

LIXIVIAÇÃO DO PICLORAM EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES VALORES DE pH¹

Picloram Leaching on Red-Yellow Latosol and Red-Yellow Ultisol With Different pH Values

D'ANTONINO, L.², SILVA, A.A.³, FERREIRA, L.R.³, CECON, P.R.⁴, FRANÇA, A.C.⁵ e SILVA, G.R.⁶

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de lixiviação do picloram em solos utilizados em pastagens no Brasil (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com dois valores de pH). Para isso, amostras desses solos coletadas à profundidade de 0-20 cm (incubadas ou não com calcário por um período de 70 dias) foram utilizadas como substrato para preenchimento de colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento. Realizou-se um experimento em esquema de parcela subdividida, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos compreenderam a combinação de uma dose do herbicida picloram (160 g ha⁻¹), três intensidades de chuva (40, 80 e 120 mm), três tipos de solo e 10 profundidades de amostragem nas colunas. As avaliações realizadas foram relativas ao desenvolvimento das plantas indicadoras nos substratos das colunas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm. Após o preparo das colunas, estas foram umedecidas e colocadas na posição vertical para drenagem do excesso de água. Após esse período, aplicou-se no topo delas o herbicida e, 12 horas depois, foram feitas as simulações das chuvas, especificadas de acordo com o tratamento. Elas permaneceram na posição vertical por mais 72 horas, para drenagem e lixiviação do herbicida. Após esse período, as colunas foram abertas longitudinalmente e colocadas na posição horizontal, semeando-se ao longo delas a espécie indicadora (*Cucumis sativus*). Conclui-se que o picloram apresentou alta taxa de lixiviação em todos os solos estudados e que sua movimentação no perfil dos solos foi influenciada pelo volume de chuva simulado, pelo pH do solo e, também, por outras características do solo, possivelmente pelo teor de matéria orgânica. O solo com baixo teor de matéria orgânica e pH mais elevado apresentou maior índice de lixiviação do picloram aplicado à camada superficial do solo.

Palavras-chave: movimentação, herbicida, características do solo, pastagens.

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the potential of picloram leaching in areas used as pastures in Brazil (Red-Yellow Latosol, with two distinct pH levels and Red-Yellow Ultisol). Thus, soil samples were collected from 0 to 20 cm depth, and incubated or not with limestone for 70 days and used as substrates to fill PVC columns of 10 cm diameter by 50 cm depth. The work was composed of one trial installed in split-split-plot and completely randomized design, with four replications. One dose of the herbicide picloram (160 g ha⁻¹), three intensities of rain (40, 80 and 120 mm), three soil types and 10 depths (development of indicative plants on substrates of the columns at 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 and 45-50 cm depths) were evaluated. After being prepared, the columns were wetted and placed upright for drainage of the exceeding water. After this period, the herbicide was applied on the top of the columns, and 12 hours later, the simulated rains were performed, according to the proposed treatments. The columns remained upright for the next 72 hours for drainage and herbicide leaching. After this period, the columns were opened at the longest side and placed in the horizontal position, being the indicator

¹ Recebido para publicação em 21.7.2008 e na forma revisada em 21.8.2009.

² Eng^a-Agr^a, D.Sc., Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – DFT/UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <leonardo@ufv.br>;

³ D.Sc., Professor Associado – DFT/UFV; ⁴ D.Sc., Professor Adjunto do Dep. de Informática – UFV; ⁵ Eng^a-Agr^a, Doutorando em Fitotecnia – UFV; ⁶ Acadêmico de Agronomia – UFV.



species (Cucumis sativus) sown in the substrate along the opening in order to evaluate picloram leaching for the soils studied. It was concluded that picloram showed high leaching rate in all soils, and that its movements in the soil profile were influenced by the amount of simulated rain, soil pH and also by other soil characteristics, possibly by organic matter content. The soil with low organic matter content and higher pH presented the highest rate of picloram leaching when applied to the soil surface.

Keywords: movement, herbicide, soil characteristics, pastures.

INTRODUÇÃO

A utilização de herbicidas tem contribuído de maneira substancial para a expansão e o desenvolvimento do agronegócio brasileiro, sendo imprescindível em sistemas de plantio direto. Todavia, herbicidas que apresentam longo efeito residual em solos – muito utilizados no Brasil em pastagens e em diversas culturas agrícolas – podem causar sérios problemas ambientais, como a contaminação do solo, da água e da microbiota do solo (Inoue et al., 2003). Desse modo, estudos sobre sorção, dessorção, meia-vida e lixiviação de herbicidas no perfil do solo são necessários para se prever a eficácia do controle das plantas daninhas, o risco de prejuízo a culturas sensíveis plantadas em sequência, bem como o potencial de o herbicida atingir aquíferos subterrâneos (van Wyk & Reinhardt, 2001).

Herbicidas aplicados em pré-emergência na Europa, como diuron, simazine e terbuthylazine, frequentemente são encontrados em águas subterrâneas em concentrações superiores a $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, que é o limite máximo admitido pela Comunidade Europeia para água potável (European Community Council, 1998; Guibaud et al., 1999; Field et al., 2003, citados por Landry et al., 2006). A contaminação do subsolo devido à lixiviação de herbicidas também é preocupação em outras grandes regiões agrícolas mundiais. Futch & Singh (1999) relatam a contaminação de águas subterrâneas por bromacil – herbicida que foi muito utilizado em citros no estado americano da Califórnia. No Estado de São Paulo foi constatada a contaminação de cursos d'água por ametryn, atrazine e simazine, herbicidas utilizados na cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil (Monteiro et al., 2008). Singh (2003) relata que vários estudos em lençóis aquíferos subterrâneos de regiões agrícolas dos Estados

Unidos têm apresentado contaminações por herbicidas dez vezes superiores aos limites máximos estabelecidos naquele país.

No Brasil, com frequência, tem-se observado em diversas situações a ocorrência de intoxicação em culturas sensíveis semeadas após a utilização de herbicidas (*carryover*). Segundo Bovey et al. (1982), o efeito residual no solo de um herbicida pode variar de alguns dias a mais de três anos.

Entre os herbicidas mais utilizados em pastagens brasileiras, destaca-se o picloram. Caracteriza-se por apresentar elevada persistência no solo (Dornelas de Souza et al., 2001; Close et al., 2003b; Berisford et al., 2006; Santos et al., 2006), baixa sorção, alta solubilidade em água e elevado potencial de lixiviação, podendo atingir aquíferos subterrâneos (Bovey & Richardson, 1991; Pang et al., 2000; Close et al., 2003a). Além disso, a filtragem natural realizada pelas zonas ripárias não é capaz de reter a contaminação de cursos d'água por escorrimento superficial do picloram, devido à baixa adsorção ao solo e à pequena retenção na matéria orgânica (Pinho, 2005). Berisford et al. (2006) relatam que o picloram teve alta mobilidade lateral e vertical, além de alta persistência em solos argilosos.

Segundo Silva et al. (2007), o processo de lixiviação refere-se ao movimento descendente dos herbicidas na matriz do solo em decorrência do fluxo de água. Sua intensidade depende das interações de características físico-químicas do produto, do solo e do clima.

Devido à necessidade de uso racional dos insumos agrícolas para minimizar os impactos ambientais da agricultura, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de compreender o comportamento de herbicidas no solo (Futch et al., 1999; Pang et al., 2000; Carrizosa et al., 2004). No entanto, pouco se sabe a

respeito do comportamento desses xenobióticos em solos tropicais (Inoue, 2002, 2003). Portanto, estudos dos solos tropicais, envolvendo características como a presença de cargas dependentes de pH, minerais de argila 1:1 (óxidos de ferro e alumínio), matéria orgânica e a CTC total e o destino dos herbicidas no ambiente, necessitam ser implementados. Evidências indicam que esses fatores podem ser de grande relevância no que se refere aos principais mecanismos que controlam o destino final de herbicidas iônicos no solo (Costa et al., 2000; Rocha et al., 2000; Albuquerque et al., 2001). Em relação aos herbicidas não-iônicos, os efeitos causados pelas características inerentes ao solo são de menor intensidade. Embora sejam não-iônicos, muitos herbicidas apresentam-se polares e, em função dessa condição, podem vir a ser afetados pelo pH do solo e ficar retidos aos complexos argilominerais e ao material orgânico do solo (Silva et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a lixiviação do picloram em Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste experimento, utilizaram-se amostras de dois solos: um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), coletadas à profundidade de 0 a 20 cm, em pastagens degradadas

da região de Viçosa, MG. Após coletadas as amostras, estas foram secas ao ar, peneiradas e acondicionadas em caixas de polietileno com capacidade de 1.000 L. A amostra do Latossolo Vermelho-Amarelo foi subdividida em duas subamostras, sendo uma delas tratada com calcário dolomítico (PRNT = 80%). A subamostra tratada com calcário foi incubada por 70 dias para reação deste com o solo, em condição de umidade próxima à capacidade de campo. Após esse período, todas as amostras foram caracterizadas quanto às características químicas e físicas (Tabela 1).

Posteriormente, todas as amostras de solos foram adubadas na proporção de 1,0 kg de superfosfato simples por 100 L de solo (Novais, R.F. comunicação pessoal), sendo a seguir homogeneizadas e acondicionadas em colunas de PVC de 0,10 m de diâmetro por 0,50 m de comprimento. Essas colunas foram previamente preparadas e parafinadas, para evitar fluxo preferencial da água interno junto às paredes das colunas. Todas as colunas foram marcadas a cada 5 cm de distância e possuíam tampa lateral removível e uma estrutura vedante na base inferior (tela de náilon recoberta com papel-filtro), para evitar perda de solo. Após o preenchimento com as amostras de solo, as colunas foram umedecidas e posteriormente deixadas na posição vertical, em repouso por 72 horas, para drenagem do excesso de água até se atingir umidade aproximada à capacidade de campo. A seguir, fez-se a aplicação do picloram no topo das colunas na dose de

Tabela 1 - Caracterização física e química e classificação textural das amostras de solo utilizadas no experimento. Viçosa-MG

| Análise granulométrica (dag kg ⁻¹) | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------------|----------------|------------------|---------------------------------------|--------|-----------|-----|----|-------------------------|
| Solo | Argila | Silte | Areia fina | Areia grossa | Classificação textural | | | | | |
| LVA | 44 | 15 | 17 | 24 | Argiloso | | | | | |
| LVA | 44 | 15 | 17 | 24 | Argiloso | | | | | |
| PVA | 25 | 16 | 22 | 37 | Franco-Argilo-Arenoso | | | | | |
| Análise química | | | | | | | | | | |
| Solo | pH | P | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | H + Al | CTC total | V | m | MO |
| | (H ₂ O) | (mg dm ⁻³) | | | (cmol _c dm ⁻³) | | | (%) | | (dag kg ⁻¹) |
| LVA | 4,1 | 1,7 | 27 | 0,6 | 0,2 | 8,25 | 2,29 | 10 | 63 | 1,70 |
| LVA | 4,9 | 1,7 | 27 | 1,0 | 0,4 | 7,26 | 2,37 | 15 | 44 | 1,70 |
| PVA | 5,9 | 5,2 | 81 | 2,8 | 1,4 | 2,64 | 4,47 | 63 | 0 | 2,55 |

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997). LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo. PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo.



160 g ha⁻¹ (equivalente a 0,83 L ha⁻¹ do produto comercial Padron®), utilizando-se um pulverizador de precisão equipado com duas pontas XR 110.02, espaçadas de 0,50 m, mantido à pressão de 30 lb pol⁻², aplicando-se volume de calda de 200 L ha⁻¹. Paralelamente, foram conduzidas quatro repetições de cada solo, sem a aplicação do picloram, mas com simulação das precipitações para efeito de comparação descritiva dos resultados.

Doze horas após a aplicação do herbicida, com as colunas ainda na posição vertical, foram simuladas precipitações de 40, 80 e 120 mm. Posteriormente, as colunas permaneceram ainda por 72 horas na posição vertical, sendo em seguida colocadas na posição horizontal. Nessa ocasião foi feita a abertura lateral das colunas e, na linha central destas, um sulco de 1,0 cm de profundidade, onde foi semeado pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora.

Foram avaliados 90 tratamentos, compostos pela combinação de três intensidades de chuva nas parcelas, três amostras de solo nas subparcelas (Argissolo Vermelho-Amarelo pH 5,9, Latossolo Vermelho-Amarelo pH 4,1 e pH 4,9) e dez profundidades de amostragem nas subsubparcelas. Cada local de amostragem nas colunas compreendeu 5 cm de solo, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm. Utilizou-se o esquema de parcela subsubdividida em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Durante a realização do experimento, em casa de vegetação, manteve-se a umidade do solo nas colunas próxima à capacidade de campo, por meio de irrigações diárias, para se garantir bom crescimento das plantas indicadoras.

As avaliações (altura das plantas, índice de intoxicação das plantas-teste pelo herbicida, matéria fresca, matéria seca e altura de plantas-teste) foram realizadas aos 21 dias após a emergência das plantas de pepino. Atribuíram-se notas de 0 (ausência de intoxicação) a 10 (morte da planta), para avaliação do índice de intoxicação das plantas indicadoras, de acordo com escala da EWRC (1964) modificada (Tabela 2). Para avaliação da matéria fresca, todas as plantas foram cortadas rente à superfície do solo e pesadas logo a seguir em balança com precisão de 0,01 g. Após secagem desse

Tabela 2 - Escala de sintomas de intoxicação provocados pelo picloram em plantas de pepino (*Cucumis sativus*)

| Nota | Descrição dos sintomas |
|------|-------------------------------------|
| 0 | Ausência de intoxicação nas plantas |
| 2 | 20% de intoxicação nas plantas |
| 4 | 40% de intoxicação nas plantas |
| 6 | 60% de intoxicação nas plantas |
| 8 | 80% de int oxicação nas plantas |
| 10 | Todas as plantas mortas |

Fonte: Escala EWRC (1964) modificada.

material em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até matéria constante, determinou-se a matéria seca das plantas, utilizando-se a mesma balança.

Para interpretação dos resultados, os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, testes de médias e análises de regressão, adotando-se nível de significância de 5%. Na escolha dos modelos foram levadas em conta a resposta biológica e a significância do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença do picloram nos diferentes solos causou severa intoxicação (superior a 90%) às plantas de pepino cultivadas nos primeiros 5 cm das colunas, independentemente da intensidade da chuva simulada (Figuras 1, 2 e 3).

Quando as colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,1) foram submetidas à simulação de chuvas de 40 e 80 mm, a intoxicação das plantas de pepino ocorreu até naquelas cultivadas nas amostras a 25-30 e 35-40 cm de profundidade, respectivamente. A intensidade dos sintomas de intoxicação das plantas-teste decresceu com a profundidade de cultivo das plantas (Figura 1A, B). Contudo, quando ocorreu simulação de chuva de 120 mm, observou-se intoxicação das plantas até aquelas cultivadas na extremidade da coluna (50 cm de profundidade), indicando a distribuição do picloram ao longo desta (Figura 1C). Nessa condição, verificou-se maior lixiviação do picloram, caracterizada pela distribuição mais uniforme do herbicida ao longo da coluna, em comparação com aquelas submetidas a intensidades de chuvas simuladas de 40 e 80 mm. Esses resultados

justificam observações realizadas por Pang et al. (2000), os quais encontraram níveis significativos de picloram em águas subterrâneas da Nova Zelândia, em dois diferentes solos, em grandes profundidades. Também Bovey & Richardson (1991) e Berisford et al. (2006), trabalhando em solos argilosos, relatam que o picloram teve elevada mobilidade e persistência neles. No Brasil, Santos et al. (2006) detectaram resíduos de picloram 360 dias após a aplicação em um solo de textura argilo-arenosa, pH 5,5 e 3% de matéria orgânica. Estudando sete pesticidas, entre eles o picloram, em solos argilosos com altos teores de alumínio, Close et al. (2003a,b) observaram que esse xenobiótico apresentou maior persistência média e os maiores índices de recuperação no perfil do solo, ao fim dos ensaios.

A lixiviação do picloram no Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,9, distinguiu-se daquela observada nos demais solos quando se avaliaram os sintomas de intoxicação das plantas-teste cultivadas ao longo das colunas (Figura 2A, B, C). Na simulação de chuva de 40 mm (Figura 2A), observou-se elevada intensidade dos sintomas nas plantas cultivadas na parte superior da coluna. Essa intensidade decresceu até a profundidade de 35 cm, estabilizando-se a partir daí. Contudo, observou-se intoxicação da planta indicadora até a extremidade da coluna (profundidade de 50 cm) indicando distribuição do picloram ao longo desta. Quando a chuva simulada foi de 80 ou 120 mm, observou-se também intoxicação das plantas indicadoras ao longo de toda a coluna. Todavia, nesse caso, para ambos os níveis de

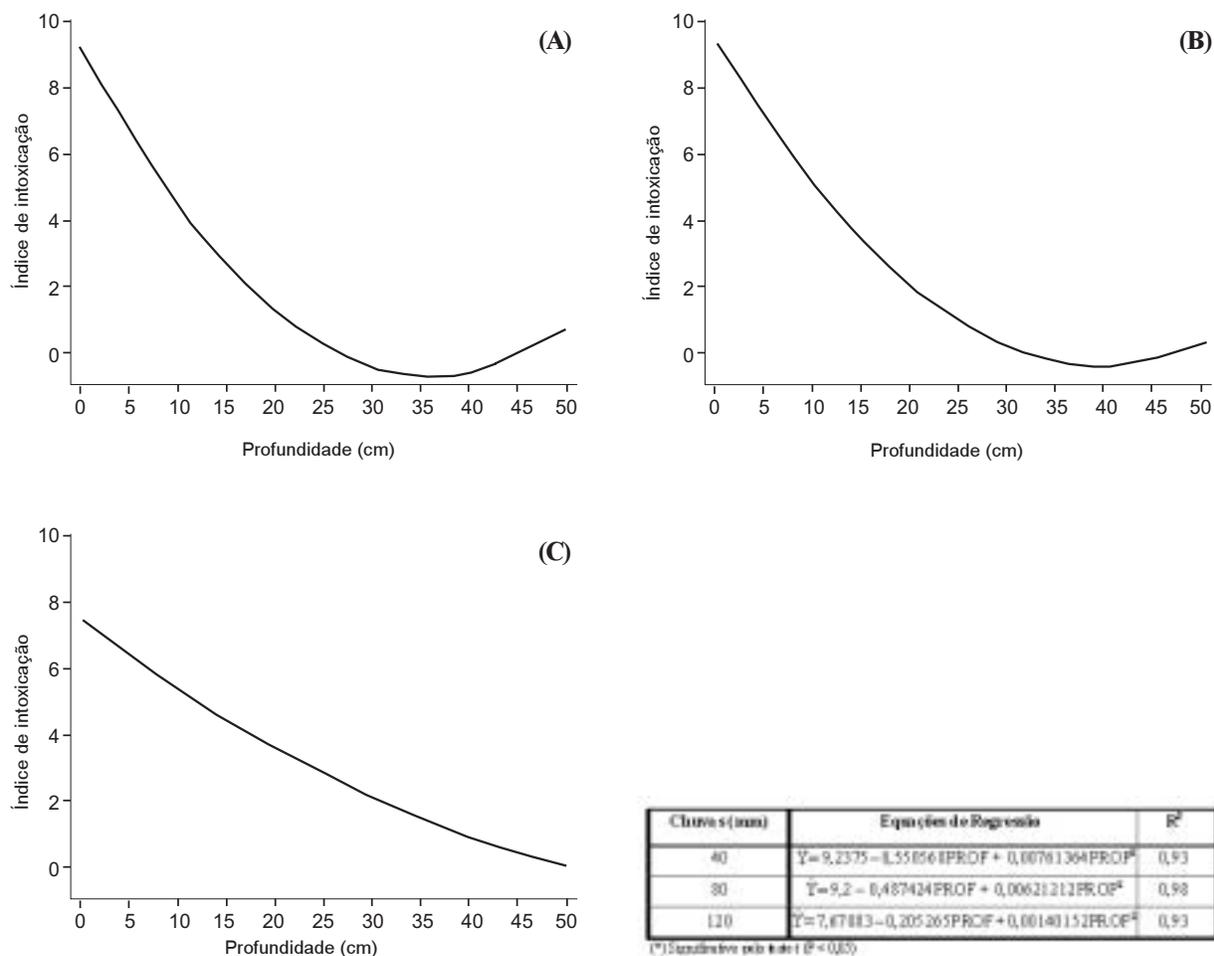


Figura 1 - Intoxicação em plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,1), tratadas com picloram e submetidas a chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.



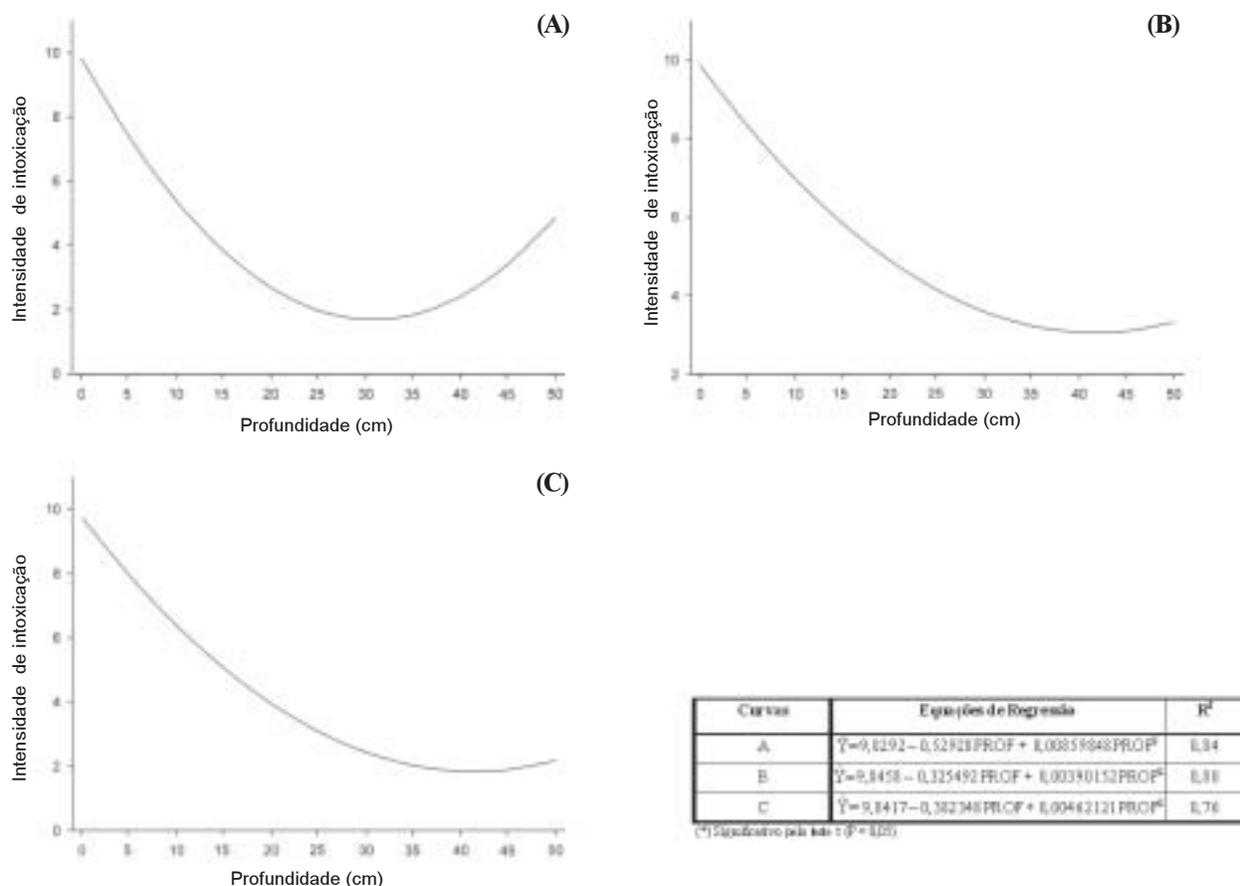


Figura 2 - Intoxicação em plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,9) tratadas com picloram e submetidas a chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.

simulação de chuva, os sintomas foram decrescentes até a extremidade das colunas. Observou-se ainda que, na simulação de chuva de 120 mm, a lixiviação do picloram do topo da coluna foi observada pela maior intoxicação da planta indicadora nas maiores profundidades, quando comparada às simulações de menores intensidades de chuva (Figura 2C). Comparando este resultado com aquele observado no Argissolo Vermelho-Amarelo pH 5,9, constata-se que outras características do solo além do pH afetam a lixiviação do picloram. Segundo Hang (1996), apesar de o pH ser a característica de maior importância na sorção de herbicidas ácidos no solo, a matéria orgânica tem correlação moderada positiva na retenção desses herbicidas. Dependendo das características físicas e químicas do herbicida e do solo, a qualidade e o teor de argila ou de matéria orgânica podem ser mais importantes

do que o pH do solo. De acordo com Silva et al. (2007), em diversos casos não ocorrem correlações entre a sorção do herbicida e as concentrações de argila. Isso se ao fato de as características químicas das argilas dependerem do material de origem do solo e do seu grau de intemperismo, o que varia muito em condições tropicais. Vieira et al. (1999) relatam que o teor de matéria orgânica no solo desempenha fundamental papel quando se trata de contaminantes ambientais, como herbicidas e metais pesados.

Na avaliação da mobilidade do picloram no Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), verificaram-se sintomas de intoxicação nas plantas de pepino cultivadas no topo das colunas acima de 98 %, nas três simulações de chuva (Figura 3A, B, C). Esses sintomas foram decrescentes até a profundidade de 30 cm, com 40 mm de

chuva simulada (Figura 3A). No entanto, simulações de chuva de 80 e 120 mm de chuva causaram distribuição do picloram ao longo de toda a coluna, com evidente lixiviação desse herbicida nesse solo em condições de pH próximo à neutralidade (Figura 3B, C). A maior lixiviação do picloram neste solo, em comparação à observada no Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,1), pode ser creditada à menor sorção do herbicida aos coloides do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, devido à menor força de atração entre moléculas do herbicida e as cargas do solo.

O picloram tem a sua capacidade de dissociação eletrolítica (pK_a) igual a 2,3 (Rodrigues & Almeida, 2005); quanto maior for o pK_a do herbicida, menor será seu caráter ácido e

menor a sua capacidade de encontrar-se na forma aniônica. Quando o pH do solo for igual ao pK_a do herbicida, a molécula estará 50% na sua forma molecular ou neutra e 50% na forma dissociada (aniônica). Considerando herbicidas de caráter ácido, como o picloram, quanto menor o pH do solo em relação ao pK_a do herbicida, maior será a tendência de o herbicida estar na forma molecular (neutra) e, possivelmente, aumenta a capacidade de ele se adsorver nas partículas coloidais do solo. O comportamento de um herbicida num ambiente com pH abaixo do seu pK_a será semelhante ao das moléculas não-iônicas. Portanto, em condições de solo com pH superior ao pK_a do picloram, este será prontamente dissociado e sua capacidade de retenção no solo será menor (Silva et al., 2007).

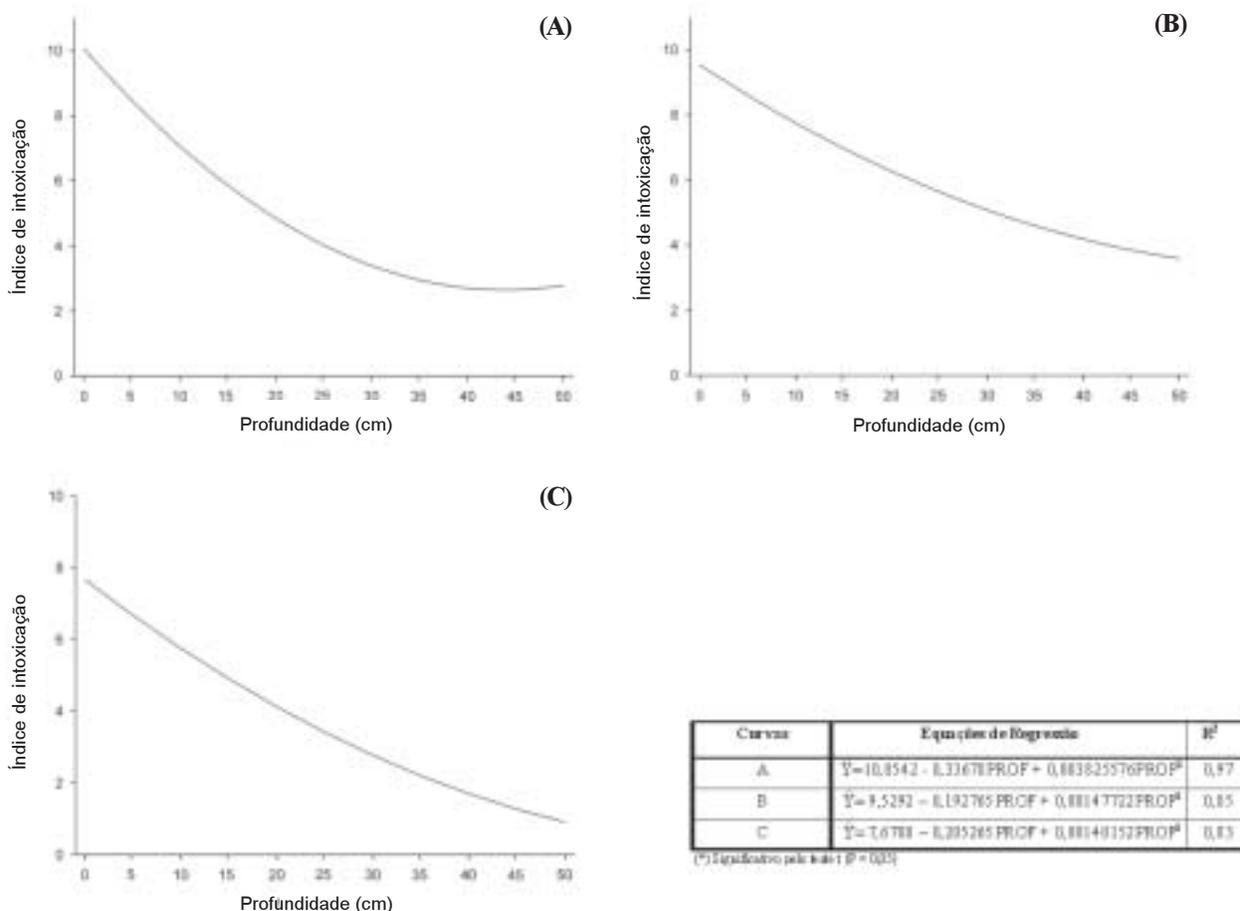


Figura 3 - Intoxicação em plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9) tratadas com picloram e simulações de chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.



Quando se avaliou a lixiviação do herbicida no solo tomando-se como base o acúmulo de matéria fresca produzida pelas plantas indicadoras cultivadas ao longo das colunas, verificaram-se efeitos semelhantes aos resultados da avaliação do índice de intoxicação das plantas. Observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) da intensidade de chuva simulada sobre o crescimento das plantas de pepino (Figuras 4 e 5). Entretanto, no Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,1 ocorreu desenvolvimento insatisfatório das plantas indicadoras. Dessa forma, nesta condição de pH, a matéria fresca das plantas indicadoras não pôde ser considerada para avaliar os efeitos dos tratamentos. Entretanto, quando se avaliou a lixiviação do picloram no Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), observou-se que esse herbicida se distribuiu ao longo das colunas para todos os níveis de precipitações pluviais aplicados

(Figura 4A, B, C). Neste solo, a produção de biomassa da planta indicadora foi sempre menor quando cultivada nas colunas tratadas com picloram, em comparação com aquelas não tratadas. Por ser o picloram considerado muito móvel no solo (Bovey & Richardson, 1991), a sua lixiviação no tratamento de 40 mm de chuva causou decréscimo no acúmulo de biomassa das plantas de pepino em toda a extensão das colunas. Observou-se, também, o acúmulo do produto na parte inferior da coluna, onde as plantas acumularam 60% menos matéria fresca em comparação aos solos não tratados com picloram. Verificou-se que o crescimento das plantas de pepino nos tratamentos com simulação de chuva de 80 e 120 mm, em Argissolo Vermelho-Amarelo, com aplicação de picloram, foi praticamente idêntico (Figura 4B, C). A partir dos 5 cm de profundidade das colunas, o crescimento das plantas

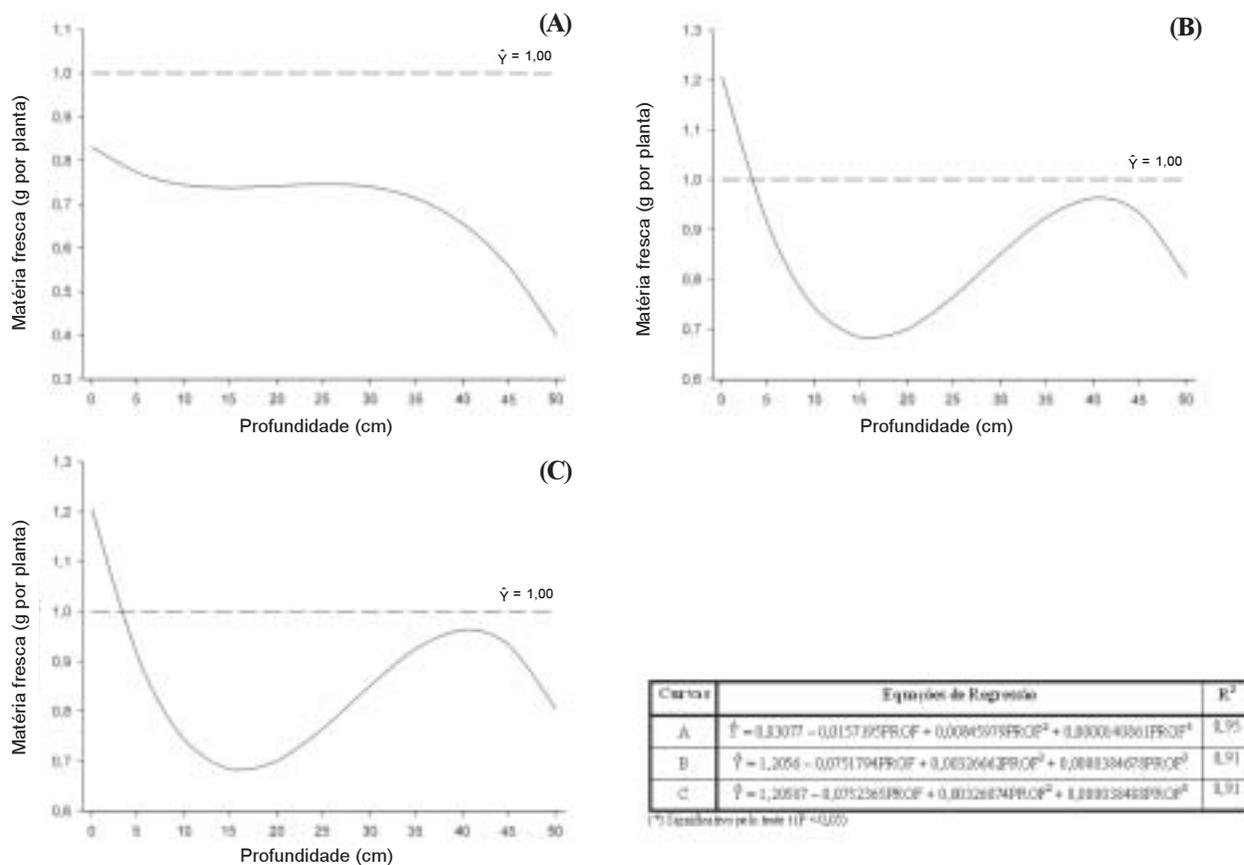


Figura 4 - Matéria fresca de plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,9) tratadas com picloram e simulações de chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.



foi sempre menor em comparação ao das colunas com solo sem herbicida. No entanto, parece ter havido acúmulo de picloram aos 15 e 50 cm de profundidade, pois o crescimento foi 32 e 20% menor, respectivamente. De qualquer modo, o herbicida foi lixiviado por toda a extensão das colunas preenchidas com o Argissolo Vermelho-Amarelo, nas simulações de 40, 80 e 120 mm de chuva.

Na Figura 5A, B, C é representada a produção de biomassa de plantas de pepino cultivadas em colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,9) tratado com picloram após simulações de chuvas de 40, 80 e 120 mm. Verifica-se, para este solo, a lixiviação do picloram na camada de 0 a 5 cm quando submetido a precipitações pluviais de 40 e 80 mm. Isso pode ser explicado pelo fato de esse solo apresentar baixo teor de matéria

orgânica e pH do solo muito acima do pKa do picloram (Tabela 1). Nessa condição, segundo Neary et al. (1979) e Tu et al. (2001), herbicidas de caráter ácido são pouco sorvidos no solo e, por isso, estão facilmente sujeitos à lixiviação.

Não houve interação significativa entre as simulações de chuvas e as profundidades e entre solos e profundidades das colunas no acúmulo de matéria seca pelas plantas de pepino, quando cultivadas em presença de resíduos de picloram. Contudo, houve efeito significativo ($P < 0,05$) no acúmulo de matéria seca pelas plantas de pepino na interação chuva-solo. Observa-se, na Tabela 3, que as plantas de pepino oriundas das colunas preenchidas com o Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,1), nas simulações de chuva de 40, 80 e 120 mm, produziram menor quantidade de matéria seca que as demais. Esse

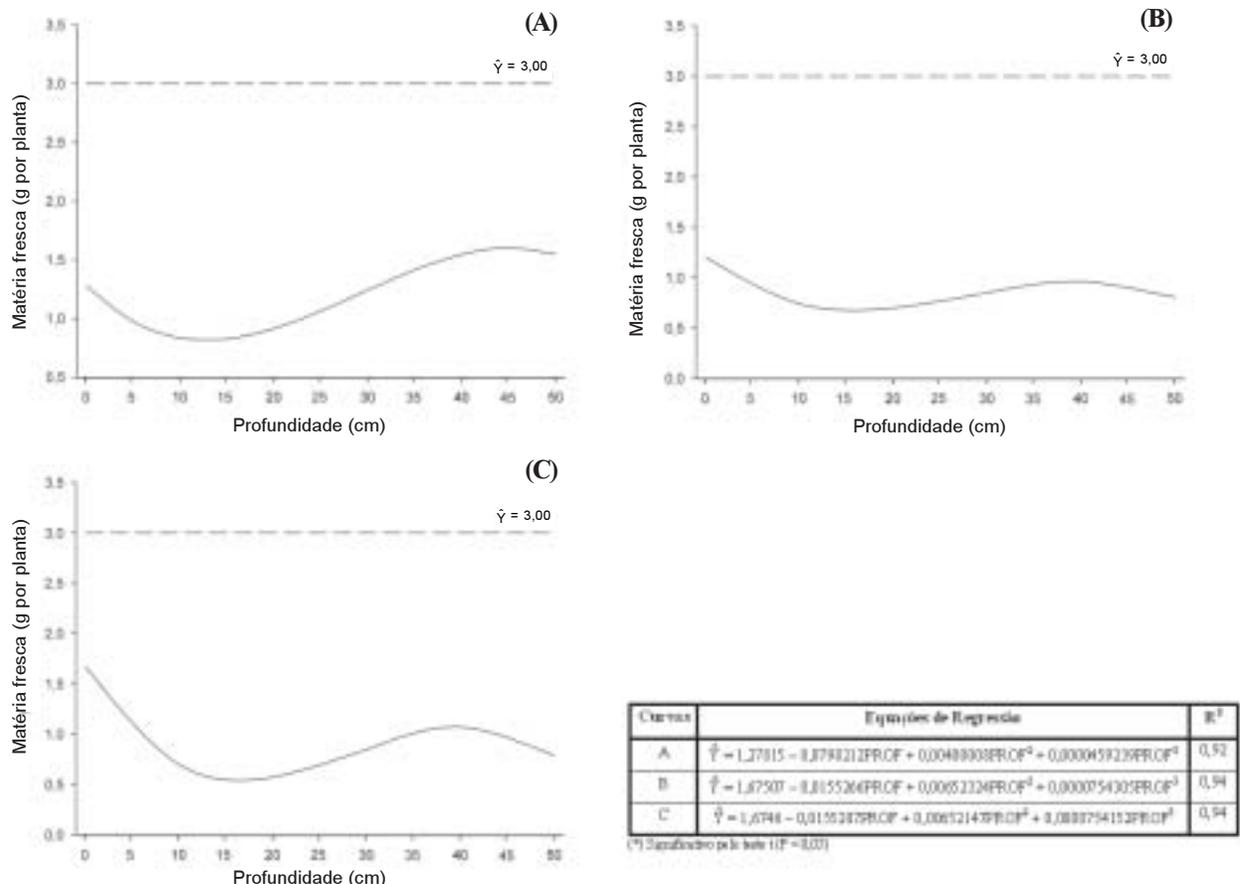


Figura 5 - Matéria fresca de plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), tratadas com picloram e simulações de chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.



comportamento pode ser atribuído à inadaptabilidade de a planta indicadora crescer nessa faixa de pH.

A altura das plantas de pepino, quando do desdobramento da interação chuva versus solo, teve comportamento semelhante ao do acúmulo de matéria seca. As plantas de pepino, quando cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,1, tratado com picloram, apresentaram-se com menor altura quando comparadas às cultivadas nos solos 2 e 3. Todavia, observa-se maior altura das plantas de pepino cultivadas nas colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,9 tratado com picloram, na simulação de 40 mm de chuvas, comparadas àquelas cultivadas no Argissolo Vermelho-Amarelo com pH 5,9. No entanto, comparando-se a altura de plantas cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,9 com aquelas cultivadas

Tabela 3 - Massa seca e altura de plantas de pepino cultivadas em colunas, sem distinção de profundidades, preenchidas com amostras de solos tratados com picloram e simulações de chuvas de 40, 80 e 120 mm. Viçosa-MG. 2007

| Intensidade de chuva (mm) | Tipo de Solo | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|
| | Latossolo Vermelho -Amarelo | | Argissolo Vermelho -Amarelo |
| | pH 4,1 | pH 4,9 | pH 5,9 |
| Massa seca (g por planta) | | | |
| 40 mm | 0,51b | 1,00a | 0,93a |
| 80 mm | 0,60b | 0,88a | 0,88a |
| 120 mm | 0,50b | 0,88a | 0,83a |
| CV(%) | 53,90 | | |
| Altura de planta (cm) | | | |
| 40 mm | 2,82c | 8,18a | 6,66b |
| 80 mm | 3,27b | 7,41a | 7,16a |
| 120 mm | 2,75b | 7,09a | 5,85a |
| CV(%) | 13,72 | | |

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

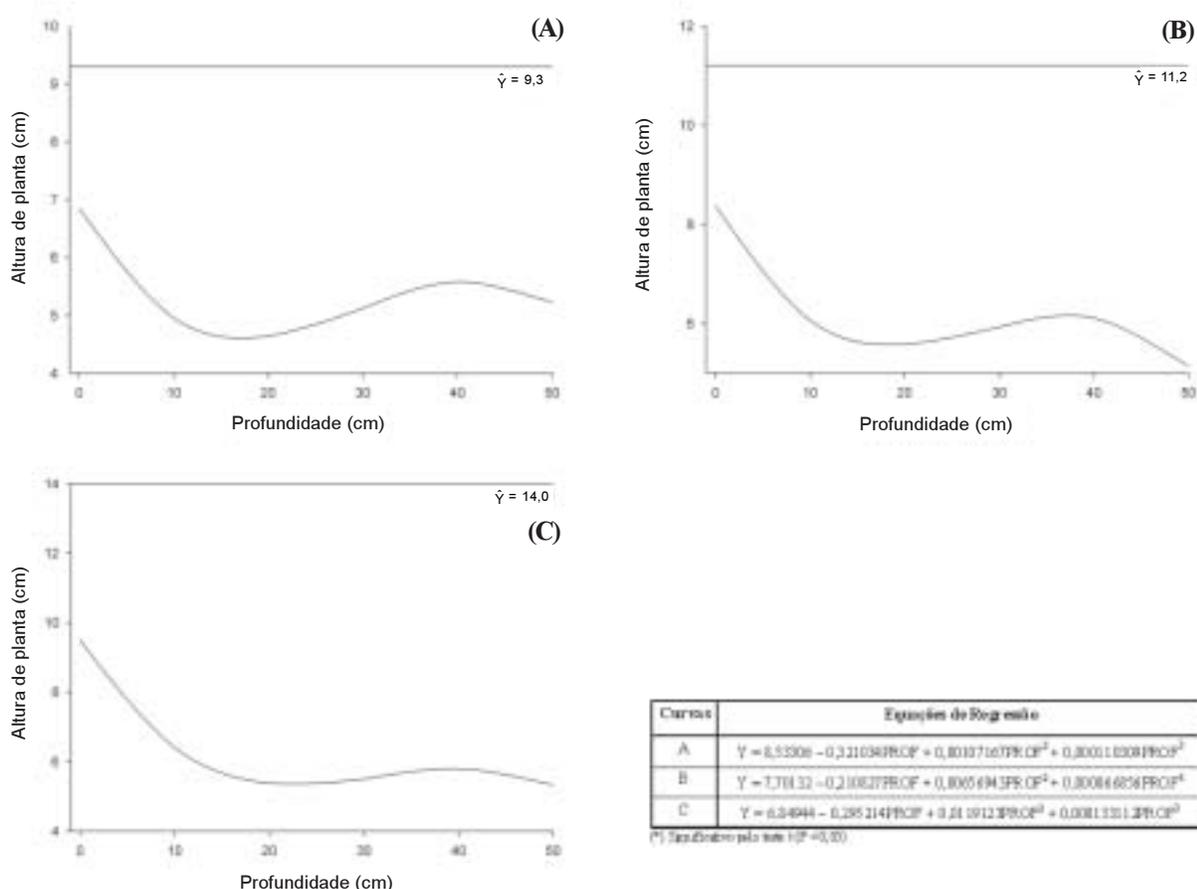


Figura 6 - Altura de plantas de pepino em função de diferentes profundidades, em colunas de solo tratadas com picloram e submetidas a simulações de chuvas de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm. Viçosa-MG. 2007.



no Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,1, verificou-se maior altura das plantas na simulação de 40 mm de chuva. Provavelmente, o volume de 40 mm de chuva não foi capaz de lixiviar quantidade significativa de picloram para as camadas de maior profundidade das colunas preenchidas com o Latossolo Vermelho-Amarelo, com pH 4,9, ficando o herbicida mais retido no início desta (Tabela 3) (Rossi et al., 2003, 2005).

Quando se avalia a altura de plantas nas diferentes profundidades das colunas, verifica-se ausência de similaridade nas curvas de crescimento obtidas (Figura 6A, B, C). Esses resultados corroboram a lixiviação do picloram nos três tipos de solos em estudo, pois a altura das plantas foi sempre menor ao longo das colunas tratadas com o herbicida, em relação aos solos não-tratados. No entanto, os resultados obtidos para acúmulo de matéria fresca, matéria seca e altura de planta das plantas indicadoras na condução do trabalho mostraram variação e inconsistência. Segundo Thill (2003), os herbicidas auxínicos podem causar diferentes efeitos nas plantas em função da quantidade absorvida. Dessa forma, é prudente considerar apenas os resultados dos índices de intoxicação das plantas, pois estes mostraram bom ajuste matemático e representaram com clareza o fenômeno biológico.

Pode-se afirmar que o picloram apresentou alto potencial de lixiviação nos três tipos de solos utilizados no ensaio e que o pH dos solos foi determinante na sua movimentação. Contudo, analisando as características químicas e físicas dos solos (Tabela 1), verifica-se que o índice de lixiviação do picloram foi menos influenciado pelo pH quando os níveis de matéria orgânica dos solos estavam mais elevados, resultados estes semelhantes aos observados por Hang et al. (1996).

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, M. A. et al. Mineralização e sorção de atrazina em Latossolo Roxo sob cultivo convencional e plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, n. 1, p. 179-188, 2001.

BERISFORD, Y. C. et al. Leaching and persistence of herbicides for kudzu (*Pueraria montana*) control on pine regeneration sites. **Weed Sci.**, v. 54, n. 2, p. 391-400, 2006.

BOVEY, R. W. et al. Soil persistence of tebuthiuron in the Claypan Resource Area of Texas. **Weed Sci.**, v. 30, n. 2, p. 140-144, 1982.

BOVEY, R. W.; RICHARDSON, C. W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the blacklands of Texas. **J. Environ. Qual.**, v. 20, n. 3, p. 528-531, 1991.

CARRIZOSA, M. J. et al. Interactions of acid herbicides bentazon and dicamba with organoclays. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, n. 6, p. 1863-1866, 2004.

COSTA, M. A. et al. Degradação de ametrina em Areia Quartzosa com adição de solo rizosférico de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 1, p. 43-48, 2000.

CLOSE, M. E. et al. Field study of pesticide leaching in an allophonic soil in New Zealand. 1: Experimental results. **Austr. J. Soil Res.**, v. 41, p. 809-824, 2003a.

CLOSE, M. E. et al. Field study of pesticide leaching in an allophonic soil in New Zealand. 1: Experimental results. **Austr. J. Soil Res.**, v. 41, p. 825-846, 2003b.

DORNELAS DE SOUZA, M. et al. Adsorção e lixiviação de tebuthiuron em três tipos de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, n. 4, p. 1053-1061, 2001.

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. 212 p.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL - EWRC. Report of 3 rd and 4 rd meetings of EWRC. Cittee of methods in weed research. **Weed Res.**, v. 4, n. 1, p. 88, 1964.

FUTCH, S. H.; SINGH, M. Herbicide mobility using soil leaching columns. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 62, n. 1, p. 20-29, 1999.

HANG, S. B.; FERREIRO, E. A.; BUSSETTI, S. G. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. **Invest. Agr. Produc. Protec. Vegetales.**, v. 11, n. 2, p. 345-361, 1996.

INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 312-323, 2003.

LANDRY, D. et al. Leaching of oryzalin and diuron through undisturbed vineyard soil columns under outdoor conditions. **Chemosphere**, v. 62, n. 10, p. 1736-1747, 2006.



- MONTEIRO, R. T. R.; ARMAS, E. D.; QUEIROZ, S. C. N. Lixiviação e contaminação do rio Corumbataí por herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., 2008, Ouro Preto. **Palestras...** Sete Lagoas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2008. p. 181-200.
- NEARY, D. G. et al. Low picloram concentrations in streamflow resulting from forest application of tordon – 10K. **Proc., Southern Weed Sci. Soc.**, v. 32, p. 182-197, 1979.
- PANG, L. P. et al. Simulation of picloram, atrazine and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. **J. Contam. Hydrol.**, v. 44, n. 1, p. 19-46, 2000.
- PINHO, A. P. **Retenção de atrazine e picloram no escoamento superficial em zonas ripárias de áreas de silvicultura**. 2005. 113 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- ROCHA, W. S. B. et al. Influência do pH na sorção de imazaquin em um Latossolo Vermelho Acriférrico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 3, p. 649-655, 2000.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: 2005. 591 p.
- ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 111-120, 2003.
- ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.
- SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 391-398, 2006.
- SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 83-148.
- SINGH, N. Organic manure and urea effect on metolachlor transport through packed soil columns. **J. Environ. Qual.**, v. 32, p. 1743-1749, 2003.
- THILL, D. Growth regulator herbicides. In: WELLER, S. C. et al. **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 267-291.
- TU, M. et al. **Weed control methods handbook**; the nature conservancy. Abril de 2001. Disponível em: <<http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/18.Picloram.pdf>>; Acesso em: 22 jun. 2008.
- van WYK, L. J.; REINHARDT, C. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Technol.**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.
- VIEIRA, E. M. et al. Estudo da sorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 305-308, 1999.

