterior à aplicação do s-metolachlor causou novamente maior toxicidade às plantas indicadoras na camada de 0-5 cm (acima de 80%). Também, nesse manejo apareceram pela primeira vez sintomas de injúria nas plantas indicadoras na camada de 10-15 cm (Tabela 6).

Tabela 4 - Toxicidade, número de plantas emergidas, altura de plantas, biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em quatro faixas de profundidade de colunas preenchidas com amostras do solo Latossolo Roxo, com irrigação antes e após a aplicação do s-metolachlor na dose de 1,92 kg ha⁻¹

Prof. (cm)	Toxicidade (%)			Número de plantas emergidas			Altura de plantas (cm)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	50,89	60,00	55,45a	6,00	5,50	5,75	10,52b	9,95	10,23
5-10	0,00	0,00	0,00b	6,50	5,75	6,13	16,95a A	11,28 B	14,12
10-15	0,00	0,00	0,00b	5,25	7,25	6,25	16,75a A	12,90 B	14,82
15-20	0,00	0,00	0,00b	5,75	6,00	5,88	16,30a A	10,95 B	13,63
Média	12,72	15,00	13,86	5,88	6,13	6,01	15,13	11,27	13,20
Prof. (cm)	Biomassa seca das raízes (g)			Biomassa seca da parte aérea (g)			Biomassa seca da planta inteira (g)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	0,1538	0,1750	0,1644b	0,1840	0,1450	0,1645b	0,3390	0,3250	0,3320b
5-10	0,2403	0,2400	0,2401ab	0,3285	0,2925	0,3105a	0,5688	0,5325	0,5506a
10-15	0,2948	0,2375	0,2661a	0,3105	0,2600	0,2852a	0,6053	0,5125	0,5589a
15-20	0,2773	0,2525	0,2649a	0,2918	0,1925	0,2421ab	0,5690	0,4475	0,5082a
Média	0,2415	0,2263	0,2339	0,2787	0,2225	0,2506	0,5205	0,4544	0,4875

- Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, ou de uma mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Tabela 5 - Toxicidade, número de plantas emergidas, altura de plantas, biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em quatro faixas de profundidade de colunas preenchidas com amostras do solo Latossolo Vermelho-Amarelo, com irrigação antes e após a aplicação do s-metolachlor na dose de 1,92 kg ha⁻¹

Prof. (cm)	Toxicidade (%)			Número de plantas emergidas			Altura de plantas (cm)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	52,98a B	91,67a A	72,32	5,75	3,75	4,75	10,70	7,47	9,09b
5-10	6,25b	8,33b	7,29	6,00	5,50	5,75	17,57	13,22	15,46a
10-15	0,00b	0,00b	0,00	6,75	5,25	6,00	17,97	14,50	16,24a
15-20	0,00b	0,00b	0,00	6,50	6,25	6,38	17,53	13,89	15,71a
Média	14,81	25,00	19,91	6,25	5,19	5,72	15,94	12,27	14,11
Prof. (cm)	Biomassa seca das raízes (g)			Biomassa seca da parte aérea (g)			Biomassa seca da planta inteira (g)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	0,1285	0,0875	0,1080b	0,2388	0,0975	0,1681b	0,3673	0,1975	0,2824b
5-10	0,3225	0,1850	0,2537ab	0,3030	0,1725	0,2377ab	0,7330	0,3575	0,5452a
10-15	0,4075	0,2353	0,3214a	0,4250	0,2728	0,3489a	0,8325	0,5080	0,6702a
15-20	0,2350	0,2863	0,2606a	0,3385	0,2990	0,3188a	0,5735	0,5853	0,5794a
Média	0,2734	0,1985	0,2360	0,3263	0,2105	0,2684	0,6266	0,4121	0,5193

- Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, ou de uma mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 6 - Toxicidade, número de plantas emergidas, altura de plantas, biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em quatro faixas de profundidade de colunas preenchidas com amostras do solo Areia Quartzosa (turfoza), com irrigação antes e após a aplicação do s-metolachlor na dose de 1,92 kg ha⁻¹

Prof. (cm)	Toxicidade (%)			Número de plantas emergidas			Altura de plantas (cm)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	43,33a B	80,95a A	62,14	5,25	5,75	5,50	11,93	11,26	11,60b
5-10	3,13b	15,00b	9,06	6,75	6,50	6,23	14,27	16,60	15,43ab
10-15	0,00b	5,00b	2,50	6,75	5,50	6,13	16,31	15,73	16,02a
15-20	0,00b	0,00b	0,00	7,00	7,75	7,38	16,36	12,87	14,62ab
Média	11,61	25,24	18,43	6,44	6,38	6,41	14,72	14,11	14,42
Prof. (cm)	Biomassa seca das raízes (g)			Biomassa seca da parte aérea (g)			Biomassa seca da planta inteira (g)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	0,1262	0,2037	0,1650	0,2157b	0,2480b	0,2319	0,3420	0,4517	0,3969
5-10	0,2125	0,3703	0,2914	0,2957ab B	0,5583a A	0,4270	0,5082	0,9285	0,7184
10-15	0,3400	0,2650	0,3025	0,4350ab	0,3648ab	0,3999	0,7750	0,6298	0,7024
15-20	0,4915	0,2835	0,3875	0,4848a	0,3767ab	0,4308	0,9762	0,6602	0,8183
Média	0,2926	0,2806	0,2866	0,3578	0,3869	0,3724	0,6504	0,6676	0,6553

- Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, ou de uma mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Analisando as avaliações de altura de plantas, biomassa seca de raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira, verifica-se tendência de haver maior disponibilidade do s-metolachlor nas duas primeiras camadas de solo quando se irrigou

antes da sua aplicação e de maior disponibilidade do produto nas duas últimas camadas quando a irrigação foi realizada após a aplicação. No entanto, a comprovação de diferença estatística entre os manejos só foi detectada na avaliação da biomassa seca da parte aérea

na profundidade de 5-10 cm (Tabela 6). Novamente, o s-metolachlor não interferiu no estande de plantas de sorgo.

Areia Quartzosa

Neste solo, o s-metolachlor apresentou maior lixiviação, notando-se sintomas de toxicidade às plantas de sorgo em todas as camadas de solo avaliadas. Assim, este foi o único solo que apresentou injúrias na última camada (15-20 cm) e em ambos os tipos de irrigação inicial (Tabela 7). Em nenhuma avaliação e em nenhuma profundidade, verificou-se diferença estatística entre os manejos de irrigação, mas em todas elas ocorreu a tendência de haver maior disponibilidade do herbicida quando a irrigação foi aplicada após a sua pulverização.

Este solo apresentou o maior grau de injúria do metolachlor às plantas indicadoras, chegando a 93,75% na profundidade de 0-5 cm, quando se irrigou após a aplicação do produto (Tabela 7).

As avaliações da biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira demonstraram que só houve diferença significativa desses parâmetros entre a última camada (15-20 cm) e as demais (Tabela 7), independentemente da irrigação.

Esse fato mostra que, para essas características, não houve diferença entre as três primeiras camadas, indicando que o s-metolachlor se diluiu mais entre estas, não se concentrando tanto na primeira camada (0-5 cm) como nos demais solos avaliados. Foram observadas neste solo diferenças estatísticas quanto à emergência e ao estabelecimento das plantas de sorgo, ocorrendo menor estande de plantas na camada de 0-5 cm, não estando esse resultado relacionado à irrigação. Este foi o único solo a demonstrar tal efeito.

Fazendo uma análise global dos resultados, observa-se para todos os solos a tendência de ocorrer maior lixiviação do s-metolachlor quando a irrigação foi realizada após a sua aplicação, ou seja, as moléculas do herbicida foram mais arrastadas pela água, atingindo assim maiores profundidades no perfil dos solos. Isso pode ser devido ao curtíssimo intervalo de tempo entre a aplicação e a irrigação, que pode não ter sido suficiente para a máxima adsorção do produto no solo.

Segundo Bowman (1988), o tempo entre a aplicação do metolachlor e a precipitação tem muita influência na sua movimentação no solo. Esse autor afirma que, quanto menor o tempo entre a aplicação e a precipitação, maior a tendência de o herbicida apresentar maior lixiviação no solo.

Tabela 7 - Toxicidade, número de plantas emergidas, altura de plantas, biomassa seca das raízes, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da planta inteira de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em quatro faixas de profundidade de colunas preenchidas com amostras do solo Areia Quartzosa, com irrigação antes e após a aplicação do s-metolachlor na dose de 1,92 kg ha⁻¹

Prof. (cm)	Toxicidade (%)			Número de plantas emergidas			Altura de plantas (cm)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	86,67	93,75	90,21a	5,50	4,50	5,00b	7,59	6,58	7,08c
5-10	51,79	63,93	57,86b	6,25	6,25	6,25a	13,31	10,96	12,13b
10-15	8,33	29,29	18,81c	6,25	5,25	5,75ab	17,42	15,25	16,34a
15-20	3,57	15,63	9,60c	6,00	6,50	6,25a	19,23	16,13	17,68a
Média	37,59	50,65	44,12	6,00	5,63	5,82	14,39	12,23	13,31
Prof. (cm)	Biomassa seca das raízes (g)			Biomassa seca da parte aérea (g)			Biomassa seca da planta inteira (g)		
	Irrig. ant.	Irrig. pos.	média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	média	Irrig. ant.	Irrig. pos.	Média
0-5	0,3400	0,1995	0,2697b	0,2550	0,1505	0,2027b	0,3925	0,3500	0,3713c
5-10	0,3225	0,2755	0,2990b	0,3425	0,2538	0,2982b	0,6650	0,5293	0,5971bc
10-15	0,4250	0,3700	0,3975ab	0,4125	0,3050	0,3587ab	0,8375	0,6750	0,7562ab
15-20	0,6100	0,4888	0,5494a	0,5500	0,3888	0,4694a	1,1600	0,8775	1,0188a
Média	0,4244	0,3334	0,3789	0,3900A	0,2745B	0,3323	0,7638	0,6079	0,6859

- Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna, ou de uma mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Putnam & Rice Junior (1979), utilizando a técnica do bioensaio para avaliar a lixiviação do alachlor, observaram que, com precipitação de 25 mm após a sua aplicação, o alachlor desceu até 5,7 cm num solo de textura média e 7,2 cm num solo de textura leve (arenoso).

Peter & Weber (1985), conduzindo um ensaio de lixiviação com o metolachlor em colunas, verificaram que após a aplicação de 22 mm de água por dia, durante 24 dias, totalizando 508 mm, em torno de 10, 15, 20 e 20% do produto estava, respectivamente, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm; o restante do herbicida ficou nas camadas inferiores das colunas ou foi drenado.

Também ficou claro que os efeitos tóxicos do s-metolachlor sobre as plantas indicadoras ocorreram, na maioria dos casos, quando a irrigação foi realizada após sua aplicação. Esse fato pode ser explicado pela forte competição que sofre as moléculas do herbicida pelas moléculas de água, com relação aos sítios de adsorção minerais e, ou, principalmente orgânicos. Isso faz com que haja maior concentração do herbicida na solução do solo quando a disponibilidade hídrica é maior (Viger et al., 1991).

O solo que apresentou a maior lixiviação e disponibilidade do s-metolachlor foi a Areia Quartzosa. Isso comprova a relação entre a adsorção do herbicida e as características do solo teor de matéria orgânica e CTC efetiva, conforme demonstrado por Oliveira Júnior (1998) em trabalho com o herbicida alachlor. Este herbicida possui características físico-químicas muito próximas às do metolachlor (Peter & Weber, 1985). Verifica-se, também, pela Tabela 1, que esse solo apresenta o menor valor de pH em relação aos demais, podendo esse fator também estar relacionado com a baixa adsorção encontrada para o herbicida. Todavia, vários trabalhos científicos, como os de van Rensburg & van Dyk (1986), Burgard et al. (1993) e Oliveira Júnior (1998), demonstraram não haver efeito do pH sobre a adsorção de herbicidas não-iônicos, como o s-metolachlor. No entanto, Wilkinson & Duncan (1993) concluíram que cultivares de sorgo previamente conhecidos como tolerantes ao metolachlor tiveram sua tolerância diminuída em solos mais ácidos. Segundo esses autores, esse fato não está ligado a mudanças na adsorção do herbicida ao solo, mas sim à influência negativa do

excesso de H^+ na degradação do metolachlor na planta.

Seguindo o raciocínio da correlação positiva da adsorção, e conseqüentemente menor lixiviação, com teor de matéria orgânica e CTC efetiva (Obrigawitch et al., 1981; Bouchard et al., 1982; Weber & Peter, 1982; Peter & Weber, 1985; Weber et al., 1987; Pusino et al., 1992; Burgard et al., 1993), deveria ocorrer menor lixiviação do produto no solo Areia Quartzosa (turfosa), o qual possuía $16,64 \text{ dag kg}^{-1}$ de matéria orgânica e $8,31 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de CTC efetiva; entretanto, a não-ocorrência disso pode ser atribuída ao fato de este solo apresentar a menor densidade entre todos, o que poderia representar maior porção de poros e, conseqüentemente, mais espaço entre os agregados, facilitando assim a ação da força gravitacional e a descida da solução do solo (Oliveira et al., 1998). Essa observação também pode ser confirmada pela análise da baixa lixiviação do s-metolachlor no Latossolo Roxo, que possuía valores bem menores de matéria orgânica e CTC efetiva, em relação à Areia Quartzosa turfosa, mas por outro lado foi o solo que apresentou maior densidade. Esses resultados sugerem refletir sobre a importância do conhecimento da estrutura dos solos, observando-se porosidade, compactação, tamanho de agregados, entre outros fatores, no estudo de lixiviação de herbicidas. No entanto, a maioria dos trabalhos é voltada quase que exclusivamente para a correlação da lixiviação com apenas características químicas dos solos.

Conforme demonstrado pelos trabalhos de Pillai et al. (1979) e Deal & Hess (1980), o s-metolachlor não reduziu a emergência das plântulas de sorgo em todos os solos, com exceção de uma pequena interferência na primeira camada (0-5 cm) da Areia Quartzosa. Essa ação pode ser atribuída à alta disponibilidade do herbicida nessa camada deste solo e, também, à alta suscetibilidade das plantas de sorgo ao s-metolachlor.

Pela avaliação dos resultados, conclui-se que, nas condições dos experimentos, o s-metolachlor se concentrou na camada superficial do solo (0-5 cm). Verifica-se também que a irrigação feita após a aplicação do herbicida aumentou sua disponibilidade nessa camada em todos os solos e que o solo Areia Quartzosa foi o que apresentou a maior disponibilidade

do produto. Portanto, solos com baixos teor de matéria orgânica e CTC efetiva possuem maior predisposição à ocorrência de toxicidade a culturas comerciais pelo s-metolachlor. Ademais, o uso da irrigação logo após a aplicação do herbicida pode contribuir para o aumento da toxicidade ao s-metolachlor, assim como aumentar a sua lixiviação e, conseqüentemente, as chances de contaminação de águas subterrâneas.

LITERATURA CITADA

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS - ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. *ALAM*, v.1, p.35-38, 1974.

BOUCHARD, D.C.; LAVY, T.L., MARX, D.B. Fate of metribuzin, metolachlor, and fluometuron in soil. *Weed Sci.*, v.30, p.629-632, 1982.

BOWMAN, B.T. Mobility and persistence of metolachlor and aldicarb in field lysimeters. *J. Environ. Qual.*, v.17, p.689-694, 1988.

BURGARD, D.J.; KOSKINEN, W.C., DOWDY, R.H., CHENG, H.H. Metolachlor distribution in a sandy soil under irrigated potato production. *Weed Sci.*, v.41, p.648-655, 1993.

DEAL, L.M.; HESS, F.D. An analysis of the growth inhibitory characteristics of alachlor and metolachlor. *Weed Sci.*, v.28, p.168-175, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

KIM, J.; FEAGLEY, S.E. Adsorption and leaching of trifluralin, metolachlor, and metribuzin in a commerce soil. *J. Environ. Sci. Health*, v.B33, p.529-546, 1998.

OBRIGAWITCH, T.; HONS, F.M.; ABERNATHY, J.R.; GIPSON, J.R. Adsorption, desorption, and mobility of metolachlor in soils. *Weed Sci.*, v.29, p.332-336, 1981.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. **Relação entre propriedades químicas e físicas do solo e sorção, dessorção e potencial de lixiviação de herbicidas**. Viçosa-MG: UFV, 1998. 83p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.; NEVES, J.C.L. Influência do tamanho do agregado e do nível de umidade do solo na atividade do flumioxazin. *R. Ceres*, v.45, p.82-87, 1998.

PETER, C.J.; WEBER, J.B. Adsorption, mobility, and efficacy of alachlor and metolachlor as influenced by soil properties. *Weed Sci.*, v.33, p.874-881, 1985.

PILLAI, P.; DAVIS, D.E.; TRUELOVE, B. Effects of metolachlor on germination, growth, leucine uptake, and protein synthesis. *Weed Sci.*, v.27, p.634-637, 1979.

PUSINO, A.; LIV, W.; GESSA, C. Influence of organic matter and its clay complexes on metolachlor adsorption on soil. *Pest. Sci.*, v.36, p.283-286, 1992.

PUTNAM, A.R.; RICE JUNIOR, R.P. Environmental and edaphic influences on the selectivity of alachlor on snap beans (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Sci.*, v.27, p.570-574, 1979.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4.ed. Londrina, PR: Edição dos Autores, 1998. 648p.

van RENSBURG, E.; van DYK, L.P. The persistence in soil and phytotoxicity on dry beans of alachlor and metolachlor as affected by climatic factors. *South Afr. J. Plant Soil*, v.3, p.95-98, 1986.

VIGER, P.R.; EBERLEIN, C.V.; FUERST, E.P. Influence of available soil water content, temperature, and CGA-154281 on metolachlor injury to corn. *Weed Sci.*, v.39, p.227-231, 1991.

WEBER, J.B.; PETER, C.J. Adsorption, bioactivity, and evaluation of soil tests for alachlor, acetochlor, and metolachlor. *Weed Sci.*, v.30, p.14-20, 1982.

WEBER, J.B.; TUCKER, M.R.; ISAAC, R.A. Making herbicide rate recommendations based on soil tests. *Weed Technol.*, v.1, p.41-45, 1987.

WILKINSON, R.E.; DUNCAN, R.R. Growth and physiological responses of sorghum cultivars exposed to excess H⁺ and the herbicide metolachlor. *Can. J. Bot.*, v.71, p.533-540, 1993.

