

LEONARDO D'ANTONINO

**COMPORTAMENTO NO SOLO E TOLERÂNCIA DE CULTURAS A  
HERBICIDAS AUXÍNICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,  
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A635c  
2008

Antonino, Leonardo d', 1964-

Comportamento no solo e tolerância de culturas a herbicidas auxínicos / Leonardo d'Antonino. – Viçosa, MG, 2008.

x, 59f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Antonio Alberto da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Persistência. 2. Fitorremediação. 3. Solos - Lixiviação. 4. Fitotecnia. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

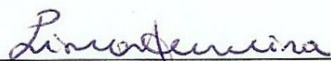
CDD 22.ed. 632.954

LEONARDO D'ANTONINO

**COMPORTAMENTO NO SOLO E TOLERÂNCIA DE CULTURAS A  
HERBICIDAS AUXÍNICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,  
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

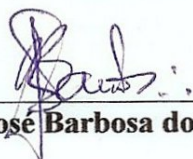
APROVADA: 10 de julho de 2008.



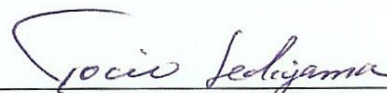
**Prof. Lino Roberto Ferreira**  
(Co-Orientador)



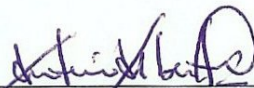
**Prof. Paulo Roberto Cecon**  
(Co-Orientador)



**Prof. José Barbosa dos Santos**



**Prof. Tocio Sedyama**



**Prof. Antonio Alberto da Silva**  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e força para conclusão de mais uma etapa.

Aos meus pais, Vincenzo d'Antonino e Olinda Marins d'Antonino (*in memoriam*), pelo apoio incondicional, quando presentes e dedicação durante toda a minha vida. Sempre apontando os caminhos corretos, por mais que pareçam distantes.

À minha esposa Gláucia e aos meus filhos Ana Vitória e Leonardo Filho, pelo apoio, carinho e dedicação.

Às minhas irmã Lêda e sobrinha Lílian, pelo apoio, carinho e alegria.

A todos os familiares e os amigos conterrâneos, pelo carinho, incentivo, amizade e pelas palavras de conforto nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade ímpar concedida para a realização desse curso.

Ao Prof. Antonio Alberto da Silva, pela amizade, confiança, compreensão, dedicação, força, orientação e apoio, sempre aperfeiçoando esse trabalho.

Ao Prof. Lino Roberto Ferreira, pela co-orientação, amizade, confiança, força e sugestões imprescindíveis para a execução e conclusão desse trabalho.

Ao Co-orientador Professor Paulo Roberto Cecon, pela atenção, disponibilidade de tempo e amizade. Pelas sugestões e críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Ao Professor Tocio Sedyama, pela atenção, amizade e presença na hora certa. Pelas sugestões e críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Ao Professor José Barbosa dos Santos, pela amizade e companheirismo. Pelas sugestões e críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola da CPD/UFV José Mário Braga Filho, pela amizade e disponibilidade na manipulação dos dados.

Ao Técnico Agrícola Luís Henrique Lopes de Freitas, pela amizade, companheirismo e sempre disponibilidade na montagem de experimentos.

Ao colega de pós-graduação Germani Concenço, pela amizade e sempre disponibilidade na correção dos textos em inglês.

Aos amigos do Laboratório de Herbicida no Solo, Edson dos Santos, Marco Antônio, e André Cabral França, pela amizade inestimável, pelos momentos alegres proporcionados e pelo imprescindível auxílio na execução desse trabalho.

Aos estagiários André Quirino, Gustavo Rodrigues e Rafael Felipe, pela amizade, companheirismo e disponibilidade nas tarefas a eles destinadas.

A todos os amigos integrantes da Equipe Planta Daninha desta Universidade, pela brilhante convivência, os quais direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

E, finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA**

LEONARDO D'ANTONINO, casado com Gláucia Coutinho Ramos d'Antonino, filho de Vincenzo d'Antonino e Olinda Martins d'Antonino, nasceu na cidade de Viçosa, Minas Gerais, em 25 de fevereiro de 1964.

Em dezembro de 1987, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia em agosto de 1988, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 31 de outubro de 1991.

Em agosto de 2004, iniciou o curso de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 10 de julho de 2008.

## ÍNDICE

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	11
2. LITERATURA CITADA .....	16
3. EFEITOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS NA PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS AUXÍNICOS NO SOLO .....	20
3.1. RESUMO .....	20
3.2. ABSTRACT .....	22
3.3. INTRODUÇÃO .....	23
3.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
3.6. LITERATURA CITADA .....	31
4. LIXIVIAÇÃO DO PICLORAM EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES VALORES DE pH ..	36
4.1. RESUMO .....	36
4.2. ABSTRACT .....	37
4.3. INTRODUÇÃO .....	38
4.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	40

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.5. LITERATURA CITADA.....	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

## RESUMO

D'ANTONINO, Leonardo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008.

**Comportamento no solo e tolerância de culturas a herbicidas auxínicos.**

Orientador: Antonio Alberto da Silva. Co-Orientadores: Lino Roberto Ferreira e Paulo Roberto Cecon.

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a tolerância das culturas de milho e sorgo aos herbicidas picloram e 2,4-D, os efeitos dessas culturas e das plantas daninhas na persistência desses herbicidas no solo e, também, a lixiviação do picloram em Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), com diferentes valores de pH. No primeiro ensaio, avaliou-se a tolerância do milho e do sorgo ao 2,4-D e picloram em condições de campo. Para avaliação da tolerância do milho e sorgo, coletaram-se plantas dessas culturas ao longo do tempo, após a aplicação dos tratamentos, para a determinação das respectivas curvas de crescimento. No segundo experimento, avaliou-se o efeito dessas culturas e das plantas daninhas na persistência desses herbicidas no solo. Este ensaio foi realizado em casa de vegetação, cultivando-se o pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora em vasos, contendo amostras de solo coletadas no experimento de campo em diferentes períodos após aplicação dos herbicidas. No terceiro ensaio, foi avaliada a lixiviação do picloram em um Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. Para isso, foram preenchidas colunas de PVC de 50 cm com estes solos, aplicado sobre as mesmas  $160 \text{ g ha}^{-1}$  de picloram e simuladas chuvas de 40, 80 e 120 mm. Após 72 horas, fez-se a abertura lateral das colunas e semeou-se ao longo dessas o *Cucumis sativus* como espécie indicadora. Verificou-se que plantas de milho tiveram seu crescimento afetado pelos herbicidas, acumulando-se menores quantidades de matéria seca, quando cultivadas em solos com resíduos da mistura picloram + 2,4-D, enquanto as de sorgo, mostraram-se mais tolerantes. Quanto ao efeito residual no solo dos herbicidas avaliados, este não foi influenciado pelos tipos de cultivos ou manejos do solo (milho, sorgo ou plantas daninhas). Não se observou sinal de intoxicação nas plantas indicadoras, cultivadas em amostras de solo coletadas nas áreas tratadas com o 2,4-D na avaliação realizada a partir dos 42 DAA. Todavia, nas plantas cultivadas em amostras de solo, coletadas nas parcelas que receberam a mistura picloram + 2,4-D, apenas a partir dos 150 DAA, não se observou mais

sintomas de intoxicação das plantas indicadoras por herbicidas. Verificou-se também, 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. O aumento do pH do LVA elevou o índice de lixiviação do picloram no solo.

## ABSTRACT

D'ANTONINO, Leonardo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2008. **Soil behaviour and crops tolerance to auxinic herbicides.** Adviser: Antonio Alberto da Silva. Co-advisers: Lino Roberto Ferreira and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this work was to evaluate the tolerance of corn and sorghum crops to herbicides picloram and 2,4-D, the effects of such crops and spontaneous vegetation in the persistence of these herbicides in the soil, and also the leaching of picloram in Red Yellow Ultisol and Red Yellow Latosol with different levels of pH. In the first test, it was evaluated the tolerance of corn and sorghum to 2,4-D and picloram in field conditions. To assess the tolerance of maize and sorghum, plants were collected over time to determine their respective growth curves. In the second experiment, it was evaluated the effect of these crops and spontaneous plants in the persistence of these herbicides in the soil. This test was conducted in greenhouse, using cucumber (*Cucumis sativus*) as indicator plant in pots containing samples of soil collected in the field experiment in different periods after application of herbicides. In the third test, it was evaluated the leaching of picloram in a Red Yellow Ultisol and a Red Yellow Latosol, with different levels of pH. For that, PVC columns with 50 cm length were filled with soil, being applied on them 160 g ha<sup>-1</sup> of picloram and then simulated rainfall of 40, 80 and 120 mm. After 72 hours, it was made a side opening on the columns and *Cucumis sativus* was planted along it, as an indicator species. It was found that maize plants had their growth affected by herbicides and accumulated smaller quantities of dry matter when grown in soil with picloram + 2,4-D residues, while sorghum plants were tolerant. As for the residual effect of the evaluated herbicides on soil, it was not influenced by the type of crops or soil management (maize, sorghum or spontaneous vegetation). There was no sign of intoxication in the indicator plants grown in soil samples collected in the areas treated with 2,4-D in the evaluation from the 42 DAS. However, in plants grown in soil samples collected in the plots that received the mixture picloram + 2,4-D, only from the 150 DAS there were no more symptoms of picloram intoxication on the indicator plants. It was also verified that picloram showed high leaching rate in all soils and that its movement in the soil profile was influenced by the volume of simulated rain, by the soil pH and also by other soil characteristics.

Increasing the pH of the Red Yellow Latosol raised the leaching index of picloram in the soil.

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

Os trópicos, antes mundialmente considerados inóspitos à exploração agropecuária, passam, hoje, a exibir vantagens comparativas inquestionáveis. A radiação solar e a temperatura média adequadas durante todo o ano são as principais virtudes naturais ímpares nesse ambiente (Kluthcouski et al, 2006). A globalização da economia, com a conseqüente abertura internacional dos mercados, tem levado o agronegócio brasileiro a níveis de eficiência, de competitividade e de utilização dos recursos naturais cada vez maiores. Nesse setor, a pecuária tem se tornado cada vez mais uma atividade empresarial, afastando-se do modelo extrativista, representado pela pecuária extensiva (Pineda; Rocha, 2002). Todavia, um dos grandes desafios agrônômicos da atualidade é recuperação de áreas já degradadas em conseqüência do manejo inadequado do solo por várias décadas de exploração. Estimam-se mais de 40 milhões de hectares de pastagens degradadas só nos Cerrados (Kluthcouski et al, 2006). Enquanto isto, novas fronteiras são abertas para a agropecuária em ambiente frágeis e pouco sustentáveis, com poucos anos de cultivo. A necessidade de recuperação das áreas já pastejadas não se refere apenas à questão da manutenção ou aumento da produtividade – valores econômicos -, mas também na preservação ambiental, incluindo a sustentabilidade do agroecossistema (Daniel, 2000).

É característico de pastagens degradadas, o déficit hídrico imediatamente após o início do período seco, pois não há manutenção de uma camada de palha

sobre o solo, capaz de reter umidade como na área corretamente cultivada. Além do que, grande parte da área coberta por pastagens degradadas apresenta alta infestação de plantas daninhas, contribuindo, consideravelmente para o baixo rendimento no ganho de peso de bovinos, em consequência da competitividade que as infestantes possuem sobre as espécies vegetais forrageiras (Macedo, 2002). No manejo de plantas daninhas em pastagens, procura-se eliminar os prejuízos por elas causados, resguardando seus aspectos benéficos, sem causar danos às forrageiras, aos animais e ao solo.

Herbicidas são importantes instrumentos de manejo na agricultura, porque são usados em detrimento do controle físico, permitindo a preservação da umidade do solo. Herbicidas têm diversas características biológicas e químicas, tais como o espectro de plantas daninhas controladas, além da variação do seu comportamento no solo (Miller 1998). Além do que, dos métodos de controle disponíveis, o químico é dos mais utilizados pela praticidade e menor custo no controle das plantas daninhas (Silva et al., 2007a). Dentre os herbicidas registrados para pastagem no Brasil, destacam-se o picloram (Padron®), picloram em mistura com 2,4-D (Tordon®, Dontor® e Manejo®) ou em mistura com fluroxypyr (Plenum®) (Rodrigues e Almeida, 2005).

Na maioria das vezes, os agricultores se preocupam apenas com a eficiência do herbicida em eliminar as espécies daninhas. Pouca ou nenhuma importância é dada ao comportamento do herbicida no ambiente, principalmente, seu comportamento no solo. Contudo, é sabido que alguns herbicidas, muito usados em pastagens, apresentam longo período residual no solo, podendo causar danos às culturas subseqüentes, ou às culturas muito sensíveis a resíduos desses produtos, quando se utiliza a matéria orgânica proveniente de áreas tratadas com os mesmos (Silva et al., 2007a). A persistência dessas moléculas no solo pode inviabilizar o estabelecimento da rotação lavoura-pastagem para culturas dicotiledôneas. Além do maior efeito residual no solo, esses herbicidas proporcionam a ocorrência de toxicidade em culturas sensíveis (carryover) plantadas após sua utilização. Existe ainda o impacto ambiental negativo ocasionado pela lixiviação dessas moléculas ou de seus metabólitos para camadas mais profundas no perfil do solo, podendo atingir lençóis subterrâneos (Bovey & Richardson, 1991; Pang et al., 2000; Close et al., 2003) e se mover para outros ambientes com provável contaminação de outros ecossistemas.

O movimento de um herbicida no solo depende basicamente das interações entre a sua estrutura molecular e as características de solo e do manejo ao qual a área é submetida, além dos fatores climáticos (Oliveira Jr. et al., 1999). Como essas substâncias normalmente movem-se a partir da superfície do solo na forma de solução, o entendimento dos mecanismos que influenciam as interações de retenção é fundamental para entender o comportamento dessas substâncias no solo (Oliveira Jr. 1998). Ao atingirem o solo, inicia-se o processo de redistribuição e degradação dos herbicidas aplicados, o qual pode ser extremamente curto, como o que ocorre para algumas moléculas simples e não-persistentes, ou perdurar por meses ou anos para compostos altamente persistentes como o picloram. O seu tempo de permanência no ambiente depende, entre outros fatores, da capacidade de sorção do solo, da dinâmica do fluxo hídrico e do transporte de solutos, além da sua taxa de degradação, a qual está relacionada à atividade microbiológica, biodisponibilidade e recalcitrância do herbicida (Silva et al., 2007b).

As moléculas dos herbicidas, quando em contato com o solo, estão sujeitas aos processos de movimento, retenção, transporte e transformação, o que resulta na dissipação destas. Entretanto, o processo de retenção constitui-se num dos processos mais importantes para prever a movimentação dos herbicidas no solo e sua taxa de degradação, bem como, conhecer qual a eficiência quando estes forem aplicados para o controle de plantas daninhas. A somatória sem distinção entre os processos específicos de adsorção, absorção e precipitação refere-se a um processo geral denominado sorção. O processo individual de sorção é profundamente complexo, em virtude da heterogeneidade do solo e da sua continuidade com sistemas biológicos, atmosféricos e aquáticos. A avaliação da sorção é feita normalmente por meio da estimativa de coeficientes, denominados coeficientes de partição, coeficientes de partição solo-água, coeficientes de sorção ou constantes de adsorção. O termo coeficiente de sorção ( $K_d$ ) denomina a relação entre as concentrações do herbicida em solução e aquelas sorvidas ao solo. O  $K_d$  representa a relação entre a concentração do herbicida que permanece sorvido ao solo  $C_s$  ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e a concentração do herbicida encontrada na solução do solo em equilíbrio  $C_w$  ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ), para uma determinada quantidade específica do herbicida adicionado. No entanto, como o teor de carbono orgânico, aparentemente, tem representado melhor a capacidade adsortiva dos herbicidas nos solos,

principalmente para os compostos de caráter básico ou não-iônicos (Karickhoff, 1981; Oliveira Jr. et al., 1999), tem-se corrigido o  $K_d$  em relação ao teor de carbono orgânico do solo. A partir dessa normalização do  $K_d$  obtêm-se o  $K_{oc}$ , o qual permite a comparação da sorção entre diferentes solos e é um índice muito utilizado em métodos de classificação de mobilidade e em modelos de simulação do comportamento de pesticidas no solo (Silva et al., 2007b).

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. No entanto, pouco se sabe a respeito do comportamento desses xenobióticos em solos tropicais (Inoue et al., 2003). A correlação entre as características inerentes a esses solos, como a presença de cargas dependentes de pH, a predominância de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, a grande importância da matéria orgânica na CTC total do solo e o destino de herbicidas no ambiente é escassamente abordada em trabalhos publicados até o momento. Algumas evidências indicam que esses fatores podem ser de grande relevância no que se referem aos principais mecanismos que controlam o destino final dessas moléculas no solo (Costa et al., 2000; Rocha et al., 2000; Albuquerque et al., 2001).

Uma possibilidade de recuperação de áreas que apresentam resíduos de herbicidas consiste no cultivo de espécies vegetais capazes de absorver e degradar esses produtos no solo, eliminando seu efeito 'carryover'. Essa técnica, conhecida como fitorremediação, tem sido confirmada a sua eficiência por diversas pesquisas realizadas no Brasil (Procópio et al., 2004; Pires et al., 2005; Santos et al., 2004), e em outros países (Pilon-Smits, 2005), apresentando-se como alternativa agrônômica para sistemas de cultivo que necessitam remover herbicidas de alta persistência no solo, como é o picloram.

O ácido 4-amino 3,5,6 triclora-2-piridinacarboxílico, picloram, é um produto extremamente ativo sobre dicotiledôneas, sendo muito utilizado em misturas com o 2,4-D e, também com fluroxypyr, para controlar arbustos e árvores. É fracamente adsorvido pela matéria orgânica ou argila. Apresenta longa persistência (meia-vida de 20 a 300 dias) e fácil mobilidade no solo, podendo se acumular no lençol freático raso, em solos de textura arenosa. Também, em razão

de sua longa persistência no solo (dois a três anos), pode permanecer ativo na matéria orgânica proveniente de pastagens tratadas com este produto (Rodrigues; Almeida, 2005).

Para que atue na fitodegradação ou fitotransformação de herbicidas e outros poluentes orgânicos, a característica desejável mais importante às espécies fitorremediadoras, excluindo-se a tolerância que obviamente devem existir, parece ser a capacidade de absorção e de metabolização (Burken; Schnoor, 1996; Kvesitadze et al., 2001). Promovendo a absorção, ou seja, a retirada de quantidades que resultem em níveis aceitáveis no solo, com posterior fitotransformação, resultando em sua mineralização, o que geralmente ocorre em pequena porcentagem (Newman et al., 1997), ou na formação de metabólitos não-tóxicos ou menos tóxicos que a molécula original, assegura-se a eficiência do processo de remediação. Isso se torna ainda mais importante, quando se pensa na utilização da fitorremediação em sistemas agrícolas que envolvam sucessão/rotação de culturas essenciais na integração lavoura-pecuária.

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a tolerância de culturas gramíneas a herbicidas auxínicos, o efeito dessas culturas e de plantas daninhas na persistência desses herbicidas no solo e, também, a lixiviação do picloram em um Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH, com o intuito de verificar o comportamento dos mesmos no ambiente.

## 2. LITERATURA CITADA

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

BOVEY, R.W.; RICHARDSON, C.W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the blacklands of Texas. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, p.528-531. 1991.

BURKEN, J. G.; SCHNOOR, J. L. Phytoremediation: plant uptake of atrazine and role of root exudates. **Journal Environmental Engineering**, v. 122, p. 958-963, 1996.

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

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

DANIEL, O. Definição de indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais, Viçosa:UFV, 2000. 112p. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

KARICKHOFF, S. W. Semi-empirical estimation of hydrophobic pollutants on natural sediments and soils. **Chemosphere**, v. 10, n. 8, p. 833-846, 1981.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. Cobertura de solo em integração lavoura-pecuária. IN: V SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 5, 2006. **Anais...**Viçosa, UFV, DZO, 2006. p. 81-156.

KVESITADZE, G. et al. Some aspects of the enzymatic basis of phytoremediation. **Journal of Biological Physics and Chemistry**. V. 1, p. 49-57, 2001.

MACEDO, M. C. M. Degradação, renovação e recuperação de pastagens cultivadas: Ênfase sobre a região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: 2002, p. 85-108.

MILLER, P.; WESTRA, P. Herbicide Behavior in Soils; bioagricultural sciences and pest management. Colorado State University post-doctoral research fellow. Novembro de 1998. < <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00562.html>> Acesso em 26 de junho de 2008.

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

OLIVEIRA JR., R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides in Brazilian soils. In: WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA MEETING, 39., 1999, San Diego-CA. **Abstracts...** Lawrence: WSSA, 1999. p. 47.

PANG, L.P. et al. Simulation of picloram, atrazine and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 44, p.19-46. 2000.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, v.56, p.15-39, 2005.

PINEDA, N. R.; ROCHA, J. C. N. C. Estratégias de marketing e alianças mercadológicas na cadeia produtiva da carne bovina. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2002, Viçosa. Anais.... Viçosa, MG: SBZ, 2002. p. 1-22.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v.23, p.711-717, 2005.

PROCOPIO, S.O. et al . Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, 2004.

ROCHA, W.S.B. et al. Influência do pH na sorção de imazaquin em um Latossolo Vermelho Acriférrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 649-655, 2000.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 5.ed. Londrina, PR: Grafmarke, 2005. 591 p.

SANTOS, J.B. et al . Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, 2004.

SILVA, A.A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007a. Cap.3, p. 83-148.

SILVA, A.A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007b. Cap.5, p. 189-248.

SILVA, L.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, J.B.; BELO, A.F.; SILVA, A.A. Seleção de espécies tolerantes aos herbicidas triclopyr e 2,4-D + picloram. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25. **Anais...** Brasília, DF, 2006. p.230.

### **3. EFEITOS DE SISTEMAS DE CULTIVOS NA PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS AUXÍNICOS NO SOLO**

**Effects of cultivation systems on the persistence of auxinic herbicides in soil**

#### **3.1. RESUMO**

Objetivou-se com este trabalho, desenvolver técnicas para reduzir no solo, a persistência de herbicidas utilizados em pastagens, visando implantar o sistema de integração lavoura-pecuária e culturas subseqüentes. Para isso, foram realizados experimentos em condições de campo e casa de vegetação. No primeiro, em condições de campo, avaliou-se a tolerância das culturas de milho e do sorgo aos herbicidas picloram + 2,4-D e 2,4-D aplicados nas doses comerciais recomendadas pelo fabricante. No segundo experimento, realizado em casa de vegetação, avaliou-se o efeito residual desses herbicidas em diferentes condições de manejo da área. Para isso, foram avaliados nove tratamentos, sendo nas parcelas avaliadas os tipos de cultivos (solo sem cultivo, cultivado com milho e cultivado com sorgo) e nas subparcelas as condições de manejo (plantas daninhas

controladas por capinas manuais, controladas com 2,4-D e controladas com a mistura picloram + 2,4-D). O experimento em condições de campo foi realizado no município de Viçosa - MG na época quente e úmida, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições em um Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) de média fertilidade. Para a realização do segundo experimento, em condições de casa de vegetação, utilizou-se amostras de solo coletadas em todas as subparcelas do primeiro experimento, em diferentes períodos após a aplicação dos herbicidas (1, 42, 125 e 170 DAA). Neste trabalho, avaliou-se a persistência no solo dos herbicidas nos diferentes tratamentos, visando indentificar a capacidade remediadora das culturas de milho e sorgo em comparação com o solo sem cultivo. Verificou-se que plantas de milho tiveram seu crescimento afetado pelos herbicidas, acumulando-se menores quantidades de matéria seca quando cultivadas em solos com resíduos da mistura picloram + 2,4-D, enquanto as de sorgo mostraram-se tolerantes. Quanto ao efeito residual no solo dos herbicidas avaliados, este não foi influenciado pelos tipos de cultivos ou manejos do solo (milho, sorgo ou solo nú). Não se observou sinal de intoxicação nas plantas indicadoras cultivadas em amostras de solo, coletadas nas áreas tratadas com o 2,4-D na avaliação realizada a partir dos 42 DAA. No entanto, nas plantas cultivadas em amostras de solo coletadas nas parcelas que receberam a mistura picloram + 2,4-D, apenas a partir dos 150 DAA, não se observou mais sintomas de intoxicação das plantas indicadoras pelo picloram.

**Palavras-chave:** fitorremediação, picloram, solo, culturas sucessivas, 2,4-D.

### 3.2. ABSTRACT

The objective of this work was to develop techniques to reduce in soil, the persistence of herbicides used in pastures, in order to make viable the crop-breeding system integration and subsequent crops. For this, experiments were performed under greenhouse and field conditions. The first one, under field conditions, aimed to evaluate the tolerance of maize and sorghum crops to herbicides (picloram + 2,4-D) and 2,4-D applied in commercial recommended rates. In the second experiment, conducted under greenhouse, the residual effect of these herbicides in different management conditions of the area was evaluated.

For that, nine treatments were assessed, being the main plots composed by the crops (without soil cultivation, with corn grown and grown with sorghum) and the subplots by the management (weeds controlled by manual cultivation, with 2,4-D, or with a mixture picloram + 2,4-D). The experiment in field conditions was installed in Viçosa - MG in hot and humid season in the completely randomized blocks design with four replications. The soil was a sandy clay loam with median fertility. For the implementation of the second experiment under greenhouse conditions, samples of soil collected at different times after herbicides application (1, 42, 125 and 170 DAA) in all subplots of the first experiment were used. In this study, the persistence of herbicides in the soil at each treatment was evaluated, in order to identify the soil remediation ability by crops of maize and sorghum compared with the bare soil. It was found that growth of corn plants was affected by herbicides and accumulated lesser amount of dry mass when grown in soil with residues of picloram + 2,4-D mixture, while sorghum were tolerant. The residual effect in soil of herbicides evaluated was not influenced by the crop species or soil management (maize, sorghum or bare soil). There was not any sign of poisoning in the indicative plants grown in soil samples collected in the areas treated with 2,4-D in the evaluation conducted 42 DAA. However, plants grown in soil samples that received the mixture picloram + 2,4-D, showed no intoxication symptoms only after 150 DAA.

**Key-words:** phytoremediation, picloram, soil, successive crops.

### 3.3. INTRODUÇÃO

Na busca de um manejo mais racional do solo surgiram nos últimos anos sistemas agrícolas, integrando lavoura e pecuária, procurando maximizar o uso da terra e o rendimento das culturas (Macedo, 2002; Kluthcousky; Aidar, 2003). Todavia, um dos grandes problemas que dificultam adoção desta tecnologia para as diversas culturas, refere-se ao efeito residual no solo de herbicidas utilizados na formação e manutenção das pastagens. Notadamente, a utilização desses produtos tem contribuído de maneira substancial para a expansão e o desenvolvimento da agricultura brasileira (Inoue et al., 2002). Na formação ou renovação de pastagens no sistema convencional o solo é preparado com aração e gradagens e raramente

se utilizam corretivos e fertilizantes, mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade. Além disso, no controle das plantas daninhas normalmente são utilizados herbicidas de longa persistência nos solos. Estes podem causar intoxicação em espécies sensíveis como soja, feijão, algodão e outras dicotiledôneas quando cultivadas em seqüência (Silva et al., 2006). A persistência no solo responsável pela intoxicação de culturas sensíveis semeadas em sucessão a pastagem (*carryover*) pode variar de alguns meses a mais de três anos, dependendo do produto, do solo e do clima (Bovey et al., 1982). Além do *carryover*, existe ainda a contaminação ambiental ocasionada pela lixiviação de moléculas originais dos herbicidas ou de seus metabólitos para camadas mais profundas no perfil do solo, podendo atingir aquíferos subterrâneos (Dornelas de Souza et al., 2001). Além disso, há a possibilidade da molécula herbicida permanecer ativa na matéria orgânica proveniente de pastagens tratadas. Este material, quando utilizado como adubo orgânico pode causar intoxicação em culturas sensíveis (Rodrigues; Almeida, 2005).

O 2,4-D e a mistura picloram + 2,4-D, herbicidas registrados para pastagens no Brasil, são compostos extremamente ativos sobre dicotiledôneas além de serem fracamente adsorvidos pela matéria orgânica ou argila. Particularmente, o picloram, apresenta longa persistência no ambiente, com meia-vida de 20 a 300 dias (Silva et al., 2007), podendo ser encontrado no solo até três anos após sua aplicação em área total (Deubert; Corte-Real, 1986; Santos et al., 2006).

Buscando alternativas para utilização de áreas agrícolas com a presença de compostos persistentes no solo e fitotóxicos para culturas dicotiledôneas, tem-se pesquisado com maior ênfase nos últimos anos o emprego da fitorremediação. Esta técnica utiliza-se de espécies vegetais capazes de remover e ou degradar xenobióticos no solo (Pires et al., 2001), e, conseqüentemente, permitir o cultivo subsequente de espécies sensíveis na área, eliminando o risco de *carryover*. Trabalhos realizados em países de clima temperado têm difundido a utilização de plantas na remediação de pesticidas (Cunningham et al., 1996; Fernandez, et al., 1999; Pilon-Smits, E., 2005). Foi constatada a eficiência de plantas na remediação de herbicidas como atrazine (Anderson et al., 1994; Perkovich et al., 1996; Arthur et al., 2000), simazine (Wilson et al. 2000) e metolachlor (Anderson; Coats, 1995; Rice et al., 1997). No Brasil, diversas pesquisas têm sido conduzidas, mostrando a

viabilidade de se utilizar plantas na remediação dos herbicidas tebuthiuron (Pires et al., 2005 a, b; 2006), trifloxysulfuron-sodium (Procópio et al., 2005 a, b; 2006; e Santos et al., 2004), além do 2,4-D + picloram (Ferreira et al., 2006), identificados como de elevada persistência em áreas agrícolas. Para tebuthiuron e trifloxysulfuron-sodium, as espécies de melhor desempenho foram *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta), *Cannavalia ensiformis* (feijão-de-porco); no caso do 2,4-D + picloram, *Brachiaria brizantha* (marandú) e *Penisetum glaucum* (milheto) mostraram-se promissoras na remediação desse herbicida no solo. Objetivou-se com este trabalho, avaliar a tolerância de culturas gramíneas a herbicidas auxínicos e, também, avaliar o efeito dessas culturas e de plantas espontâneas na persistência desses herbicidas no solo.

### 3.3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho constou de dois experimentos realizados em campo e casa de vegetação em Viçosa – MG, (altitude: 648,74 m; latitude: 20°45'14"S; longitude: 42° 52' 53" W; coordenadas UTM (m): 7.703.630 N e 720.570 E), em Argissolo franco Argilo-Arenoso de baixa fertilidade, caracterizado físico-quimicamente na Tabela 1. No experimento de campo, sem irrigação, as parcelas (480 m<sup>2</sup>) foram constituídas por solo não cultivado, solo cultivado com milho (cultivar AG 2060) e solo cultivado com sorgo (cultivar BR 800), sendo a semeadura realizada em 06/11/2006. As subparcelas (160 m<sup>2</sup>) foram compostas pela mistura dos herbicidas picloram + 2,4-D (256 + 960 g ha<sup>-1</sup>), 2,4-D em aplicação isolada (960 g ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem aplicação de herbicidas a qual foi capinada manualmente aos 30 e 90 dias após o plantio das culturas. Em ambos os experimentos, o delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. O delineamento experimental utilizado na produção final de grãos de milho foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. A adubação constou de 400 Kg ha<sup>-1</sup> da mistura comercial 08-28-16, na época da semeadura, sendo realizada cobertura manual com 50 Kg ha<sup>-1</sup> de uréia, 35 dias após a emergência das plantas. A aplicação dos herbicidas foi realizada em 07/11/2006, utilizando-se de um pulverizador costal manual equipado com dois bicos XR 11002, espaçados de 0,5 metro, com volume de calda de 67 l ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 1** – Composição química e textural do solo utilizado nos experimentos. Viçosa – MG, 2006/2007.

Análise Granulométrica (dag kg <sup>-1</sup> )										
Argila		Silte		Areia Fina		Areia Grossa		Classificação Textural		
<b>25</b>		<b>16</b>		<b>22</b>		<b>37</b>		Franco Argilo Arenosa		
Análise Química										
pH	P	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H + Al	CTC total	V	m	MO
(H <sub>2</sub> O)	(mg dm <sup>-3</sup> )		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				(%)		(dag kg <sup>-1</sup> )	
<b>5,9</b>	<b>5,2</b>	<b>81</b>	<b>0,0</b>	<b>2,8</b>	<b>1,4</b>	<b>2,64</b>	<b>4,41</b>	<b>63</b>	<b>0</b>	<b>2,55</b>

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997).

Visando avaliar tolerância das culturas aos herbicidas foram coletadas plantas de milho aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 e de sorgo, aos 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 e 135 dias após a emergência (DAE) das culturas e determinada a massa seca destas. Para isso, todo material colhido foi secado em estufa de circulação forçada de ar ( $70 \pm 2$  °C) até massa constante e determinada a massa seca em balança analítica eletrônica. Avaliou-se, ainda, a produtividade de grãos do milho por ocasião da colheita da cultura, realizada aos 175 dias após o plantio. Além das colheitas para avaliação da massa seca das plantas de sorgo, aos 45 e 90 dias fez-se o corte de todas as plantas da parcela, a 25 cm de altura do solo, simulando-se o pastejo.

O segundo experimento em casa de vegetação, utilizando-se como substrato amostras de solo coletadas em todas as subparcelas do experimento a campo, na profundidade de 0 a 20 cm, em diferentes períodos após a aplicação dos herbicidas (1, 42, 125 e 170 dias após a aplicação - DAA). Essas amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas; após, foram preenchidos vasos de polietileno de 0,5 dm<sup>3</sup> de capacidade com 350g das mesmas. Em seguida, umedeceu-se o solo dos vasos com água, realizou-se a pesagem e semeou-se o pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora, conforme recomendado por Silva et al (2006). Durante o período de cultivo da planta indicadora, os vasos foram irrigados duas vezes por dia, sendo pesados diariamente para reposição de água, levando-se em consideração o peso obtido após a saturação dos solos. Aos cinco dias após a emergência das plantas, cada vaso foi irrigado com 30 mL de solução contendo 5 g L<sup>-1</sup> de adubo foliar Ouro Verde®. Os tratamentos foram avaliados aos 21 dias após a emergência de acordo com escala de notas de 0 a 100% de intoxicação (EWRC, 1964), em que 0% corresponde à ausência de intoxicação e 100% à

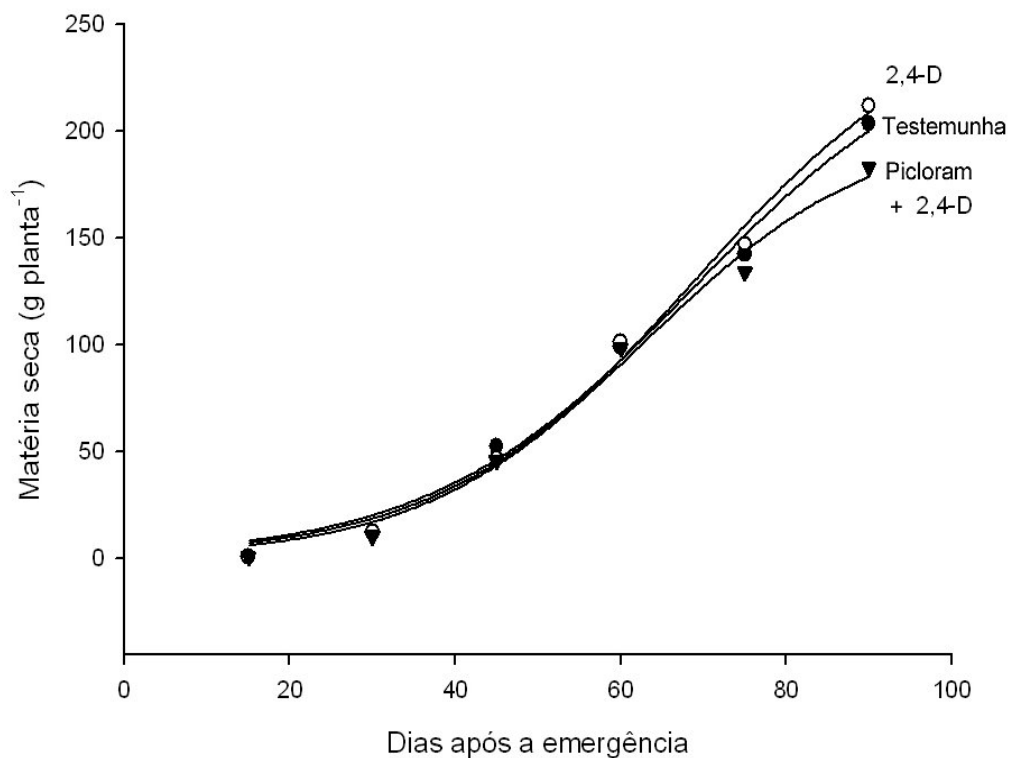
morte da planta. Nessa escala, a nota é atribuída de acordo com os sintomas de intoxicação por planta em relação à testemunha sem herbicida.

Para a interpretação dos resultados, os dados foram submetidos à análise de variância, testes de médias e análises de regressão, sendo o modelo escolhido de acordo com fenômeno biológico, pelo coeficiente de determinação e significância do coeficiente de regressão, adotando-se o nível de significância de 5%. Independentemente da interação datas de coleta versus capina, ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma.

### 3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto aos efeitos dos tratamentos sobre o acúmulo de massa seca de plantas milho e de sorgo no tempo observou-se resultados semelhantes até aos 75 dias. Todavia, na avaliação realizada aos 90 dias, verificou-se que a aplicação de picloram + 2,4-D inibiu em 13,6% o acúmulo de massa seca do milho ( $P < 0,05$ ), em relação à testemunha (Figura 1 e Tabela 2). Esses resultados evidenciam sensibilidade do milho ao picloram + 2,4-D, mesmo sendo este herbicida seletivo para gramíneas. No entanto, apesar da mistura de picloram + 2,4-D ter afetado a produção de massa seca das plantas de milho este tratamento não afetou a produção final de grãos de milho quando comparada ao cultivo em solo sem resíduos de herbicidas (Tabela 3). Segundo Bovey & Scifres (1971), resíduos de picloram no solo em níveis muito baixos podem causar significativa redução no crescimento de plantas dicotiledôneas, como de girassol e *Vigna sinensis*.

O crescimento das plantas de sorgo (Figura 2) apresentou comportamento diferenciado em relação às plantas de milho, estando as equações de regressão representadas na Tabela 4. Até a data do primeiro corte (45 DAE), não houve diferença no acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo (Tabela 5 e Figura 2). Contudo, aos 75 e 90 DAE, coincidente ao segundo corte, ocorreram diferenças na massa seca acumulada por estas plantas. Aos 75 DAE, houve redução de 4,3 e 2,8% no crescimento das plantas cultivadas em solo sem resíduos de herbicidas em comparação àquelas cultivadas em solo tratado com 2,4-D e picloram + 2,4-D, respectivamente. Já aos 90 DAE, o acúmulo de matéria seca observado nas plantas de sorgo cultivadas em solo sem aplicação de herbicidas foi 12,0 e 17,3% inferior àquelas cultivadas em solo tratado com picloram + 2,4-D e 2,4-D, respec -



**Figura 1** – Matéria seca de plantas de milho em função dos dias após a emergência, cultivadas em solo com aplicação ou não de 2,4-D ou picloram + 2,4-D. Viçosa - MG, 2006/2007.

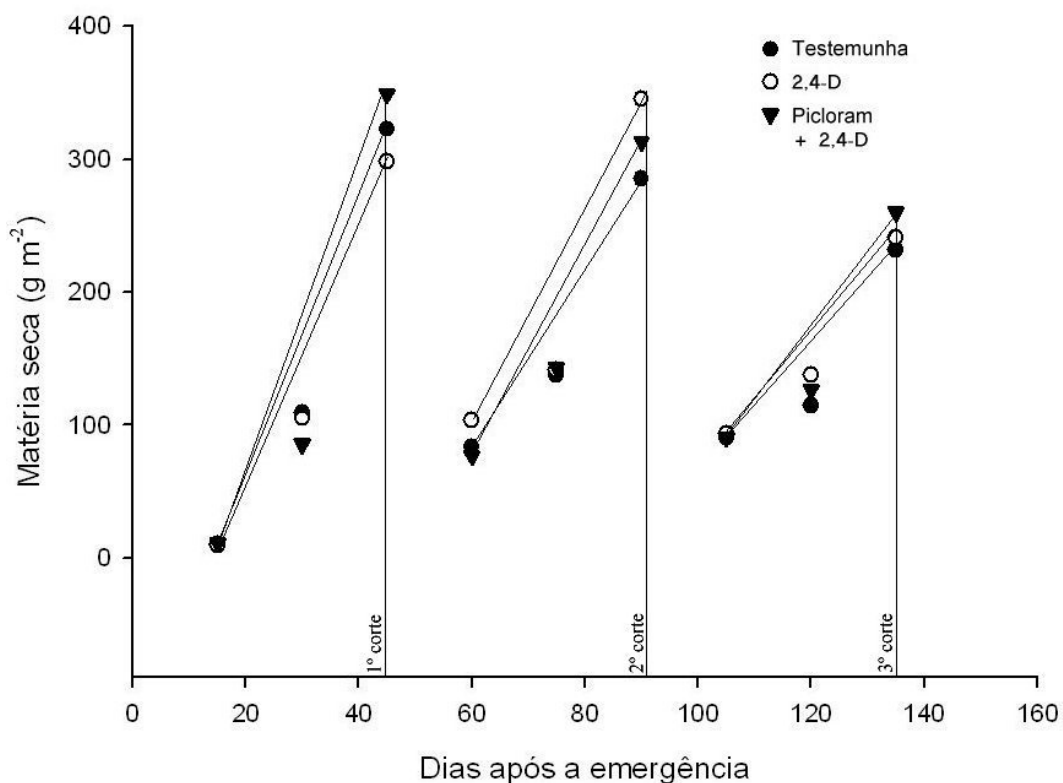
**Tabela 2** – Efeito da aplicação ou não de picloram + 2,4-D ou 2,4-D isolado sobre o acúmulo de matéria seca de plantas de milho. Viçosa – MG, 2006/2007.

Tratamento	Matéria seca (g planta <sup>-1</sup> ) (DAE)						Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
	15	30	45	60	75	90		
Testemunha	1,08a	12,04a	52,60a	99,27a	142,37a	203,75a	$\hat{Y} = 262,8289 / (1 + \exp(-(x - 69,0862) / 15,2899))$	0,99
2,4-D	1,11a	12,72a	46,91a	101,22a	147,32a	211,83a	$\hat{Y} = 252,0740 / (1 + \exp(-(x - 68,5607) / 15,8523))$	0,99
Picloram + 2,4-D	0,90a	10,61a	45,98a	98,39a	134,06a	183,01b	$\hat{Y} = 204,0995 / (1 + \exp(-(x - 63,0006) / 13,8284))$	0,99
CV(%) = 17,34								

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 3** – Efeito da aplicação ou não de picloram + 2,4-D ou 2,4-D isolado sobre a produção de grãos de milho. Viçosa – MG, 2006/2007

Tratamento	Produção (Kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha	5878,83
2,4-D	5902,58
Picloram + 2,4-D	6230,25



**Figura 2** – Matéria seca em função dos dias após a emergência de plantas de sorgo cultivadas em solo com aplicação ou não de 2,4-D ou picloram + 2,4-D. Viçosa - MG, 2006/2007.

**Tabela 4** – Equações de regressão e coeficientes de determinação de acúmulo de matéria seca em plantas de sorgo cultivadas em solo com aplicação ou não de 2,4-D ou picloram + 2,4-D. Viçosa – MG, 2006/2007.

Tratamento	15 a 45 dias (1º corte)	60 a 90 dias (2º corte)	105 a 135 dias (3º corte)
Testemunha	$\hat{Y}=156,13D - 165,09$ $r^2 = 0,96$	$\hat{Y}=100,74D - 32,958$ $r^2 = 0,93$	$\hat{Y}=70,776D + 3,762$ $r^2 = 0,87$
2,4-D	$\hat{Y}=144,36D - 151,16$ $r^2 = 0,96$	$\hat{Y}=120,51D - 44,521$ $r^2 = 0,86$	$\hat{Y}=73,605D + 10,13$ $R^2 = 0,95$
Picloram + 2,4-D	$\hat{Y}=168,65D - 188,8$ $r^2 = 0,90$	$\hat{Y}=118,09D - 58,677$ $R^2 = 0,94$	$\hat{Y}=84,514D - 10,08$ $r^2 = 0,90$

tivamente. Estes resultados podem ser atribuídos a menor infestação de plantas daninhas nas áreas tratadas com herbicidas em relação às não tratadas, o que resultou em interferência das plantas daninhas com a cultura do sorgo. Isto ocorreu, porque as capinas realizadas aos 30 e 90 dias após, não foram suficientes para eliminar as interferências das plantas daninhas. Esta elevada ocorrência de plantas invasoras pode estar relacionada à alta incidência de chuvas ocorridas no

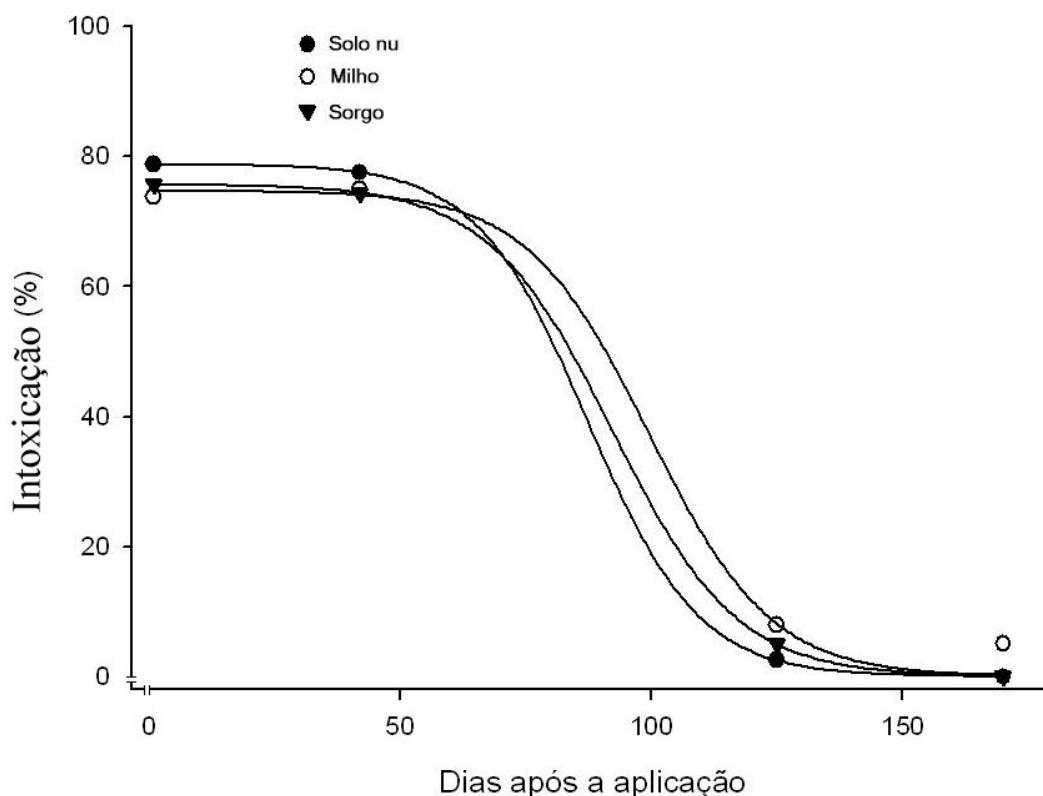
decorrer do ensaio (Figura 4), o que promoveu rápida reinfestação da área experimental. Além do que, foram constatadas algumas deficiências no processo de capina manual. A semelhança observada nos dados no período de crescimento compreendido dos 90 aos 135 DAE, referentes à brotação de plantas do segundo corte, pode ser atribuída à baixa concorrência das plantas daninhas com a cultura neste período, pois essas se encontravam em final de ciclo (Tabela 5 e Figura 2).

**Tabela 5** – Valores médios do efeito da aplicação ou não de picloram + 2,4-D ou 2,4-D isolado sobre o acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo. Viçosa – MG, 2006/2007.

<i>Traitemento</i>	<i>Matéria seca (g.planta<sup>-1</sup>) (DAE)</i>								
	15	30	45	60	75	90	105	120	135
<b>Testemunha</b>	10,24a	108,74a	322,49a	83,53a	137,03b	285,01b	90,102a	114,18a	231,65a
<b>2,4-D</b>	9,58a	104,80a	298,30a	103,72a	143,12a	344,73a	93,517a	137,78a	240,73a
<b>Picloram + 2,4-D</b>	11,39a	85,26a	348,68a	96,61a	141,03ab	322,79a	90,65a	126,49a	259,68a
<i>CV(%) = 20,07</i>									

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Quanto à persistência dos produtos no solo observou-se comportamento diferenciado apenas para o solo tratado com a mistura picloram + 2,4-D. Neste solo, verificou-se maior persistência do xenobiótico no solo, observando-se efeitos tóxicos do herbicida sobre a espécie bioindicadora, cultivada em amostras coletadas até aos 150 dias após aplicação dos tratamentos (Figura 3 e Tabela 6). Embora, segundo Silva et al. (2007), o picloram tenha persistência no solo superior a observada, os resultados obtidos nesse trabalho podem ser atribuídos a elevada precipitação pluvial que ocorreu na área experimental durante a condução do mesmo (Figura 4), o que pode ter contribuído para lixiviação do picloram para camadas mais profundas do solo. Segundo Rodrigues; Almeida (2005), o picloram apresenta baixo Koc o que o torna suscetível à lixiviação. Também Lavy et al. (1996), verificaram que o picloram é um produto com alta persistência no ambiente e Close et al. (1998), verificaram fácil lixiviação do picloram. Estes autores detectaram a presença do picloram 600 dias após a sua aplicação, a profundidade de 1,3 m, em trincheira feita nos solos em estudo. Sendo assim, o



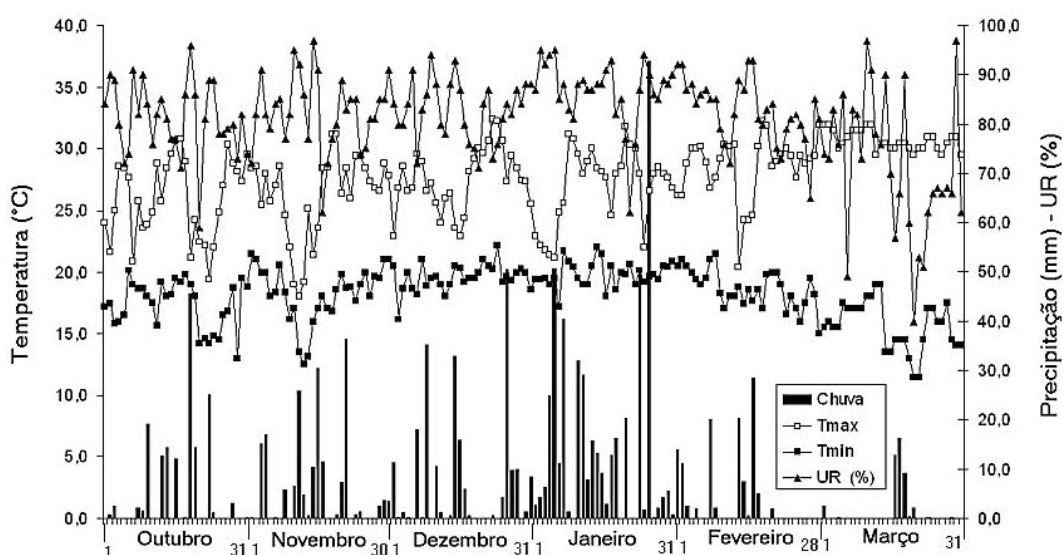
**Figura 3** – Porcentagem de intoxicação em função dos dias após a aplicação, em plantas de pepino (*Cucumis sativus*), cultivadas em solos tratados com picloram + 2,4-D. Viçosa – MG, 2006/2007.

**Tabela 6** – Valores médios e equações de regressão ajustadas da intoxicação (%) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cultivadas em amostras de solos tratadas com picloram + 2,4-D, oriundas de plantios de milho, sorgo ou solo sem cultivo (nu). Viçosa - MG, 2006/2007.

Tratamento	Data de amostragem (DAE)				Equações de Regressão	R <sup>2</sup>
	1	42	125	170		
Solo nu	78,75	77,50	2,50	0,00	$Y = 78,7808 / (1 + \exp(-(x-87,2782) / -11,0342))$	0,99
Milho	73,75	75,00	7,92	5,00	$Y = 75,6636 / (1 + \exp(-(x-92,2343) / -12,3649))$	0,96
Sorgo	75,62	74,37	5,00	0,00	$Y = 74,7009 / (1 + \exp(-(x-99,5105) / -12,1363))$	0,97

ocorrido pode ser atribuído ao elevado volume de chuvas ocorridas no período entre 50 e 120 DAA. Quanto à baixa persistência do 2,4-D no solo, não se observando mais efeito sobre plantas bioindicadoras cultivadas em amostras de solo tratadas a 42 dias, confirma-se a afirmativa de Silva et al. (2007), os quais afirmam, que a atividade residual do 2,4-D em condições de clima tropical e boa distribuição de chuvas em solos argilosos não excede a quatro semanas.

Concluiu-se que o crescimento de plantas de milho foi inferior em solos com resíduos do picloram + 2,4-D, sem, contudo influenciar a produção final de grãos. Contrariamente, o crescimento das plantas de sorgo não foi afetado pelos resíduos deste herbicida no solo. Quanto à persistência no solo, confirmou-se os resultados da literatura, evidenciando o curto efeito residual no solo do 2,4-D e maior persistência para o picloram. Ficou também evidente, que as condições climáticas afetam de modo decisivo o comportamento do picloram + 2,4-D no ambiente. No entanto, não se observou efeito de sistemas de cultivos sobre a persistência dos referidos herbicidas no solo.



**Figura 4** – Precipitação pluvial, Temperaturas Máximas e Mínimas e Umidade Relativa do ar. Viçosa – MG, 2006/2007.

### 3.5. LITERATURA CITADA

ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. **Journal of Environmental Science and Health**, v.B30, p.473-484. 1995.

ANDERSON, T.A.; KRUGER, E.L.; COATS, J.R. Enhanced degradation of a mixture of three herbicides in the rhizosphere of a herbicide-tolerant plant. **Chemosphere**, v.28, p.1551-1557. 1994.

ARTHUR, E.L. et al. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide-contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.119, p.75-90, 2000.

BOVEY, R.W.; MEYER, R.E.; HEIN JR., H. Soil persistence of tebuthiuron in the Claypan Resource Area of Texas. **Weed Science**, v.30, p.140-144, 1982.

BOVEY, R.W.; SCIFRES, S.J. Residual characteristics of picloram in grassland ecosystems. **Texas Agricultural Experiment Station**, v.B, p.1111, 1971.

CLOSE, M.E. et al. Leaching of picloram, atrazine and simazine through two New Zealand soils. **Geoderma**, v.84, p.46-63. 1998.

CUNNINGHAM, S.D.; ANDERSON, T.A.; SCHWAB, A.P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**, v.56, p.55-114, 1996.

DEUBERT, K.H.; CORTE-REAL, I. Soil residues of picloram and triclopyr after selective foliar application on utility rights-of-way. **Journal of Arboriculture**, v.12, p.269-272, 1986.

DORNELAS DE SOUZA, M. et al. Adsorção e lixiviação de tebuthiuron em três tipos de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, 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. Committee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FERNANDEZ, R.T. et al. Evaluating semiaquatic herbaceous perennials for use in herbicide phytoremediation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.124, p.539-544. 1999.

FERREIRA, L.R. et al. Seleção de espécies com potencial de remediação de solos contaminados com os herbicidas triclopyr e 2,4-D + picloram. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25. **Anais...** Brasília, DF, 2006. p.228.

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

KLUTHCOUSKI, J. & AIDAR, H. Uso da integração lavoura pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J. et al. **Integração lavoura pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. Cap.7, p.185-223.

LAVY, T.L. et al. Long-term in situ leaching and degradation of six herbicides aged in subsoils. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.1268-1279. 1996.

MACEDO, M.C.M. Degradação, renovação e recuperação de pastagens cultivadas: Ênfase sobre a região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: 2002, p. 85-108.

PERKOVICH, B.S. et al. Enhanced mineralization of [<sup>14</sup>C] atrazine in *Kochia scoparia* rhizospheric soil from a pesticide-contaminated site. **Pesticide Science**, v.46, p.391-396. 1996.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, v.56, p.15-39, 2005.

PIRES, F.R. et al. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. **Caatinga**, v.19, p.92-97, 2006.

PIRES, F.R. et al. Inferências sobre a atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.627-634, 2005a.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v.23, p.711-717, 2005b.

PIRES, F.R. et al. Uso da fitorremediação na descontaminação do solo. ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 23, 2001, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV, 2001. p.104.

PROCÓPIO, S.O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.444-449, 2006.

PROCÓPIO, S.O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). **Planta Daninha**, v.23, p.719-724, 2005a.

PROCÓPIO, S.O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v.23, p.9-16, 2005b.

RICE, P.J.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. Phytoremediation of herbicide-contaminated surface water with aquatic plants. In: **Phytoremediation of soil and**

**water contaminants**. Washington, DC: American Chemical Society, 1997. p.133-151.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, PR: 2005. 591p.

SANTOS, J.B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v.22, p.223-330, 2004.

SANTOS, M.V. et al . Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, 2006.

SILVA, A.A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. Cap.3, p. 83-148.

SILVA, L.L. et al. Seleção de espécies sensíveis aos herbicidas triclopyr e 2,4-D + picloram. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25. **Anais...** Brasília, DF, 2006. p.229.

WILSON, P.C.; WHITWELL, T.; KLAINÉ, S.J. Phytotoxicity, uptake, and distribution of <sup>14</sup>C-simazine in *Acorus gramineus* and *Pontederia cordata*. **Weed Science**, v.48, p.701-709. 2000.

#### **4. LIXIVIAÇÃO DO PICLORAM EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES VALORES DE pH**

##### **Picloram leaching on red-yellow latosol and red-yellow ultisol with different pH values**

##### **4.1. RESUMO**

Objetivou-se com este trabalho, avaliar o potencial de lixiviação do picloram em solos utilizados em pastagens no Brasil (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes 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 com o substrato para preenchimento de colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, devidamente preparadas para estudos de lixiviação de herbicidas. Realizou-se um experimento em esquema de parcela subdividida, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foi avaliada uma dose do herbicida picloram ( $160 \text{ g ha}^{-1}$ ), três intensidades de chuva (40, 80 e 120 mm) e 10 profundidades (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, colocadas na posição vertical para drenagem do excesso de água. Após este período, aplicou-se no topo dessas o herbicida e, 12 horas após, fez-se as simulações das chuvas especificadas de acordo com o tratamento. Estas permaneceram na posição vertical por mais 72 horas para drenagem e lixiviação do herbicida. Após este período, as colunas foram abertas longitudinalmente, colocadas na posição horizontal, sendo semeadas no substrato ao longo dessas a espécie indicadora (*Cucumis sativus*) para se avaliar a lixiviação do picloram nos solos. Concluiu-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.

#### 4.2. ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the potential of picloram leaching in areas used as pastures in Brazil (Red-Yellow Latosol and Red-Yellow Ultisol, with distinct pH levels). For that, soil samples were collected from 0 to 20 cm depth, and incubated or not with limestone for 70 days. After that, these soil samples were used as substrates to fill PVC columns of 10 cm diameter by 50 cm depth, properly prepared for studies of herbicides leaching. The work was composed of one trial installed in split-plot and completely randomized design, with four replications. One dose of the herbicide picloram ( $160 \text{ g ha}^{-1}$ ), three intensities of rain (40, 80 and 120 mm) 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 the preparation of the columns, they 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 after herbicide application the simulated rains were executed, 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 species (*Cucumis sativus*) sown in the substrate along the opening in order to evaluate the 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 was influenced by the amount of simulated rain, the soil pH and also by other soil characteristics, possibly by the 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.

**Key-words:** Moving, herbicide, soil characteristics, pastures.

### 4.3. 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, com frequência 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). Deste modo, estudos sobre sorção, dessorção, meia-vida e de lixiviação do herbicida no perfil do solo são necessários para se prever a eficácia do controle das plantas daninhas, o risco de prejuízo à culturas sensíveis em seqüência, bem como o potencial do herbicida atingir os aquíferos subterrâneos (Van Wyk; Reinhardt, 2001).

Segundo Landry et al. (2006), o uso intensivo de herbicidas aplicados em pré-emergência na Europa, tais 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 Européia para água potável. 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 nos citros no estado americano da Califórnia. No estado de São Paulo é real 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.

Dentre os herbicidas mais utilizados em pastagens brasileiras, destaca-se o picloram. Este se caracteriza por apresentar elevada persistência no solo (Dornelas de Souza et al., 2001; Close et al., 2003b; Berisford et al. 2006; Santos et al., 2006), além da baixa sorção, ter 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 filtração natural realizada pelas zonas ripárias não é capaz de reter a contaminação por escoamento superficial de cursos d'água pelo picloram, devido à baixa retenção na matéria orgânica (Pinho, 2003).

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 é dependente 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 (Anderson; Coats, 1995; Rice et al., 1997; Futch et al., 1999; Arthur et al., 2000; 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 envolvendo as características dos solos tropicais, 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 precisam ser implementados. Evidências indicam que esses fatores podem ser de grande relevância no que se referem 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).

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a lixiviação do picloram em um Argissolo Vermelho-Amarelo e em Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pHs.

#### 4.4. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste experimento, utilizaram-se amostras de dois solos; um Argissolo Vermelho-Amarelo e um Latossolo Vermelho-Amarelo, coletadas à profundidade de 0 a 20 cm, em pastagens degradadas da região de Viçosa -MG. Após as coletas das amostras de solo, 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 sub amostras, sendo uma destas tratadas com calcário dolomítico (PRNT = 80%) e incubadas por 60 dias em condição de umidade próximo à capacidade de campo. Após isso, todas as amostras foram caracterizadas quanto às suas características químicas e físicas (Tabela 1).

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

Análise granulométrica										
Solo	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Classificação textural					
LVA	44	15	17	24	Argiloso					
LVA	44	15	17	24	Argiloso					
AVA	25	16	22	37	Franco Argilo-Arenoso					

Análise química										
Solo	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	H + Al	CTC total	V	m	MO
	H <sub>2</sub> O	(cmol dm <sup>-3</sup> )					(%)		dag kg <sup>-1</sup>	
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
AVA	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).

Posteriormente todas as amostras de solos foram adubadas na proporção de 1,0 kg de superfosfato simples por 100 L de solo, sendo a seguir homogeneizados e acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento. Estas colunas foram previamente preparadas e parafinadas interiormente para evitar escorrimento lateral interno da água a ser utilizada para lixiviação de herbicidas. Todas as colunas foram marcadas a cada 5 cm de distância e possuíam uma tampa lateral removível. Após o preenchimento com as amostras de solo, estas foram umedecidas e, posteriormente deixadas na posição vertical, em repouso por 72 horas para a drenagem do excesso de água, até se atingir a umidade equivalente à capacidade de campo. A seguir, fez-se a aplicação do picloram no topo das colunas na dose de 160 g ha<sup>-1</sup> (equivalentes a 0,83 l ha<sup>-1</sup> do produto comercial Padron®), utilizando-se um pulverizador de precisão equipado com dois bicos XR 110.02, espaçados de 0,5 m, mantidos a pressão de 30 lb pol<sup>-2</sup> e volume de calda de 200 l ha<sup>-1</sup>.

Dose horas após a aplicação do herbicida com as colunas ainda na posição vertical, procedeu-se a simulação das chuvas de 40, 80 e 120 mm de acordo com o tratamento específico. Após isso, as colunas permaneceram ainda por 72 horas, na posição vertical, sendo em seguida colocadas na posição horizontal. Nesta ocasião, foi feita a abertura lateral das colunas e na linha central destas um sulco de 1,0 cm de profundidade, onde se fez o semeio do pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora.

Foram avaliados 90 tratamentos (uma dose de picloram associadas a três solos, três intensidades de chuva e 10 profundidades). Utilizou-se o esquema de parcela subdividida em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Durante a realização do experimento, em casa vegetação, manteve-se a umidade do solo nas colunas próxima a 80% da capacidade campo, por meio de irrigações diárias, para se garantir bom crescimento das plantas indicadoras.

As avaliações do experimento (altura das plantas, índice de intoxicação das plantas-teste pelo herbicida, massa fresca, massa seca e altura de plantas-teste, além de fotos dos tratamentos) 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 massa fresca, todas as plantas foram cortadas rentes à superfície do solo e pesadas

logo a seguir em balança com precisão de 0,01 g. Após secagem desse material em estufa de circulação forçada de ar ( $70 \pm 2$  °C) até massa constante, determinou-se a massa seca das plantas, utilizando-se a mesma balança.

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

<b>Nota</b>	<b>Descrição dos sintomas</b>
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 intoxicação nas plantas
10	Todas as plantas mortas

Fonte: Escala EWRC (1964), modificada.

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

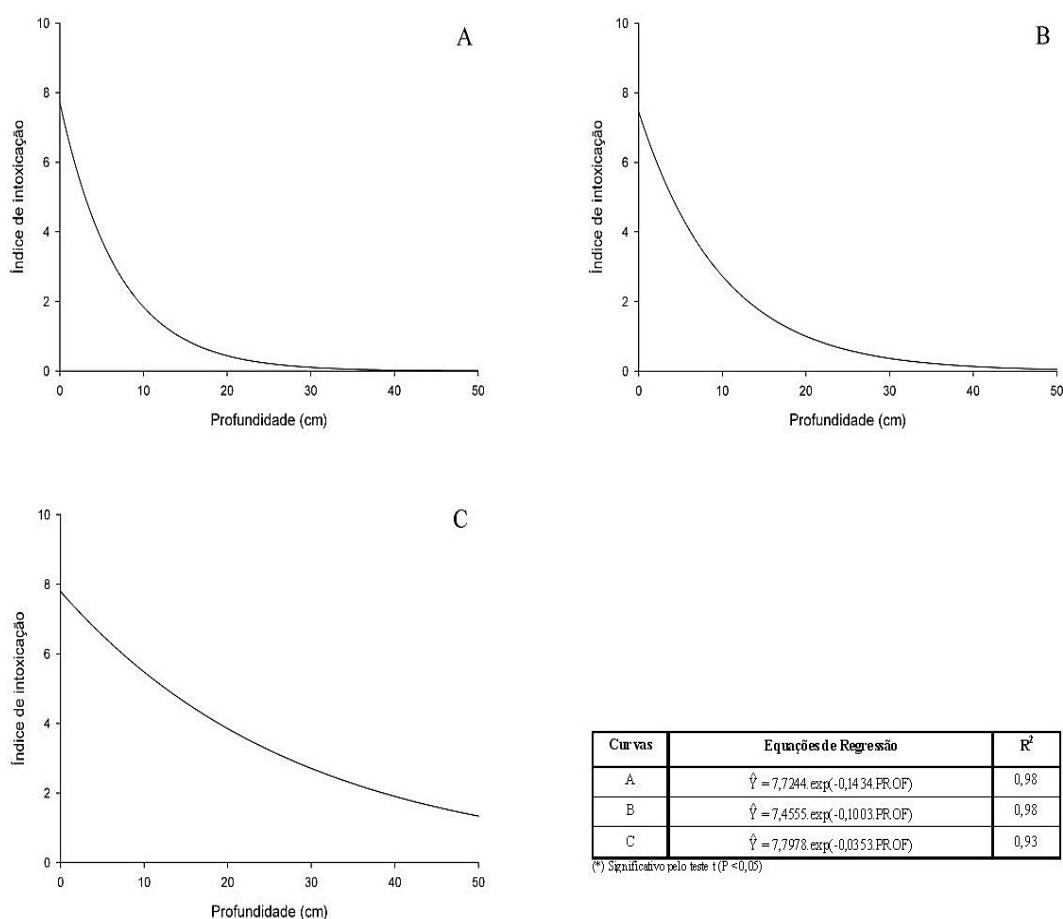
#### **4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

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 o 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 aquelas cultivadas nas amostras a 30 e 40 cm de profundidade, respectivamente. A intensidade dos sintomas de intoxicação das plantas-teste foi decrescente com a profundidade de cultivo das plantas (Figuras 1A e 1B). 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 de toda a coluna (Figura 1C). Nesta condição, verificou-se maior lixiviação do picloram

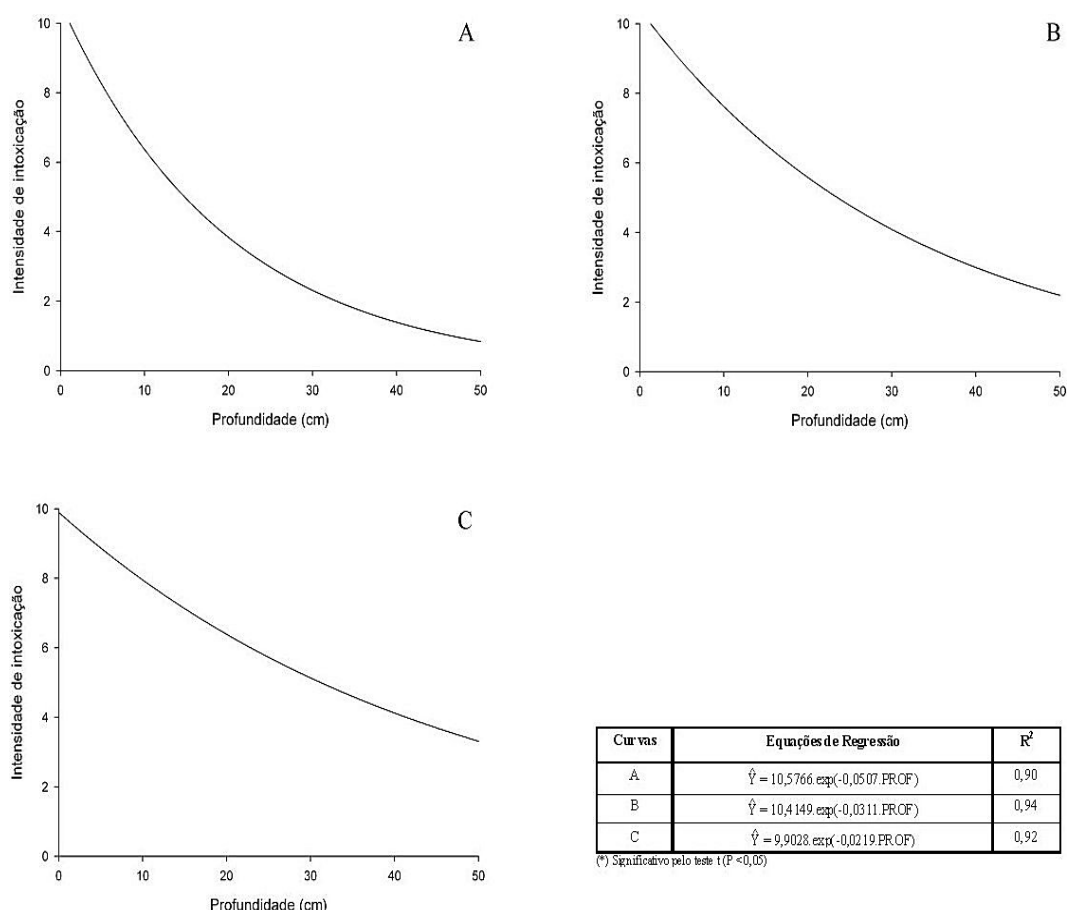
caracterizada pela distribuição mais uniforme do herbicida ao longo da coluna, em comparação com aquelas submetidas a intensidades de chuvas simuladas de 40 e 80 mm. Estes resultados justificam observações realizadas por Pang et al. (2000), os quais encontraram níveis significativos de picloram em águas subterrâneas da Nova Zelândia, em dois diferentes solos, a grandes profundidades. Também Bovey & Richardson, 1991; Close et al., (2003 a, b); Berisford et al (2006) e Santos (2006), relatam que o picloram tem elevada mobilidade e persistência no solo.

A lixiviação do picloram no Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,9, distinguiu-se daquela observada nos demais solos, quando se avaliou os sintomas de intoxicação das plantas testes cultivados ao longo das colunas (Figuras 2A, 2B e 2C).



**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.

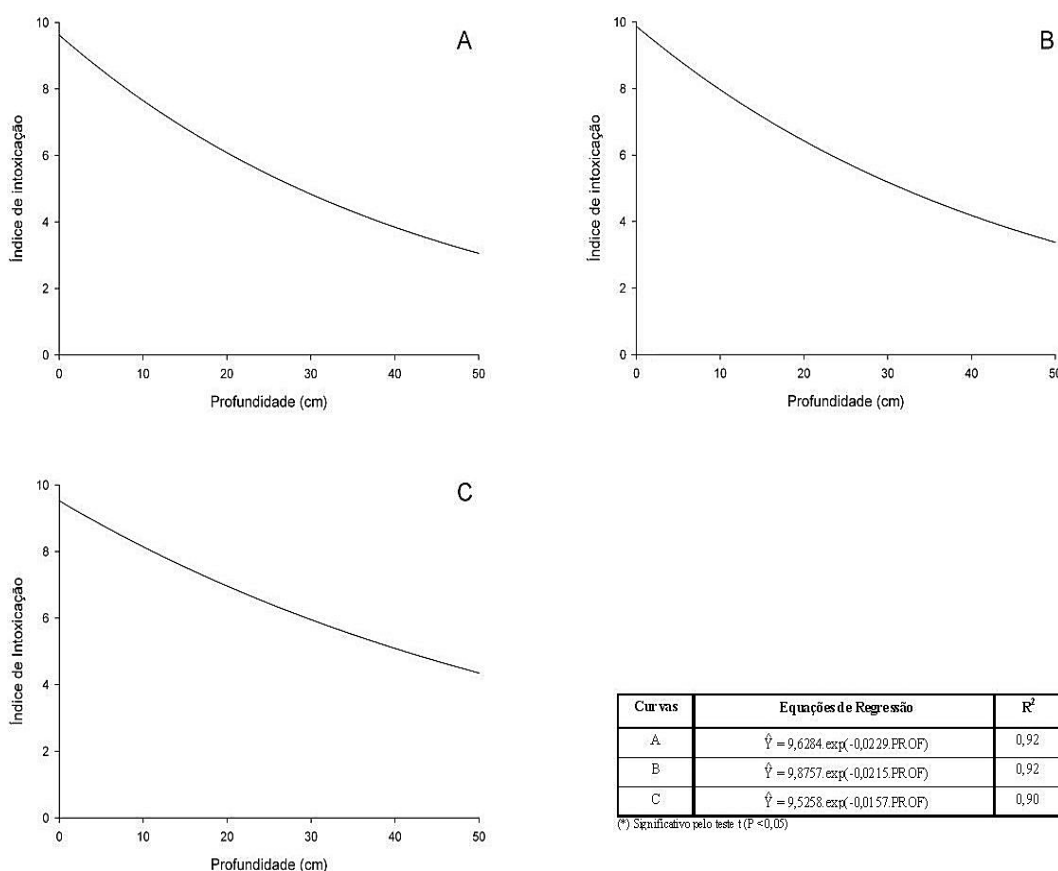
Na simulação de chuva de 40 mm (Fig 2 A), observou-se elevada intensidade dos sintomas nas plantas cultivadas na parte superior da coluna. Esta intensidade foi decrescente até a profundidade de 35 cm; estabilizando-se a seguir. Porém, observou-se intoxicação da planta indicadora até a extremidade da coluna (profundidade de 50 cm), indicando distribuição do picloram ao longo dessa. Quando a chuva simulada foi de 80 ou 120 mm, observou-se também, intoxicação das plantas indicadoras ao longo de toda a coluna. Todavia, neste caso, para ambas as simulações de chuva, os sintomas foram decrescentes até a extremidade das colunas. Observou-se, ainda que para a simulação de chuva de 120 mm a lixiviação de grande parte do picloram do topo da coluna evidenciado pela maior intoxicação da planta indicadora nas maiores profundidades quando comparada



**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.

a simulações de menores intensidades de chuva (Figura 2C). Comparando este resultado com aquele observado com o Argissolo Vermelho-Amarelo pH 5,9, constata-se que outras características do solo, além do pH afetam a lixiviação do picloram. Segundo Hang (1994), apesar do 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 no solo.

Na avaliação da mobilidade do picloram no Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), verificou-se sintomas de intoxicação nas plantas de pepino, cultivadas no topo das colunas acima de 98 %, nas três simulações de chuva (Figuras 3A, 3B e 3C). Estes 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, evidenciando fácil lixiviação desse herbicida nesse solo em condições de pH próxi

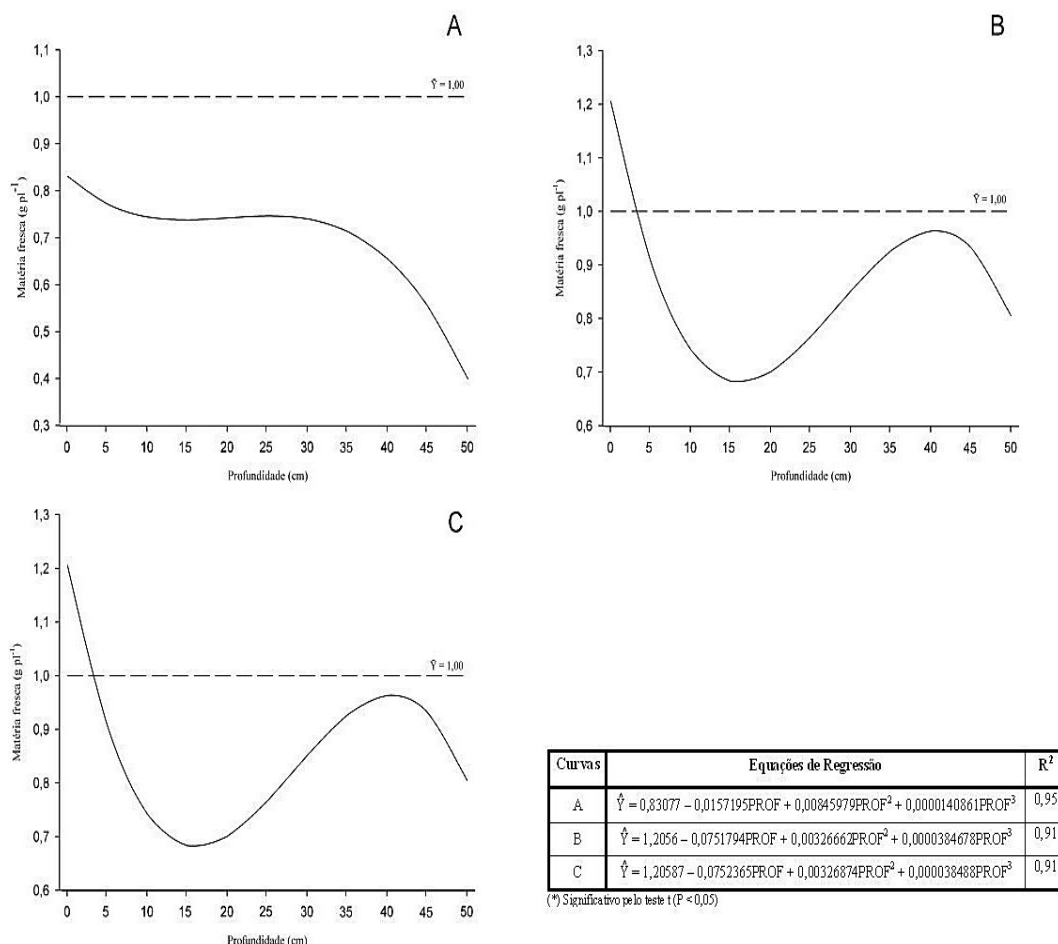


**Figura 3** – Intoxicação em plantas de pepino cultivadas em solo em função das profundidades da coluna, preenchidas com amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), tratadas com picloram e simulações de chuvas de 40 (A), 80 (C) e 120 (C) mm. Viçosa – MG, 2007.

mo a neutralidade (Figuras 3B e 3C). A maior lixiviação do picloram neste solo, em comparação à observada no Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,1), pode ser creditada a menor sorção do herbicida aos colóides do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, devido a 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 e, 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 do herbicida estar na forma molecular (neutra) e possivelmente, a capacidade de se adsorver nas partículas coloidais do solo. Nesse caso, seu comportamento 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; Silva, 2007).

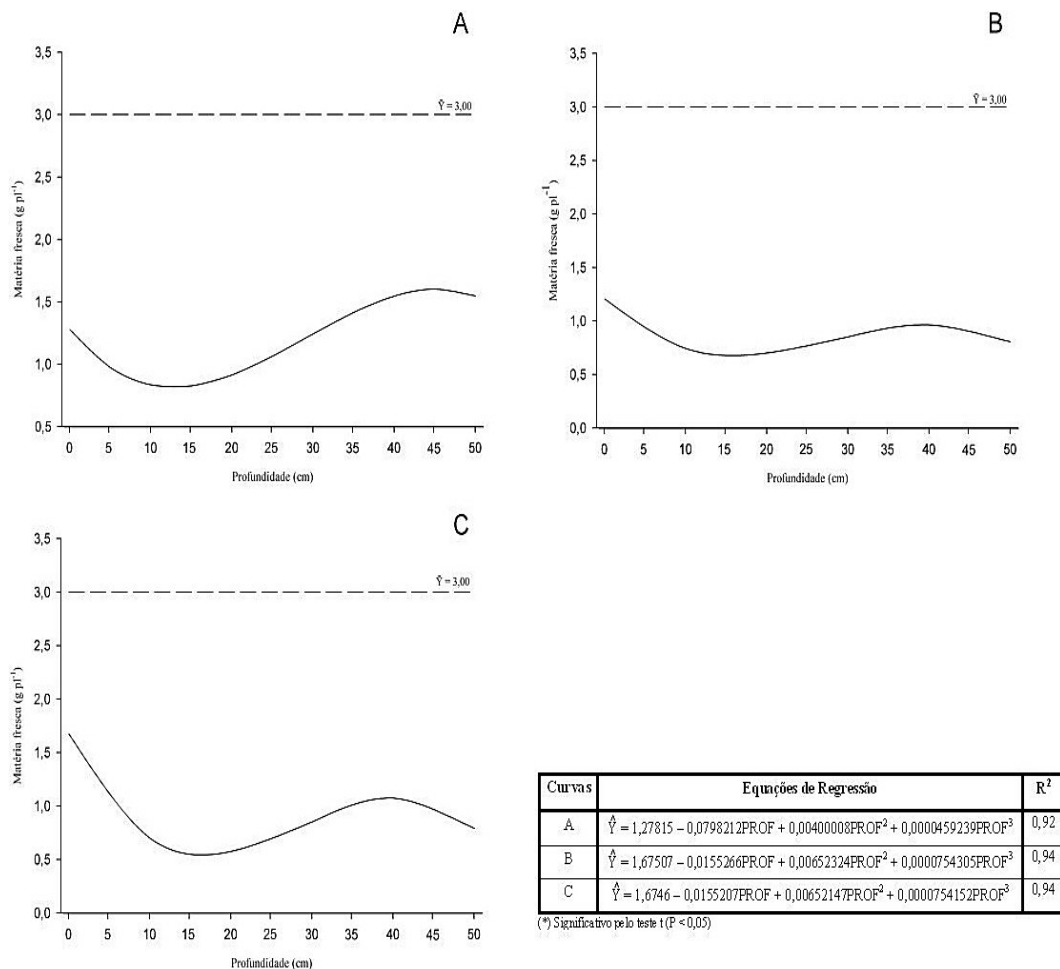
Quando se avaliou a lixiviação do herbicida no solo, tomando-se como base o acúmulo de massa fresca produzida pelas plantas indicadoras cultivadas ao longo das colunas, verificaram-se efeitos semelhantes aos relatados, quando se avaliou o índice de intoxicação das plantas. Observou-se efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da intensidade de chuva simulada sobre o crescimento das plantas de pepino (Figuras 4 e 5). Entretanto, para o Latossolo Vermelho-Amarelo com pH 4,1, em decorrência do fraco crescimento das plantas indicadoras, nesta condição de pH de solo, essa característica não pode ser considerada eficiente, pois não permitiu ajuste significativo das curvas. Todavia, quando se avaliou a lixiviação do picloram no Argissolo Vermelho-Amarelo (pH 5,9), verificou-se que este herbicida se distribuiu ao longo das colunas em todas as precipitações pluviais aplicadas (Figuras 4A, 4B e 4C). Neste caso, a produção de biomassa foi sempre menor nas plantas de pepino, cultivadas em colunas preenchidas com esse solo tratado com picloram. Sendo o picloram herbicida considerado muito móvel no solo (Bovey & Richardson, 1991), a lixiviação do mesmo 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 ao final da coluna, onde as plantas acumularam 60% menos matéria fresca em compa



**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.

ração à testemunha. 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 (Figuras 4B e 4C). A partir dos 5 cm de profundidade das colunas, o crescimento das plantas foi sempre menor em comparação à testemunha sem herbicida. No entanto, parece ter havido acúmulo de picloram aos 15 e aos 50 cm de profundidade, pois o crescimento foi 32 e 20% menor, respectivamente. De qualquer forma, 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.

As Figuras 5A, B e C, representam a produção de biomassa de plantas de pepino cultivadas em colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 4,9), tratado com picloram e feitas simulações de chuvas de 40, 80 e 120 mm.



**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.

Verifica-se para este solo, a lavagem do picloram na camada de 0 a 5 cm, quando submetido a precipitações pluviais de 40 e 80 mm. Isto pode ser explicado, pelo fato desse solo apresentar baixo teor de matéria orgânica e pH do solo acima do pKa do picloram (Tabela 1). Nesta 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 a lixiviação.

Não houve interação significativa entre as simulações de chuvas, 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 da interação chuva versus 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 chuvas de 40, 80 e 120 mm, produziram menor quantidade de matéria seca que as demais. Este comportamento pode ser atribuído à inadaptabilidade da planta indicadora crescer nessa faixa de pH.

**Tabela 3** – Massa seca e altura de plantas de pepino cultivadas em amostras de solos, tratadas com picloram e simulações de chuvas de 40, 80 e 120 mm. Viçosa – MG, 2007.

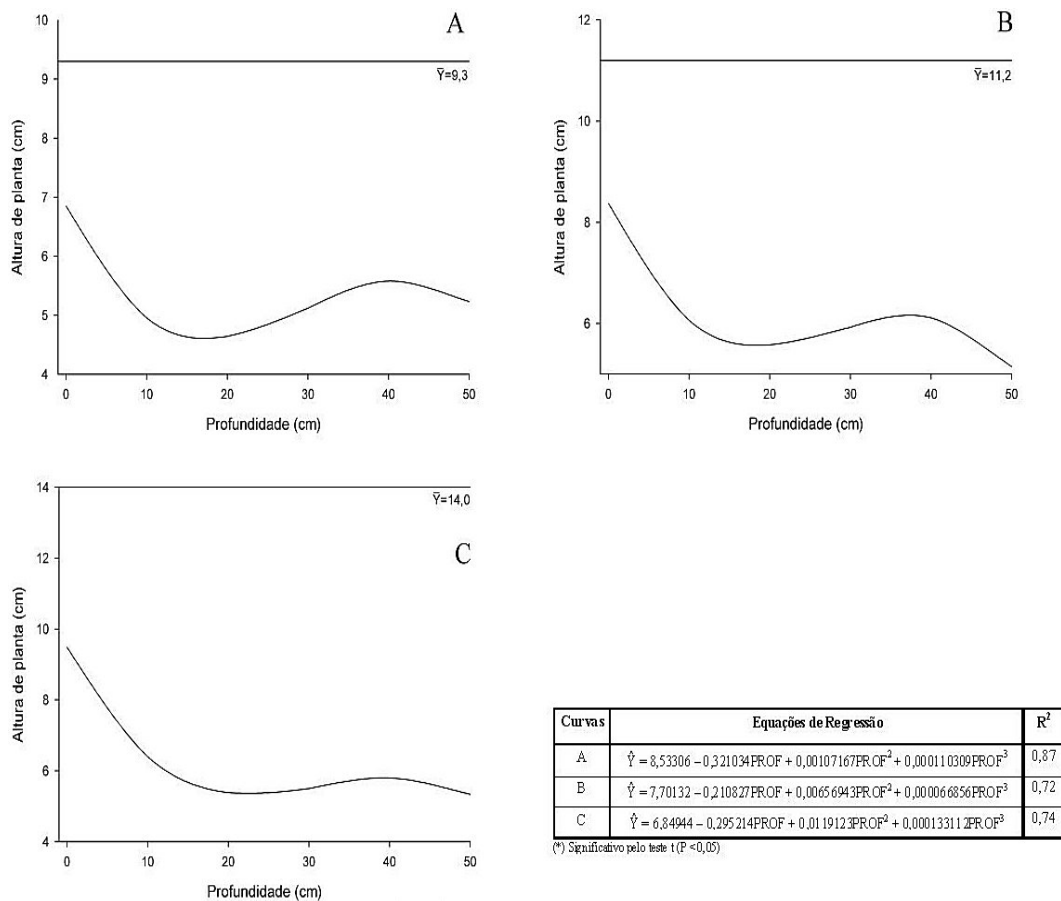
Intensidade chuva (mm)	Tipos de Solo		
	Latossolo Vermelho-Amarelo	Argissolo Vermelho-Amarelo	
	pH 4,1	pH 4,9	pH 5,9
Massa seca (g planta <sup>-1</sup> )			
40 mm	0,511b	0,998a	0,930a
80 mm	0,600b	0,884a	0,884a
120 mm	0,498b	0,833a	0,833a
CV(%)	53,897		
Altura de planta (cm)			
40 mm	2,8c	8,1a	6,6b
80 mm	3,2b	7,4a	7,1a
120 mm	2,7b	7,0a	5,8a
CV(%)	13,721		

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

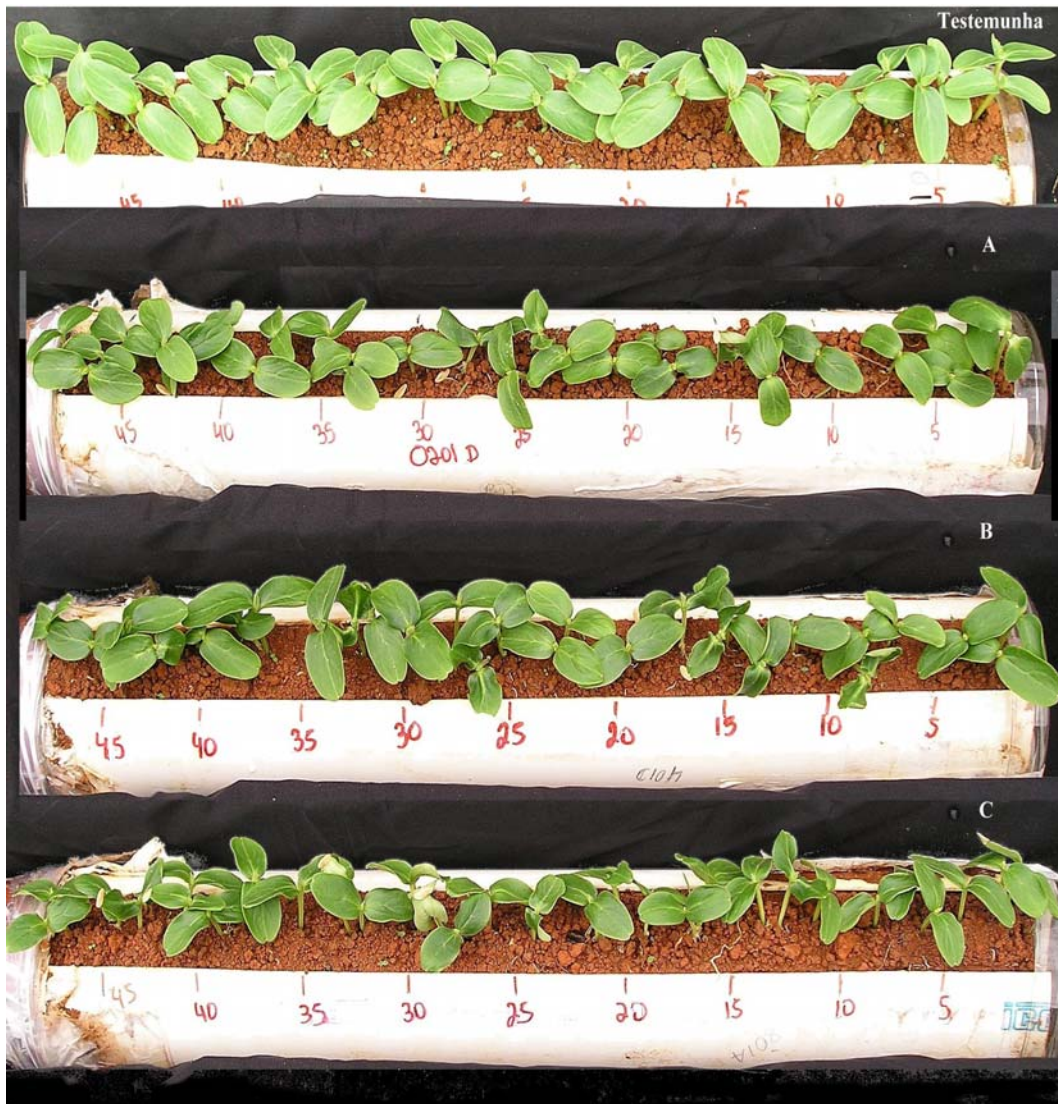
A altura das plantas de pepino, quando do desdobramento da interação chuva versus solo, teve comportamento semelhante ao acúmulo de matéria seca. As plantas de pepino quando cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,1, tratado com picloram, apresentaram-se com menor altura, quando comparadas às plantas cultivadas nos solos 2 e 3. Todavia, observa-se maior altura das plantas de pepino, cultivadas nas colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,9, tratado com picloram, na simulação de 40 mm de chuvas, comparadas aquelas cultivadas no Argissolo Vermelho-Amarelo, pH 5,9. No entanto, comparando-se a altura de plantas cultivadas no solo 3 com aquelas cultivadas no solo 1, verificou-se maior altura das plantas na simulação de 40 mm de chuvas. 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, pH 4,9, ficando o herbicida mais retido no início da mesma (Tabela 3) (Rossi et al., 2003; 2005).

Quando se avalia nas diferentes profundidades das colunas a altura de plantas, verifica-se ausência de similaridade nas curvas de crescimento obtidas (Figura 6A, 6B e 6C). Esses resultados corroboram a lixiviação do picloram nos três tipos de solos em estudo, pois a altura das plantas foi sempre menor em relação à testemunha ao longo das colunas tratadas com o herbicida. No entanto, os resultados obtidos no acúmulo de matéria fresca e seca e da altura de planta das plantas, indicadoras na condução do trabalho, mostraram flutuação e inconsistência. Desta 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. Todavia, analisando-se 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, 1994.



**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.



**Figura 7** – Sintomas de intoxicação em plantas de pepino cultivadas em colunas preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,1, tratadas com  $160 \text{ g ha}^{-1}$  de picloram na superfície, submetidas a simulações de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm de chuvas. Viçosa – MG, 2007.



**Figura 8** – Sintomas de intoxicação em plantas de pepino cultivadas em colunas preenchidas com amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, pH 4,9, tratadas com  $160 \text{ g ha}^{-1}$  de picloram na superfície, submetidas a simulações de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm de chuvas. Viçosa – MG, 2007.



**Figura 9** – Sintomas de intoxicação em plantas de pepino cultivadas em colunas preenchidas com amostras de Argissolo Vermelho-Amarelo, pH 5,9, tratadas com  $160 \text{ g ha}^{-1}$  de picloram na superfície, submetidas a simulações de 40 (A), 80 (B) e 120 (C) mm de chuvas. Viçosa – MG, 2007.

#### 4.5. LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, M. A. et al. Mineralização e sorção de atrazina em Latossolo Roxo sob cultivo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p.179-188, 201.

BERISFORD, Y.C. et al. Leaching and persistence of herbicides for kudzu (*Pueraria montana*) control on pine regeneration sites. **Weed Science**, 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 Science**, v. 30, 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. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, p.528-531. 1991.

CARRIZOSA, M.J. et al. Interactions of acid herbicides bentazon and dicamba with organoclays. **Soil Science Society of American Journal**, v. 68, p.1863-1866. 2004.

COSTA, M.A. et al. Degradação de ametrina em Areia Quartzosa com adição de solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do 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. **Australian Journal of Soil Research**, 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. **Australian Journal of Soil Research.**, v. 41, p. 825-846, 2003b.

DORNELAS DE SOUZA, M. et al. Adsorção e lixiviação de tebuthiuron em três tipos de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, 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. Committee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FUTCH, S.H.; SINGH, M. Herbicide Mobility Using Soil Leaching Columns. **Bulletin of Environmental Contaminant Toxicology**, v. 62, p. 20-29, 1999.

HANG, S.B.; FERREIRO, E.A.; BUSSETTI, S.G. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. **Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales**, v.11, p.345-361, 1996.

INOUE, M.H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, 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**, Viçosa, v. 21, n. 2, 2003.

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

MONTEIRO, R.T.R. et al. Lixiviação e contaminação do rio corumbataí por herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26. **Anais...** Ouro Preto, MG, 2008. p.181.

NEARY, D.G. et al. Low picloram concentrations in streamflow resulting from forest application of tordon – 10K. **Proceedings, Southern Weed Science Society** 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. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 44, p.19-46. 2000.

PINHO, A.P. **Retenção de atrazine e picloram no escoamento superficial em zonas ripárias de áreas de silvicultura**. Viçosa, MG: 2003, 113p. Tese (Doutorado em fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

ROCHA, W.S.B. et al. Influência do pH na sorção de imazaquin em um Latossolo Vermelho Acriférrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 649-655, 2000.

ROSSI, C.V.S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 11-120, 2003.

ROSSI, C.V.S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em latossolo vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, Viçosa, 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**, Viçosa, 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. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. Cap.3, p. 83-148.

SINGH, N. Organic manure and urea effect on metolachlor transport through packed soil columns. **Journal of Environmental Quality**, 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 et al. Weed control methods handbook; the nature conservancy. Abril de 2001. <<http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/18.Picloram.pdf>> Acesso em 22 de junho de 2008.

VAN WYK, L.J.; REINHRDT, C.F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Technology**, v. 15, p. 1–6, 2001.

VETTAKKORUMAKANKAV, N.N. et al. Physiological effect of clopyralid on corn as determined by bioassay and light-scattering spectroscopy. **Weed Science**, v. 50, p. 713–720, 2002.

## 6. CONCLUSÕES FINAIS

- De acordo com os resultados obtidos, plantas de milho cultivadas em solo tratado com picloram + 2,4-D tiveram o seu crescimento afetado; todavia, a produção de grãos não foi influenciada.
- Plantas de sorgo não tiveram o crescimento afetado pela presença de resíduos de picloram + 2,4-D no solo.
- As plantas de pepino cultivadas em amostras de solo, coletadas nas parcelas que receberam a mistura picloram + 2,4-D, apenas a partir dos 150 DAA não mais apresentaram sintomas de intoxicação pela mistura.
- As culturas do milho e do sorgo não influenciaram na persistência dos herbicidas no solo.
- O picloram apresentou potencial de lixiviação nos três solos avaliados. O pH do solo mostra ser um dos fatores determinantes na movimentação deste herbicida. Maior valor de pH nos solos incorre em maior potencial de lixiviação do herbicida.