

MARCO ANTONIO MOREIRA DE FREITAS

**SORÇÃO E MOBILIDADE DO SULFENTRAZONE EM DIFERENTES SOLOS
DETERMINADAS POR BIOENSAIOS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

MARCO ANTONIO MOREIRA DE FREITAS

**SORÇÃO E MOBILIDADE DO SULFENTRAZONE EM DIFERENTES SOLOS
DETERMINADAS POR BIOENSAIOS**

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

APROVADA: 22 de julho de 2011.

Prof. Tocio Sedyama

Dr. Evander Alves Ferreira

Prof. Lino Roberto Ferreira
(Coorientador)

Prof. Antonio Alberto da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

Aos meus pais Sônia e Manuel, e irmão Márcio pelo amor, carinho e total apoio sempre, sem os quais nada teria sido possível na minha vida.

Ao Professor Antonio Alberto da Silva, pela oportunidade, confiança, atenção, apoio, sugestões e compreensiva orientação.

Aos professores Lino Roberto Ferreira e Paulo Roberto Cecon pela coorientação e atenção dedicada durante a realização deste trabalho.

A todos meus familiares pelo apoio e o fato de sempre estarem à disposição para ajudar em qualquer ocasião.

Aos sinceros do COLUNI e do curso de agronomia da UFV, que são fora de série, sem palavras pra dizer o que representam pra mim.

A toda equipe de trabalho do manejo integrado de plantas daninhas, pelo auxílio no desenvolvimento dos trabalhos e pela amizade e o companheirismo de sempre. Não fiz nada sozinho, sem vocês nada teria sido realizado.

Um agradecimento especial à Cintia, Paulo, Marcelo, Chris, Leandra e Bia pela ajuda e contribuição direta no desenvolvimento desse trabalho.

Ao departamento de Fitotecnia, e à UFV pela oportunidade de aprendizado.

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. LITERATURA CITADA.....	4
2. SORÇÃO DO SULFENTRAZONE EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS DETERMINADA POR BIOENSAIOS	6
2.1. RESUMO.....	6
2.2. ABSTRACT	7
2.3. INTRODUÇÃO.....	8
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
2.6. LITERATURA CITADA	18
3. MOBILIDADE DO SULFENTRAZONE EM SOLOS COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS	21
3.1. RESUMO.....	21
3.2. ABSTRACT	22
3.3. INTRODUÇÃO.....	23
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.6. LITERATURA CITADA	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
5. ANEXO.....	41

RESUMO

FREITAS, Marco Antonio Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Sorção e mobilidade do sulfentrazone em diferentes solos determinadas por bioensaios.** Orientador: Antonio Alberto da Silva. Coorientadores: Lino Roberto Ferreira e Paulo Roberto Cecon.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a sorção e a mobilidade do sulfentrazone em cinco tipos de solos (Planossolo Háptico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo), com diferentes características físicas e químicas. Foram coletadas amostras dos solos à profundidade de 0-20 cm, destorroadas, peneiradas em malha de 4 mm e caracterizadas física e quimicamente. Para determinação da sorção do sulfentrazone foram realizados bioensaios em casa de vegetação, um para cada solo no Delineamento Inteiramente Casualizado (D.I.C.), com 7 doses crescentes do herbicida nos diferentes substratos, visando determinar a dose capaz de inibir em 50% o acúmulo de massa de matéria seca pela parte aérea das plantas indicadoras (*Sorghum bicolor*). A partir dos dados obtidos foi calculada a relação de sorção (RS) dos solos em relação ao substrato inerte (areia lavada). Esse estudo mostrou a seguinte ordem de acordo com a relação de sorção: Planossolo Háptico < Latossolo Vermelho-Amarelo < Argissolo Vermelho < Cambissolo Húmico < Neossolo Regolítico. Para a avaliação da mobilidade do sulfentrazone nos diferentes solos utilizou-se colunas de PVC devidamente preparadas. Foi aplicado, no topo das mesmas, o herbicida na dose de 1,0 kg ha⁻¹ e, 12 horas após, fez-se a simulação de uma chuva de 60 mm. Decorridas 72 horas, as colunas foram abertas longitudinalmente e colocadas na posição horizontal, sendo semeadas ao longo delas a espécie indicadora (*Sorghum Bicolor*) para se avaliar a mobilidade do sulfentrazone nos solos. O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas, no D.I.C, com quatro repetições, sendo as parcelas as colunas preenchidas com cada um dos cinco solos e as subparcelas os 10 segmentos da coluna (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). Foi utilizada uma testemunha sem herbicida para cada solo. Concluiu-se que maiores mobilidades do sulfentrazone ocorreram em solos mais arenosos e com menores teores de matéria orgânica e que os valores de pH dos solos, aliado às demais características físicas e químicas dos mesmos também interferiu na movimentação do herbicida.

ABSTRACT

FREITAS, Marco Antonio Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2011. **Sorption and mobility of sulfentrazone in soils with different physical and chemical characteristics determined by bioensaios.** Adviser: Antonio Alberto da Silva. Co-advisers: Lino Roberto Ferreira and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this study was to evaluate the sorption and mobility of sulfentrazone in five soil types (Haplic Planosol, Red Argisol, Humic Cambisol, Entisol and Red-Yellow Latosol) with different physical and chemical characteristics. Were collected samples of soil to a depth of 0-20 cm, lump breaking, sieved through 4 mm mesh and characterized physically and chemically. To determine the sorption of sulfentrazone bioassays were conducted in a greenhouse, one for each soil in a completely randomized design (CRD), in which treatments consisted of seven increasing doses of the herbicide on different substrates, to determine the dose of the herbicide can to inhibit 50% of the accumulation of dry matter by the leaf part of the plants of sorghum (*Sorghum bicolor*), used as an indicator species. From the data obtained was calculated sorption ratio (SR) of soils in relation to the substrate (sand washed). This study showed the following order according to the ratio of sorption: Haplic Planosol < Red-Yellow Latosol < Red Argisol < Humic Cambisol < Entisol. To evaluate the mobility of sulfentrazone in different soils were used properly prepared PVC columns, which were moistened and placed vertically to drain excess water. After this period, was applied on top of them, the herbicide dose of 1.0 kg ha⁻¹ and, after 12 hours, it was the simulation of a rain of 60 mm. After 72 hours, the columns were opened lengthwise and placed in a horizontal position, being planted them along the indicator species (*Sorghum bicolor*) to evaluate the mobility of sulfentrazone in soils. The experiment was conducted in split plot in randomized with four replications, and plots formed by the columns filled with each of the five land plots and the 10 spinal segments (development of indicator plants in substrates of the columns in the depths of 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 and 45-50 cm). As a complement, we used no herbicide for each soil. It was concluded that greater mobility of sulfentrazone occurred in sandier soils and lower organic matter content and the pH of the soil, combined with other physical and chemical characteristics of these also interfere with the movement of the herbicide.

1 - INTRODUÇÃO GERAL

Impulsionado pelos avanços tecnológicos, o uso de agrotóxicos promoveu incrementos de produção e redução nas perdas causadas por plantas daninhas e demais pragas. Os herbicidas representam praticamente 40 % do volume da comercialização desses produtos no Brasil (SINDAG, 2011).

O controle químico de plantas daninhas é muito empregado pelos produtores, pois possui uma série de vantagens como menor dependência da mão-de-obra, pode ser realizado mesmo em épocas chuvosas, é eficiente no controle de plantas daninhas na linha de plantio não afetando o sistema radicular das culturas, permite a realização do cultivo mínimo ou plantio direto das culturas, permite o controle de plantas daninhas que se propagam vegetativamente além de permitir o plantio a lanço e/ou alteração no espaçamento das culturas quando necessário (Silva et al., 2007).

Entretanto, atualmente existe grande preocupação mundial no que tange à contaminação ambiental causada pela utilização incorreta de tais produtos, sendo considerado um dos principais fatores responsáveis pela degradação ambiental (Law, 2001 e Vivian et al., 2007).

O herbicida ao atingir o solo pode ser adsorvido, lixiviado e/ou degradado por processos físicos, químicos ou biológicos, além de ser absorvido pelas plantas (Resende et al., 1995). Esses processos são dependentes das características do solo, das condições climáticas e do herbicida (Brady, 1974). Deste modo, os conhecimentos básicos das interações dos herbicidas com o solo, são de fundamental importância para compreender o comportamento destes compostos no meio ambiente, levando-se em consideração os principais processos de retenção, transformação e transporte (Silva et al., 2007). A lixiviação de um herbicida no solo é dependente da capacidade de retenção da molécula do herbicida à superfície do solo (sorção). Normalmente quanto maior for a intensidade da sorção, menor será a mobilidade do produto no perfil do solo (Marchese, 2007). Tanto a sorção quanto a lixiviação são processos altamente dependentes das características físico-químicas do herbicida e das propriedades e características do solo (Inoue et al., 2003).

O sulfentrazone, [N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1 H-1,2,4-triazol-1-il] fenil] metanosulfonamida], pertence ao grupo químico das triazolinonas e possui como mecanismo de ação a inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), a qual é responsável pela oxidação do protoporfirinogênio a

protoporfirina IX, na biossíntese da clorofila. Os sintomas de intoxicação do sulfentrazone são originados quando a enzima Protox, comum tanto à síntese da clorofila como do grupo heme, que inibe a transformação do protoporfirogênio para protoporfirina, tem sua ação inibida pelo herbicida (Duke et al., 1991; Lee et al., 1993), ocorrendo a oxidação do protoporfirogênio, com o consequente acúmulo de protoporfirina. A protoporfirina em tecidos na presença de luz e do O₂, ocasiona a formação de oxigênio *singlet*, o qual, agindo como radical livre provoca a peroxidação dos lipídios das membranas celulares, com consequente morte celular (Lee et al., 1993; Dayan & Weete, 1996; Hulting et al., 2001). A clorose ocorre devido ao bloqueio da síntese de clorofila (Duke et al., 1991; Dayan & Weete, 1996). A injúria na parte aérea das plantas tratadas com sulfentrazone parece ser facilitada pelo rápido transporte e acúmulo do herbicida no envelope do cloroplasto (Duke et al., 1991; Lee et al., 1993).

É um herbicida de aplicação preferencialmente em pré-emergência, controla espécies mono e dicotiledôneas, sendo amplamente utilizado no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, eucalipto e café (ANVISA, 2011). Apresenta meia-vida estimada no solo ($t_{1/2}$) entre 110 e 280 dias, variando de acordo com as condições edafoclimáticas locais, sendo a atividade microbiológica seu mecanismo inicial de degradação (Vivian et al., 2006). Esse herbicida apresenta solubilidade em água de 490 mg L⁻¹ e pressão de vapor de 1x10⁻⁹ mm Hg a 25 °C. No solo, a mobilidade é moderada, de baixa adsorção, com K_{oc} a 43, pK_a a 6,56 e K_{ow} a 1,48 (Rodrigues & Almeida, 2005).

A adsorção e mobilidade do sulfentrazone são dependentes do tipo e do pH do solo, sendo que a sorção decresce e a mobilidade aumenta quando o pH está acima do seu pK_a. A eficácia do sulfentrazone é dependente do teor de matéria orgânica, pH e umidade no solo. O controle de plantas daninhas decresce, principalmente, na presença de maiores teores de matéria orgânica, indicando menor quantidade do herbicida presente na solução do solo para exercer sua ação. A disponibilidade de água no solo está diretamente relacionada com a dissipação do sulfentrazone, pois esta condição pode melhorar as condições de degradação da molécula ou mesmo lixiviá-la em profundidade no solo. A degradação do sulfentrazone no solo normalmente é lenta, e caracterizada pelo declínio gradual na concentração do herbicida no tempo (Werlang, 2005).

A técnica do bioensaio permite avaliar a resposta biológica de um organismo vivo para determinar a presença e/ou concentração de uma substância química em um substrato. Em pesquisas com herbicidas o objetivo é muitas vezes fazer avaliações

qualitativas da bioatividade dos mesmos, mas as avaliações quantitativas são também possíveis (Van Wyk e Reinhardt, 2001), aliando baixo custo a bom resultado prático. Essa técnica consiste em utilizar plantas sensíveis aos produtos testados, de forma que resíduos de herbicidas ou soluções presentes no solo possam ser evidenciados por meio da alteração das características agronômicas da planta-teste (Melo et al., 2010)

O conhecimento da sorção e potencial de lixiviação de herbicidas em solos brasileiros é fundamental para utilização de maneira segura dos herbicidas, evitando-se a contaminação ambiental do solo e da água. É também fundamental para se definir a dose a ser aplicada quando o mesmo for utilizado em pré-emergência, pois elevados índices de sorção e lixiviação podem comprometer a eficiência desses compostos. É enorme a importância do entendimento do destino final dessas moléculas e do estudo do comportamento no ambiente onde são aplicados (Oliveira, 2001; Silva & Silva, 2007).

Uma vez que o comportamento do herbicida no ambiente é dependente das interações com as características físicas e químicas do solo associadas às condições climáticas e sendo escassas informações disponíveis nessa área, já que os principais estudos são provenientes de pesquisas realizadas nos EUA e na Europa, é de grande importância a realização dessas pesquisas no Brasil, visando desenvolver tecnologias que garantam a sustentabilidade do sistema produtivo nacional (Carmo et al., 2008; Silva et al., 2007).

Buscando alternativas para recomendações seguras do sulfentrazone em diferentes solos, utilizando técnicas biológicas, realizou-se este trabalho com objetivo de avaliar a sorção e o potencial de mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas.

1.1 - LITERATURA CITADA

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home/agrotoxicotoxicologia>, acessado em 05/05/2011.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8 ed. New York: Macmillan, 1974. 639 p.

CARMO, M.L. et al. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 26, p. 301-313, 2008.

DAYAN, F. E.; WEETE, J. D. Mechanism of tolerance to a novel phenyl triazolinone herbicide. **Plant Physiology**, v.1 p. 111-119, 1996.

DUKE, S. O. et al. Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v. 39, p. 465-473, 1991.

HULTING, A. G. et al. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars tolerance to sulfentrazone. **Crop Protection**, v. 20, p. 679-683, 2001.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação de herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**. v. 21, p. 313-323, 2003.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **J. Electrostat**, v. 51/52, p. 25-42, 2001.

LEE, H. J. Cellular localization of protoporphyrinogen-oxidizing activities of etiolated barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. **Plant Physiology**, v. 102, p. 881-889, 1993.

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

MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, p. 385-392, 2010.

OLIVEIRA M. F. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Ed. Livraria Editora Agropecuária, 2001, Cap. 10, 27p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. p.304.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, PR, 2005. 592 p.

SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, Dados 2011. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br>>. Acesso em: 19/05/2011.

SILVA, A. A.; SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 367 p.

VAN WYK L. J. e REINHARDT C. F. A Bioassay Technique Detects Imazethapyr Leaching and Liming-Dependent Activity. **Weed Technology**, v. 15, p.1-5, 2001

VIVIAN, R. et al. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 25, p. 111-124. 2007

WERLANG R. C. **Interação herbicida ambiente no manejo integrado de plantas daninhas**. 2005. 113 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.

2 - SORÇÃO DO SULFENTRAZONE EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS DETERMINADA POR BIOENSAIOS

2.1 - RESUMO

A utilização inadequada de herbicidas tem causado sérios problemas ambientais em consequência da contaminação de águas, superficiais e subterrâneas, e poluição do solo dificultando novos cultivos. Neste trabalho, utilizando-se a técnica de ensaios biológicos avaliou-se o potencial de sorção do sulfentrazone em seis substratos com características físicas e químicas diferentes. Para a realização desse estudo cultivou-se nos diferentes substratos, compostos pelos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo; além de um apenas com areia lavada, o sorgo (*Sorghum bicolor*) como planta indicadora. O experimento foi realizado no D.I.C., e os tratamentos foram constituídos de 7 doses crescentes do sulfentrazone em cada um dos substratos. Aos 21 dias após emergência do sorgo realizou-se a colheita das plantas de sorgo determinando-se a massa da matéria seca, e a dose (C_{50}) do herbicida capaz de reduzir em 50% o acúmulo de massa da matéria seca das plantas indicadoras. Com estes dados calculou-se a relação de sorção (RS) do sulfentrazone por meio da comparação da relação dos resultados da C_{50} de cada solo, com a C_{50} obtida na areia lavada. Os valores de RS diferiram para os diferentes solos, apresentando a seguinte ordem crescente: Planossolo Háplico < Latossolo Vermelho Amarelo < Argissolo Vermelho < Cambissolo Húmico < Neossolo Regolítico; de acordo com suas características físicas e químicas. Conclui-se que para se fazer recomendação do sulfentrazone no intuito de garantir eficiência técnica e sustentabilidade ambiental é necessário antes conhecer as características químicas e físicas dos solos, pois, a sorção deste herbicida é muito influenciada pela textura, teor de matéria orgânica e pH dos solos.

Palavras chave: herbicida, poluição, ensaio biológico.

2.2 – ABSTRACT

SULFENTRAZONE SORPTION OF DIFFERENT TYPES OF SOIL IN PARTICULAR BY BIOENSAIOS

Improper use of herbicides has caused serious environmental problems as a result of contamination of both surface and groundwater, and soil pollution, difficulting new crops introduction. In this work, using the technique of biological assays evaluated the potential of sulfentrazone sorption in six substrates with different physical and chemical characteristics. To perform this study grew up in different substrates, composed of soil, Haplic Planosol, Red Argisol, Humic Cambisol, Entisol and Red-Yellow Latosol, besides just a washed sand, sorghum (*Sorghum bicolor*) as a bioindicator . The experiment was carried out at DIC, and the treatments consisted of seven increasing doses of sulfentrazone in each of the substrates. At 21 days after emergence of sorghum held the harvest of sorghum plants by determining the dry matter and the dose (C_{50}) of the herbicide can reduce by 50% the accumulation of dry matter of indicator plants. With these data we calculated the ratio of sorption (RS) of sulfentrazone by comparing the results of the relation of each soil C_{50} to C_{50} obtained with the washed sand. The RS values differ for different soils, with the following increasing order: Haplic Planosol < Red-Yellow Latosol < Red Argisol < Humic Cambisol < Entisol, according to their physical and chemical characteristics. It is concluded that to make recommendation of sulfentrazone in order to ensure technical efficiency and environmental sustainability is needed before knowing the physical and chemical characteristics of soils, therefore, the sorption of this herbicide is highly influenced by texture, organic matter content and pH of soils.

Key words: herbicide, pollution, biological test.

2.3 - INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos pode garantir eficiência no controle de pragas, doenças e plantas daninhas e no processo produtivo (Vivian et al. 2006). Entretanto, existe grande preocupação mundial referente à contaminação ambiental causada pela utilização incorreta desses produtos (Law, 2001 e Vivian et al., 2007).

Nesta classe de produtos, os de maior uso são os herbicidas. Isto se explica pela presença constante das plantas daninhas nas lavouras as quais se não controladas na época adequada podem causar perdas elevadas ou até mesmo totais na produtividade das culturas devido à competição por água, luz e nutrientes.

Além disso, diversas espécies de plantas daninhas podem dificultar ou impedir a colheita, serem hospedeiras de pragas e doenças, prejudicarem a qualidade do produto colhido ou serem tóxicas a animais e ao homem.

As magnitudes dessas perdas são variáveis de acordo com as espécies predominantes na área, agressividade, momento de emergência, densidade da infestação e distribuição das mesmas na lavoura. Dentre os diversos métodos de controle de plantas daninhas disponíveis o químico por permitir rapidez na operação e ser mais econômico tem a preferência da maioria dos produtores. Todavia, a utilização com eficiência desse método requer conhecimentos técnicos sobre o herbicida, o ambiente e também sobre tecnologia de aplicação (Silva et al. 2007).

Herbicidas que apresentam longo residual no solo, como o sulfentrazone, quando aplicados sem o conhecimento de suas interações com ambiente podem danificar a cultura tratada, ser ou não eficiente no controle das plantas daninhas além de contaminar de forma séria o solo e as águas superficiais e subterrâneas (Werlang 2005). Isto ocorre porque independentemente do herbicida ser aplicado em pré ou pós-emergência das plantas daninhas o seu destino final será sempre o solo (Law, 2001). Segundo esse autor 60 a 70% do total de agrotóxicos aplicados nos campos agrícolas não atingem a superfície do alvo de interesse e, de forma direta ou indireta atingem o solo, principal receptor e acumulador desses compostos.

O herbicida ao atingir o solo pode ser sorvido, lixiviado ou degradado por processos físicos, químicos ou biológicos, além de poder ser absorvido pelas plantas (Silva et al., 2007). Esses processos são dependentes das características do solo, das condições climáticas e do herbicida (Brady, 1974). Deste modo, os conhecimentos

básicos das interações dos herbicidas com o solo, são de fundamental importância para compreender o comportamento destes compostos no meio ambiente, levando-se em consideração os principais processos de retenção, transformação e transporte (Silva et al., 2007).

A sorção refere-se à atração e retenção das moléculas, ou íons à superfície dos sólidos e se constitui um processo fundamental para a dinâmica dos compostos fitossanitários nos solos. Esses produtos apresentam comportamento complexo resultante de numerosas interações com os constituintes das diferentes frações do solo. As frações orgânica e a argila, associadas às características químicas do solo, principalmente o pH, são as características que mais influenciam no processo de sorção e, conseqüentemente, na movimentação desses produtos no solo (Inoue et al., 2003, Boivin et al., 2005, Rossi et al., 2005, Magalhães, 2007, Monquero et al. 2010). Deste modo a sorção dos herbicidas pelos colóides dependerá da associação das características do solo com as do herbicida.

Dentre os herbicidas de longo residual no solo e de grande uso no Brasil se destaca o sulfentrazone. Este herbicida pertence ao grupo químico das triazolinonas.

Atua inibindo a protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), a qual é responsável pela oxidação do protoporfirinogênio a protoporfirina IX, na biossíntese da clorofila. É um herbicida aplicado preferencialmente em pré-emergência, controla espécies mono e dicotiledôneas, sendo recomendado para controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, soja, eucalipto e café (ANVISA, 2011).

Esse herbicida apresenta meia-vida estimada no solo ($t_{1/2}$) entre 110 e 280 dias, variando de acordo com as condições edafoclimáticas locais, sendo a atividade microbiológica seu mecanismo inicial de degradação (Vivian et al., 2006). Apresenta solubilidade em água de 490 mg L^{-1} e pressão de vapor de $1 \times 10^{-9} \text{ mm Hg}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. No solo, a mobilidade é moderada, de baixa adsorção, com K_{oc} a 43, pK_a a 6,56 e K_{ow} a 1,48 (Rodrigues & Almeida, 2005).

Segundo estes autores a eficiência do controle de plantas daninhas pelo sulfentrazone decresce com o aumento do teor de matéria orgânica no solo, indicando menor concentração do herbicida na solução do solo para exercer sua ação. A disponibilidade de água no solo está diretamente relacionada com a diminuição da concentração do sulfentrazone na camada superior do solo, pois esta condição pode acelerar a degradação da molécula ou mesmo lixiviá-la para camadas mais profundas no

solo. A degradação do sulfentrazone no solo normalmente é lenta e caracterizada pelo declínio gradual na concentração do herbicida no tempo (Werlang, 2005).

Diante do exposto e considerando a carência de resultados de pesquisa com o sulfentrazone em solos tropicais realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o potencial de sorção do sulfentrazone nos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico, e Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizando a técnica de ensaios biológicos.

2.4 - MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas amostras de quatro solos provenientes do estado do Rio Grande do Sul (Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico e Neossolo Regolítico) e um Latossolo Vermelho-Amarelo proveniente da Zona da Mata mineira. Todas as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, destorroadas, secadas à sombra, peneiradas em malha de 4 mm, e posteriormente caracterizadas química e fisicamente (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Características químicas dos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliados nos experimentos.

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				-----%-----		dag kg ⁻¹		mg L ⁻¹	
Planossolo	5,6	3,2	11	0,3	0,2	0,3	1,82	0,53	0,83	2,35	23	36	1,1	43,9
Argissolo	5,2	1,5	27	1,2	0,6	2,1	6,77	1,87	3,97	8,64	22	53	2,1	20,8
Cambissoloo	5,1	5,9	99	0,9	0,5	1,7	6,77	1,65	3,35	8,42	20	51	2,3	26,6
Neossolo	5,1	9,1	115	3,3	0,7	0,7	8,09	4,29	4,99	12,38	35	14	5,1	23,5
Latossolo	4,3	1,5	40	1,3	0,2	0,5	4,79	1,6	2,1	6,39	25	24	2,4	26,4

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

Tabela 2 - Características físicas dos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo avaliados nos experimentos.

Solo	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	----- % -----			
Planossolo	87	4	9	Areia Franca
Argissolo	42	20	38	Franca Argiloso
Cambissolo	62	12	26	Franco Argilo Arenoso
Neossolo	51	17	32	Franco Argiloso
Latossolo	35	11	54	Argiloso

Análises realizadas no Laboratório de Análises de solos Viçosa LTDA- Determinações realizadas pelo método da pipeta (Embrapa, 1997; Ruiz, 2005)

Foram utilizados seis substratos, cinco solos (Tabela 1) além de um substrato inerte composto por areia lavada. Para o preparo desse substrato inerte fez-se a incubação da areia com solução HCl por 24 horas, seguida de nova incubação por mais 24 horas com solução de NaOH, e lavagem sequencial com água limpa em abundância até se atingir pH 7,0.

Para obtenção da estimativa do potencial de sorção do sulfentrazone nos substratos, foram conduzidos vários experimentos preliminares com cada substrato para definir a dose do herbicida capaz de inibir 50% do acúmulo de matéria seca da planta bioindicadora (*Sorghum bicolor*).

Estes experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no delineamento inteiramente casualizado com três repetições para cada um dos tratamentos (doses crescentes do sulfentrazone em cada um dos substratos). Inicialmente foram avaliadas 7 doses com amplitudes maiores e definidas tomando-se como base as características físicas e químicas de cada substrato. Estes experimentos foram repetidos ajustando-se as doses até que fossem encontradas faixas de doses que permitissem definir as doses extremas. Após esta etapa, foram estipuladas as doses de sulfentrazone a serem avaliadas em cada substrato (Tabela 3) para que fossem realizados os experimentos definitivos. Para esses experimentos adotou-se a mesma metodologia dos ensaios preliminares que consistiu de um experimento para cada substrato, no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos preenchidos com 280 cm³ dos substratos, compostos pelos diferentes tipos de solo e pelo substrato inerte. Neste foi feita a semeadura de oito sementes por vaso da espécie indicadora (*Sorghum bicolor*). Logo após, fez-se o umedecimento dos substratos até próximo à capacidade de campo e a aplicação do herbicida nas diferentes doses conforme (Tabela 3). Para essas aplicações utilizou-se um pulverizador pressurizado por CO₂ comprimido, equipado com barra com dois bicos TT11002, amarelos, espaçados de 0,50 m e volume de calda de 150 L ha⁻¹. Aos dez dias após semeadura foi realizado o desbaste, permanecendo apenas 4 plantas em cada vaso.

Durante a condução do experimento em casa de vegetação, os vasos foram irrigados diariamente mantendo-se sempre a umidade do solo próximo à capacidade de campo. Para manter o bom crescimento das plantas indicadoras estas foram tratadas com solução de complementação nutricional equilibrada (Tabela 1; Anexo) diferenciada para cada um dos substratos.

Tabela 3 – Doses do sulfentrazone* em g ha⁻¹ aplicada nos diferentes substratos.

Areia	Planossolo	Argissolo	Cambissolo	Neossolo	Latossolo
-----Doses (g ha ⁻¹) -----					
0	0	0	0	0	0
25	37,5	50	100	100	12,5
50	75	100	200	200	25
75	112,5	150	300	300	50
100	150	200	400	400	100
125	187,5	250	500	500	150
150	225	300	600	750	250

*/ Foi aplicado o produto comercial Solara contendo 500 g L⁻¹ de sulfentrazone.

Aos 21 dias após a semeadura, foi realizada a colheita dos experimentos, que consistiu no corte da parte aérea das plantas rente à superfície do substrato. Posteriormente, todo esse material foi secado em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até atingir massa constante, sendo determinada a massa do tecido seco das plantas em balança com precisão de 0,001 g. Os valores de massa da matéria seca das plantas de sorgo (MS) foram transformados para porcentagem em relação a MS da testemunha, adotando-se 100 % para MS da testemunha.

Os resultados obtidos foram interpretados, a partir da comparação dos valores da massa da matéria seca da parte aérea dos substratos tratados com herbicida com o tratamento sem herbicida (dose zero), sendo submetidos à análise estatística, utilizando-se o modelo log-logístico não-linear proposto por Seefeldt et al., (1995):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \frac{C_0^b}{C_{50}^b}}$$

onde C e D correspondem ao nível máximo e mínimo da curva de dose-resposta; b , ao declive da curva em torno do C_{50} ; e o C_{50} , à dose-resposta referente à redução de 50% da massa de matéria seca da parte aérea da planta indicadora.

A partir dos dados obtidos de C_{50} para cada solo e para areia, calculou-se a relação de sorção (RS) do solo em relação à resposta obtida em areia para a espécie indicadora (Souza, 1994):

$$RS = \frac{C_{50\text{ solo}} - C_{50\text{ areia}}}{C_{50\text{ areia}}}$$

Considerando que valores de RS elevados indicam maior capacidade de adsorção do herbicida no solo e, conseqüentemente, menor potencial de lixiviação do composto no perfil do solo.

2.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de porcentagens de massa da matéria seca acumulada pelas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em função das doses de sulfentrazone aplicado aos diferentes substratos, em relação à testemunha sem aplicação do herbicida, estão apresentadas na Figura 1, assim como as equações ajustadas para as curvas de sorção do herbicida nos diferentes solos são apresentadas na Tabela 4.

Observa-se na Figura 1 que as concentrações do sulfentrazone capazes de inibir em 50% o acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo (C_{50}) e, também as relações de sorção do herbicida entre os diferentes solos e o substrato inerte foram diferentes entre os solos. Isto ocorreu devido às características físicas e químicas específicas de cada substrato.

Estas observações ficam evidentes quando se analisa os dados da Tabela 5 que expressa a relação de sorção encontrada para os diferentes solos. O solo que apresentou a maior capacidade de adsorver o sulfentrazone foi o Neossolo Regolítico que se caracteriza por apresentar o maior teor de matéria orgânica entre os solos avaliados (Tabela 2). Neste solo a razão de sorção do sulfentrazone (RS) foi 4,20. Por outro lado a menor RS foi observada para o Planossolo Háplico (0,53). Este solo apresenta o menor teor de matéria orgânica, 1,1 dag kg⁻¹, teor de argila de 9 % e pH de 5,6 (Tabela 1 e Tabela 2).

Este fato evidencia a importância da matéria orgânica no processo de adsorção do sulfentrazone nos solos e confirmam resultados encontrados por Brusseau e Rao (1989). Estes autores ressaltam que o principal material adsorvente do solo é a matéria orgânica, por possuir sítios tridimensionais formando pontes de hidrogênio que promovem a adsorção de compostos iônicos e não iônicos aos colóides orgânicos. Também Viera et al. (1999) afirmam que a matéria orgânica do solo é responsável pelo acréscimo na sorção de vários compostos, apresentando papel fundamental na adsorção de contaminantes ambientais, como herbicidas e metais pesados. Vivian et al. (2006) trabalhando com este mesmo herbicida também encontrou resultado semelhante, considerando a matéria orgânica do solo como um dos principais fatores na adsorção do sulfentrazone pelo solo.

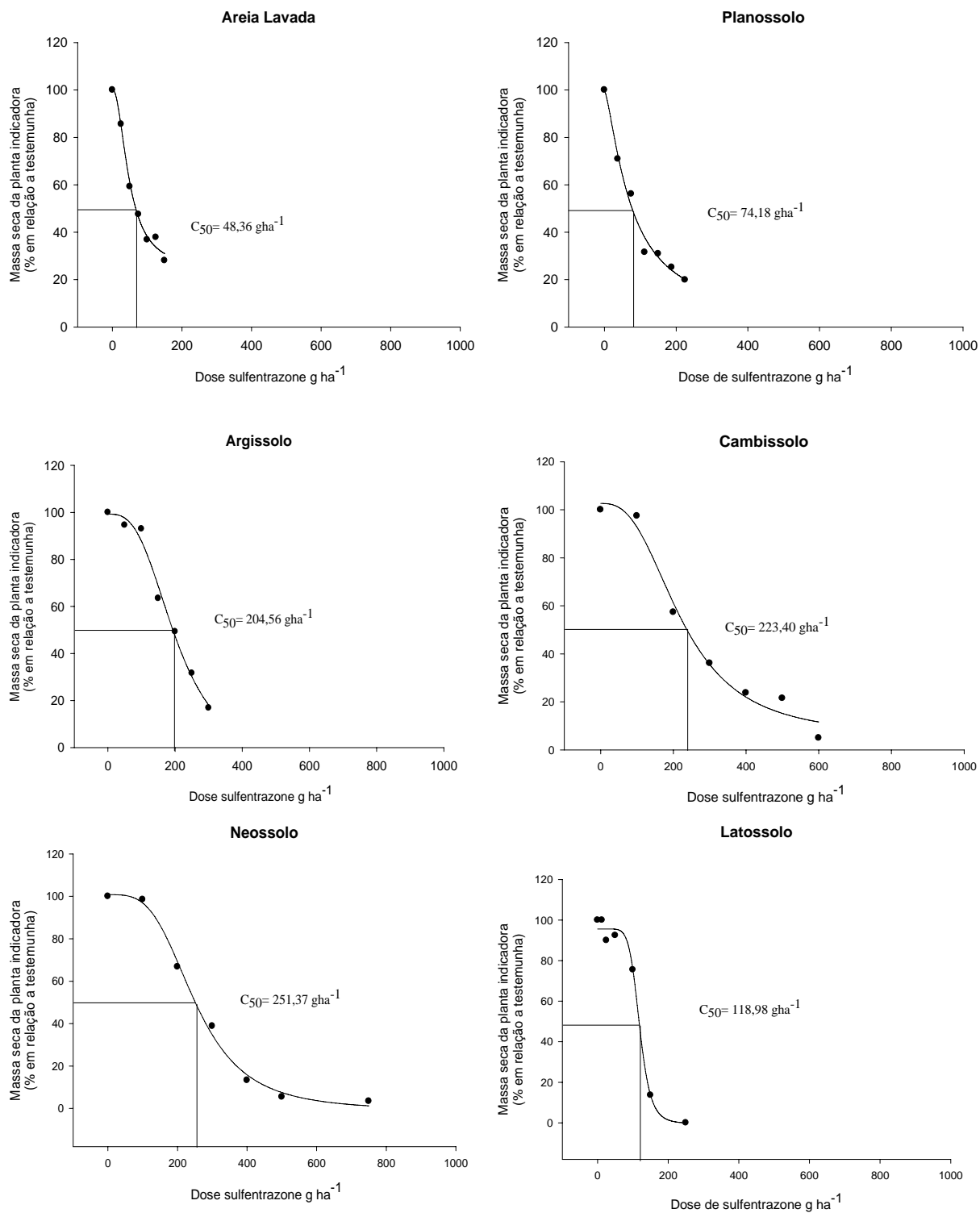


Figura 1 – Porcentagem da massa da matéria seca da parte aérea de sorgo em relação à MS da testemunha aos 21 dias após a emergência, em diferentes substratos, tratado com doses crescentes de sulfentrazone.

Tabela 4 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação da matéria seca da parte aérea de sorgo aos 21 dias após a emergência, em diferentes substratos, tratado com doses crescentes de sulfentrazone.

Substrato	Equação de Regressão	R ²
Areia	$\hat{Y} = 24,1575 + \frac{100,3159 - 24,1575}{1 + \left(\frac{X}{48,3640}\right)^{3,0455}}$	0,99
Planossolo	$\hat{Y} = 2,7950 + \frac{99,7908 - 2,7950}{1 + \left(\frac{X}{74,1767}\right)^{1,3760}}$	0,99
Argissolo	$\hat{Y} = -8,1112 + \frac{99,2505 + 8,1112}{1 + \left(\frac{X}{204,5623}\right)^{2,9555}}$	0,99
Cambissolo	$\hat{Y} = 5,3553 + \frac{102,6349 - 5,3553}{1 + \left(\frac{X}{223,3961}\right)^{2,7088}}$	0,99
Neossolo	$\hat{Y} = -0,9622 + \frac{100,7832 + 0,9622}{1 + \left(\frac{X}{251,3659}\right)^{3,4867}}$	0,99
Latossolo	$\hat{Y} = -0,3802 + \frac{95,6527 + 0,3802}{1 + \left(\frac{X}{118,1209}\right)^{7,1973}}$	0,99

O potencial de sorção do sulfentrazone observado para o Argissolo Vermelho e para o Cambissolo Húmico foi bastante semelhante, confirmado pelos valores muito próximos de RS encontrados para esses substratos (Tabela 5). Estes dois solos apresentaram as características mais relevantes com relação à sorção do sulfentrazone, matéria-orgânica e pH, com valores muito similares (Tabela 1), 5,2 e 5,1 para unidades de pH; 2,1 e 2,3 dag kg⁻¹ para teor de matéria orgânica no Argissolo Vermelho e Cambissolo Húmico, respectivamente.

O Latossolo Vermelho-Amarelo, mesmo apresentando maior teor de argila e teor de matéria orgânica de 2,4 dag kg⁻¹, semelhante aos valores observados para Argissolo e Cambissolo, a RS= 1,1 observada para esse substrato foi inferior em relação aos outros

dois com teor de matéria orgânica com valores parecidos, isso pode ser explicado pelo pH observado para o Latossolo (Tabela 1). No valor de pH igual a 4,3 o sulfentrazone, um herbicida ácido fraco com constante de dissociação, $pK_a = 6,56$, pode protonar parte de seus grupamentos resultando na ocorrência de um comportamento parcialmente catiônico, havendo a repulsão de cargas o que resulta na redução do potencial de sorção desse solo (Borggard e Streibig 1998).

Grey et. al. (1997) correlacionando a concentração do sulfentrazone com diferentes valores de pH em solos, observaram que a sorção do sulfentrazone foi superior em concentrações mais baixas e valores mais altos de pH (maiores que o pK_a), indicando que a sorção desse herbicida é também dependente do pH do solo em estudo.

A ordem decrescente da relação de sorção do sulfentrazone nos solos estudados (Tabela 5) foi: Planossolo Háplico < Latossolo Vermelho-Amarelo < Argissolo Vermelho < Cambissolo Húmico < Neossolo Regolítico, o que indica a importância das características do solo na capacidade sorviva deste herbicida no solo.

Tabela 5 – Características químicas e físicas dos solos e concentração do herbicida no solo que inibe 50% do acúmulo de matéria seca da planta indicadora (C_{50}) e Razão de Sorção (RS).

Substrato	pH (H ₂ O)	Teor de Argila (dag kg ⁻¹)	M.O. (dag kg ⁻¹)	CTC (T) (cmol _c dm ⁻³)	C ₅₀ (g ha ⁻¹)	RS
Areia Lavada	7,0	00	00	00	48,36	----
Planossolo	5,6	9	1,1	0,83	74,18	0,53
Argissolo	5,2	38	2,1	3,97	204,56	3,23
Cambissolo	5,1	26	2,3	3,35	223,40	3,62
Neossolo	5,1	32	5,1	4,99	251,37	4,20
Latossolo	4,3	54	2,4	2,1	118,98	1,42

Conclui-se que a sorção do sulfentrazone é muito influenciada pelo pH e teor de matéria orgânica do solo. Por isso, antes da recomendação desse herbicida há necessidade de conhecimento das características físicas e químicas do solo, para se obter controle eficiente das plantas daninhas e, também, evitar risco de contaminação ambiental.

2.6 - LITERATURA CITADA

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home/agrotoxicotoxicologia>, acessado em 05/05/2011.

BOIVIN, A. et al. Bentazone adsorption and desorption on agricultural soils. **Agronomy for sustainable development**. 2005 , v.25, p. 309 – 315.

BORGGAARD, O.K., STREIBIG, J.C. Chlorsulfuron adsorption by humic acid, iron oxides, and montmorillonite. **Weed Science**,v. 36, p. 530-534, 1988.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8.ed. New York: Macmillan, 1974. 639 p.

BRUSSEAU, M.L., RAO, P.S.C. The influence of sorbate organic matter interactions in sorption nonequilibrium. **Chemosphere**, v.17, p.1691- 1706, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GREY, T. L. et al. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**.,v.45, p.733-738. 1997.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação de herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**. v. 21, p. 313-323, 2003.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **J. Electrostatic**, v. 51- 52, p. 25-42, 2001.

MAGALHÃES, E. J. **Sorção de ametryn em frações de solo associadas à matéria orgânica**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.

MONQUERO P. A. et al. Lixiviação e Persistência dos herbicidas sulfentrazone e Imazapic. **Planta daninha**, Viçosa, v. 28, p.185-195, 2010.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. (Eds): Londrina. 591p, 2005.

ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, p. 701-710, 2005.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SEEFELDT, S.S. et al. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, v.9, p.218-227, 1995.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.

SOUZA, A.P. de. **Atividade de oxyfluorfen, 2,4-D e glyphosate em solos de diferentes texturas na presença e na ausência de composto orgânico**. Viçosa - MG, UFV. (Dissertação de mestrado), 71p. 1994.

STREIBIG, J.C. *Herbicide bioassay*. **Weed Research** v.28, p.479-484, 1988.

VIEIRA, E. M. et al. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, p.305-308, 1999.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 24, p.741-750, 2006.

VIVIAN, R. et al. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, p.111-124, 2007.

WERLANG R. C. **Interação herbicida ambiente no manejo integrado de plantas daninhas.** 2005. 113 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.

3 - MOBILIDADE DO SULFENTRAZONE EM SOLOS COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

3.1 – RESUMO

O conhecimento dos fatores que influenciam a lixiviação dos herbicidas no solo para é fundamental para se utilizar esses produtos de forma segura do ponto de vista técnico e ambiental. Neste trabalho avaliou-se a mobilidade do sulfentrazone em quatro solos provenientes da região Sul do Brasil (Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico e Neossolo Regolítico) e um Latosso Vermelho-Amarelo da Zona da Mata de Minas Gerais. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm e caracterizadas física e quimicamente. Os substratos foram colocados em colunas devidamente preparadas e, posteriormente aplicou-se nos topos das mesmas $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ do herbicida, seguida de uma chuva simulada de 60 mm. Após a drenagem da água foram semeadas ao longo da coluna sementes da espécie *Sorghum bicolor* como bioindicadora da presença do Sulfentrazone. Aos 21 dias após plantio foi realizada avaliação visual da intoxicação das plantas de sorgo, e a coleta da parte aérea das mesmas para determinação da massa de matéria seca. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdividas, sendo que as colunas preenchidas com cada um dos solos constituíram as parcelas e as 10 profundidades da coluna (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm) as subparcelas, mais uma testemunha sem herbicida para cada solo. Os teores de argila, de matéria orgânica e o pH de cada solo influenciaram na mobilidade do sulfentrazone, sendo que solos com menores teores de argila e matéria orgânica apresentaram maiores potenciais de lixiviação desse herbicida.

Palavras chave: mobilidade; bioindicador; matéria orgânica.

3.2 – ABSTRACT

MOBILITY OF SULFENTRAZONE IN SOILS WITH DIFFERENT PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

The knowledge of factors that influence the leaching of herbicides in the soil to be essential to use of these products safely in terms of technical and environmental. In this work was to evaluated the mobility of sulfentrazone in four soils from southern Brazil (Haplic Planosol, Red Argisol, Humic Cambisol and Entisol) and a Red-Yellow Latosso from Zona da Mata de Minas Gerais. Soil samples were collected at a depth of 0-20 cm and characterized physically and chemically. The substrates were placed in columns properly prepared and subsequently applied to the tops of the same 1 kg ha^{-1} of the herbicide, followed by a simulated rainfall of 60 mm. After draining the water were planted along the spine of Sorghum bicolor seeds as bioindicators of the presence of sulfentrazone. At 21 days after planting was performed visual assessment of the presence of the sorghum plants, and the collection of aerial parts of the same for the determination of dry matter. The experimental design was completely randomized in subdivided plots, whereas the columns filled with each of the five soils as main plots and the 10 column depths (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 and 45-50 cm) subplots, and a control without herbicide for each soil. The clay content, organic matter and pH of each soil influenced the mobility of sulfentrazone, and soils with lower clay and organic matter showed higher potential of leaching of this herbicide.

Key words: mobility; bioindicator; organic matter.

3.3 – INTRODUÇÃO

Os herbicidas aplicados em pré ou pós-emergência acabam direta ou indiretamente alcançando o solo (Law, 2001), podendo causar danos às culturas subsequentes (Silva et al., 1999; Gonçalves et al., 2001), à fauna e à flora do solo, além da contaminação de águas superficiais e subterrâneas. A partir do momento que esses compostos atingem o solo, inicia-se o processo de redistribuição e degradação dos mesmos, o qual pode ser extremamente curto, como o que ocorre com algumas moléculas simples e não-persistentes, ou perdurar por meses ou anos, como ocorre com compostos altamente persistentes (Filizola et al., 2002).

O potencial de contaminação do lençol freático por herbicidas ou a sua permanência nas camadas superficiais do solo dependem, principalmente, de sua mobilidade no perfil do solo, a qual está diretamente vinculada à sua capacidade de sorção e inversamente à degradação (Vivian et al., 2006). Segundo Oliveira (2001) a lixiviação é a principal forma de transporte de moléculas solúveis em água e não-voláteis no solo e depende das características físico-químicas do agrotóxico e do solo, além das condições climáticas da região onde foi aplicado. O fluxo de água promovido pela diferença de potencial entre dois pontos carrega essas moléculas fazendo com que elas se movimentem no perfil do solo (Prata et al., 2003). A lixiviação em pequena escala é fundamental para incorporação superficial de herbicidas aplicados em pré-emergência, possibilitando que os mesmos atinjam sementes ou plantas em germinação. Todavia, em excesso, esse fenômeno pode carregá-los para camadas do solo mais profundas, limitando sua ação e tornando-os possíveis contaminadores do lençol freático (Monquero et al., 2008).

Quando os herbicidas são lixiviados para as camadas mais profundas do solo estes terão seu tempo de permanência no ambiente prolongado. Sarmah et al., (1998) e Prata et al., (2001) atribuem este fato à menor atividade microbiológica encontrada nas camadas mais profundas do solo.

Dentre os diversos herbicidas que apresentam longa persistência no solo e muito utilizados no Brasil se destaca o sulfentrazone, [N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1 H-1,2,4-triazol-1-il] fenil] metanosulfonamida]. Este pertencente ao grupo das triazolinonas é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), a qual é responsável pela oxidação do protoporfirinogênio a protoporfirina IX, na biossíntese da clorofila. Possui excelente atividade pré-emergente no solo,

controla plantas daninhas dicotiledôneas e diversas espécies monocotiledôneas (FMC corp., 1995), sendo recomendado para controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, café, soja e citros e em pré-emergência das plantas daninhas no pós-plantio da cultura do eucalipto (ANVISA, 2011). Apresenta meia-vida estimada no solo entre 110 e 280 dias variando de acordo com as condições edafoclimáticas locais, sendo a atividade microbiológica seu mecanismo inicial de degradação (Grey et al., 2000; Polubesova et al., 2003) e VIVIAN et al., 2006). O sulfetrazone apresenta pK_a a 6,56 e $Kow = 1,48$, solubilidade em água de 490 mg L^{-1} e pressão de vapor de $1 \times 10^{-9} \text{ mm Hg}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. No solo a sua mobilidade é moderada em consequência de apresentar baixa sorção (Koc médio = 43) (Rodrigues & Almeida, 2005).

Considerando a grande diversidade de solos e condições climáticas no Brasil e a longa persistência do sulfetrazone no ambiente; estudos sobre o comportamento desse herbicida nos solos tropicais são de grande relevância para se definir no futuro modelos que permitam recomendações desse herbicida de modo seguro, tanto quanto a eficiência no controle das plantas daninhas, quanto ao lado ambiental. Neste trabalho objetivou-se avaliar a mobilidade do sulfetrazone em solos que possuem diferentes características físicas e químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizadas amostras de quatro solos provenientes da região Sul do Brasil (Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico e Neossolo Regolítico) e um Latossolo Vermelho-Amarelo proveniente da Zona da Mata Mineira. Todas as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, destorroadas, secas ao ar, peneiradas em malha de 4 mm, e posteriormente caracterizadas física e quimicamente (Tabelas 1 e 2) .

Tabela 1 – Características químicas dos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo, avaliados nos experimentos.

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t)	(T)	V	m	MO	P-rem
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					-----%-----		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	
Planossolo	5,6	3,2	11	0,3	0,2	0,3	1,82	0,53	0,83	2,35	23	36	1,1	43,9
Argissolo	5,2	1,5	27	1,2	0,6	2,1	6,77	1,87	3,97	8,64	22	53	2,1	20,8
Cambissolo	5,1	5,9	99	0,9	0,5	1,7	6,77	1,65	3,35	8,42	20	51	2,3	26,6
Neossolo	5,1	9,1	115	3,3	0,7	0,7	8,09	4,29	4,99	12,38	35	14	5,1	23,5
Latossolo	4,3	1,5	40	1,3	0,2	0,5	4,79	1,6	2,1	6,39	25	24	2,4	26,4

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

Tabela 2 - Características físicas dos solos: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo avaliados nos experimentos.

Solo	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	----- % -----			
Planossolo	87	4	9	Areia Franca
Argissolo	42	20	38	Franco Argiloso
Cambissolo	62	12	26	Franco Argilo Arenoso
Neossolo	51	17	32	Franco Argiloso
Latossolo	35	11	54	Argiloso

Análises realizadas no Laboratório de Análises de solos Viçosa LTDA- Determinações realizadas pelo método da pipeta (Embrapa, 1997; Ruiz, 2005)

Para a realização desse trabalho foram utilizadas colunas de cloreto de polivinil (PVC) de 10 cm de diâmetro x 50 cm de altura, seccionadas transversalmente a cada 5 cm ao longo do seu comprimento. O interior das mesmas foi parafinado com objetivo de reduzir a percolação da água pelo fluxo preferencial entre o solo e o PVC. As colunas foram montadas, recebendo uma tampa lateral removível e uma das extremidades (fundo) foi vedada com gaze e papel filtro.

Posteriormente, foram preenchidas com as amostras de solo e acondicionadas em posição vertical, em recipiente com água até que a água atingisse 80% da altura da

coluna, por um período de 48 horas com intuito de umedecer o solo e eliminar todo ar aprisionado dentro das colunas. Em seguida, realizou-se a vedação da parte superior dessas colunas com filme de polipropileno e papel alumínio; sendo em seguida transferidas para bancada, onde permaneceram na posição vertical, em repouso por mais 72 horas para drenagem do excesso de água.

Em seguida, aplicou-se o herbicida sulfentrazone na parte superior das mesmas, na dose de 1,00 kg ha⁻¹ utilizando um pulverizador pressurizado por CO₂ comprimido, equipado com barra com dois bicos TT11002, espaçados de 0,50 m e volume de calda de 150 L ha⁻¹. Doze horas após a aplicação do herbicida as colunas montadas receberam a simulação de 60 mm de chuva. Após 72 horas, as colunas foram colocadas na posição horizontal, abertas longitudinalmente retirando-se a tampa removível. Foi feito então o seccionamento do solo dentro das colunas a cada 5 cm.

A separação dos segmentos de solo foi feito com uma lâmina de PVC, no intuito de evitar que o sistema radicular das plantas indicadoras atingisse outras secções. Nesta abertura lateral de cada coluna foram semeadas 5 sementes de *Sorghum bicolor*, em cada segmento de 5 cm de solo para se avaliar a mobilidade do sulfentrazone. O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelas colunas de PVC, preenchidas com solos anteriormente citados, e as subparcelas pelos diferentes segmentos da coluna (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm). Foi utilizada uma testemunha sem herbicida para cada solo.

A umidade do solo nas colunas durante a realização deste ensaio foi mantida por meio de irrigações diárias, com objetivo de suprir às plantas a água evapotranspirada. Além das irrigações, neste período as plantas foram tratadas com solução nutritiva (Tabela 1; Anexo) no intuito de que a única fonte de redução da massa de matéria seca fosse a aplicação do herbicida.

A avaliação do índice de intoxicação das plantas indicadoras utilizado para interpretar a mobilidade do herbicida na coluna foi realizada aos 18 dias após a emergência (DAE), atribuindo-se notas de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta) de acordo com a escala da EWRC (1964) modificada. Aos 21 DAE as plantas de sorgo foram seccionadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até atingir peso constante. Posteriormente foi determinada a massa da matéria seca das plantas indicadoras em balança analítica de precisão de 0,001 g.

Os valores obtidos de fitointoxicação e matéria seca da parte aérea das plantas foram comparados aos obtidos na testemunha (sem aplicação do herbicida), sendo os valores de massa da matéria seca das plantas de sorgo (MS) foram transformados para porcentagem em relação a MS da testemunha, adotando-se 100 % para MS da testemunha. Para a interpretação dos resultados, os dados obtidos no bioensaio foram submetidos à análise de variância e de regressão. Na escolha dos modelos foi levado em consideração a resposta biológica e os coeficientes de determinação ($R^2 = S. Q. Reg./ S. Q. Trat.$). Quanto ao fator qualitativo (tipos de solo) as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Observou-se efeito significativo da interação entre os fatores testados (profundidade x solos) para as variáveis matéria seca e intoxicação. Em razão disso fez-se o desdobramento das variáveis, estudando-se as dez profundidades para cada solo e os cinco solos em cada profundidade da coluna (Quadro 1).

Quadro 1 – Resumo da Análise de variância (ANOVA) do experimento referente às variáveis.

Fonte de Variação	G.L	Quadrados Médios	
		Matéria Seca	Intoxicação
Solo	4	4130,23**	5757,50**
Erro (A)	15	286,09	269,33
Profundidade (Prof)	9	24228,64**	25885,00**
Solo x Prof	36	1519,77**	1065,07**
Resíduo	135	245,21	179,42
CV (%) da parcela	-	24,37	38,80
CV (%) da subparcela	-	22,56	32,28

**F significativo a 1% de probabilidade

Em todos os solos independentemente de suas características físicas e químicas constatou-se a presença do herbicida sulfentrazone nos primeiros 5 cm de profundidade. Isto foi evidenciado pelos menores valores da massa de matéria seca das plantas cultivadas neste segmento da coluna (Tabela 3 e Figura 1) e elevados índices de intoxicação nas plantas indicadoras (Figura 2 e Tabela 4).

Quando se comparou a resposta da planta indicadora nos diferentes solos verificou-se que no Planossolo Háplico, ocorreram sintomas de intoxicação e redução no acúmulo de massa de matéria seca em todos os dez segmentos da coluna, o que indicou a lixiviação do sulfentrazone ao longo de todos os 50 cm da coluna. Nos demais solos avaliados observou-se decréscimo dos índices de intoxicação e aumento no acúmulo da massa de matéria seca da planta indicadora na medida em que as plantas foram cultivadas em segmentos de solo oriundos de maior profundidade na coluna, indicando a ocorrência de menor mobilidade do sulfentrazone nestes solos. (Tabelas 3 e 4 e Figuras 1 e 2).

O Planossolo apresentou índices de intoxicação visual superior a 15% e acúmulo de biomassa em relação à testemunha inferior a 80% em todo comprimento da coluna (Tabelas 3 e 4 e Figuras 1 e 2). A elevada movimentação do herbicida nesse solo pode ser explicada pelas características químicas e físicas do mesmo, baixo teor de matéria orgânica igual a $1,1 \text{ dag kg}^{-1}$ (Tabela 1) e alto teor de areia, 87% (Tabela 2). Segundo Monquero et al. (2010) a movimentação das moléculas é dependente dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, como textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, pH, CTC, atividade microbiana, entre outros.

Rossi et al. (2005), avaliaram a movimentação do sulfentrazone em um Chernossolo (textura arenosa), utilizando colunas de 50 cm, observaram a movimentação desse herbicida ao longo do perfil do solo nas colunas, com percolação afetando o desenvolvimento de plantas de sorgo cultivadas em amostras coletadas até as maiores profundidades da coluna. Após aplicação de $0,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de sulfentrazone em solo de textura franco-arenosa e baixo teor de matéria orgânica ($0,4 \text{ dag kg}^{-1}$), Melo et al. (2010) também observaram presença do sulfentrazone capaz de intoxicar plantas de sorgo até 30 cm de profundidade .

Tabela 3. Porcentagem da massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em relação à testemunha sem aplicação do sulfentrazone nos diferentes solos e profundidades das colunas

Profundidade (cm)	Matéria Seca da parte aérea (%)				
	Planossolo	Argissolo	Cambissolo	Neossolo	Latossolo
(0-5)	43,86 A	0,00 B	17,64 AB	22,38 AB	12,61 B
(5-10)	49,39 A	0,00 C	20,86 ABC	38,73 AB	9,76 BC
(10-15)	33,33 A	36,32 A	22,70 A	40,35 A	30,50 A
(15-20)	34,18 B	89,11 A	40,03 B	87,33 A	28,73 B
(20-25)	39,97 B	82,82 A	81,46 A	89,29 A	27,30 B
(25-30)	49,25 B	97,89 A	96,36 A	104,61 A	110,46 A
(30-35)	76,49 B	94,44 AB	123,10 A	99,78 A	97,59 AB
(35-40)	69,32 B	115,45 A	107,15 A	97,66 AB	106,03 A
(40-45)	76,09 B	107,59 A	104,99 A	103,00 A	98,85 A
(45-50)	78,05 B	120,25 A	111,77 A	116,39 A	118,83 A

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Intoxicação nas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) em função da aplicação do sulfentrazone nos solos nas diferentes profundidades das colunas

Profundidade (cm)	Matéria Seca da parte aérea (g)				
	Planossolo	Argissolo	Cambissolo	Neossolo	Latossolo
(0-5)	93,75 AB	100,00 A	91,25 AB	72,50 B	93,75 AB
(5-10)	78,75 AB	100,00 A	78,75 AB	72,50 B	95,00 AB
(10-15)	87,50 A	82,50 AB	90,00 A	60,00 B	90,00 A
(15-20)	88,75 A	10,00 C	87,50 A	40,00 B	88,75 A
(20-25)	72,50 A	5,00 B	67,50 A	6,25 B	82,50 A
(25-30)	42,50 A	6,25 BC	10,00 BC	3,75 C	32,50 AB
(30-35)	33,75 A	11,25 AB	7,50 AB	2,50 B	6,25 B
(35-40)	31,25 A	7,50 AB	3,75 B	2,50 B	0,00 B
(40-45)	10,00 A	0,00 A	3,75 A	2,50 A	2,50 A
(45-50)	15,00 A	0,00 A	1,25 A	1,25 A	2,50 A

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o Argissolo Vermelho observou-se a presença do sulfentrazone nos primeiros 15 cm (Tabela 3 e Figura 1), apresentando índices de intoxicação visual superiores a 80%. No Cambissolo húmico houve deslocamento de moléculas de sulfentrazone até os primeiros 20 cm no perfil do solo (Figuras 1 e 2), mesmo esses substratos apresentando semelhantes teores de matéria orgânica (MO= 2,1 e 2,3 dag kg⁻¹ respectivamente) e valores idênticos de pH (Tabela 1). De acordo com trabalhos realizados por Prata et al. (2003) e Rossi et al. (2005) os teores de matéria orgânica e pH dos solos são algumas das principais características relacionadas à mobilidade de herbicidas no solo. Entretanto, o comportamento distinto com relação à movimentação do herbicida apresentado pelos solos citados provavelmente é devido suas características físicas, onde o Argissolo apresenta 42 % de areia, 20 % de argila e textura franco argilosa, e o Cambissolo 62 % de areia, 12 % de argila e textura franco argilo arenosa (Tabela 2). A mobilidade do sulfentrazone foi maior em solos com maior

porcentagem de areia em comparação a solos mais argilosos (Rossi et al. 2003 , Rossi et al. 2005 e Melo et al. 2010).

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou maior teor de argila (54 %) e teor de matéria orgânica de 2,4 dag kg⁻¹, semelhante aos valores observados para Argissolo e Cambissolo, porém observou-se para esse substrato movimentação do sulfentrazone até os 25 cm de profundidade (Tabelas 3 e 4) (Figuras 1 e 2) com intoxicação das plantas indicadoras a níveis superiores a 82,5% e redução da massa de matéria para 9,76 % no primeiro segmento (0-5 cm) e 27,30 % no quinto segmento (20-25 cm) da coluna com Latossolo Vermelho-Amarelo, em relação à testemunha sem aplicação do herbicida. O potencial de lixiviação superior aos demais solos com teor de matéria orgânica similar pode ser explicado pelo menor valor de pH (4,3) encontrado nesse substrato aliado ao tipo de argila, 1:1 (caulinítica), predominante em latossolos intemperizados (Melo et al., 2001; Resende et al., 2005). Argilas cauliníticas em valores de pH baixo, como na presente situação sofrem protonação de parte de seus grupamentos adquirindo cargas positivas (Hu e Liu 2003) e segundo Borggard e Streibig (1998) o sulfentrazone, um herbicida ácido fraco com constante de dissociação, pKa = 6,56, em situações onde o pH do meio é inferior ao pKa, está sujeito a protonação de parte de seus grupamentos, resultando na ocorrência de um comportamento parcialmente catiônico, havendo a repulsão de cargas culminando na redução do potencial de sorção desse solo.

Como o processo de lixiviação de compostos químicos é influenciado pela capacidade de sorção dos mesmos aos colóides orgânicos e minerais dos solos e dependente das características físico-químicas do composto e das características do solo e clima (Inoue et al., 2003), a menor sorção do sulfentrazone resulta em maior mobilidade do herbicida e presença do herbicida até a metade da coluna de 50 cm preenchida com Latossolo Vermelho-Amarelo.

No Neossolo Regolítico observou-se mobilidade do sulfentrazone nos 20 cm iniciais do perfil do solo (Tabelas 3 4 e Figuras 1 e 2). No entanto, dentre os solos estudados, o Neossolo apresentou menores reduções de matéria seca e menor intoxicação das plantas de sorgo ao longo de todo comprimento da coluna, sendo este índice inferior a 72,5% inclusive no primeiro segmento (0-5 cm). O Neossolo apresentou teor de matéria orgânica superior ao dobro do encontrado em todos os demais solos, 5,1 dag kg⁻¹ e maior CTC efetiva 4,99 cmol_cdm⁻³ (Tabela 1).

Segundo Prata et al. (2003) e Rossi et al. (2005) o teor e tipo de matéria orgânica do solo influenciam o movimento descendente dos herbicidas. Em trabalhos realizados

por Kerr et al. (2004) e Vivian et al.(2006) a sorção do sulfentrazone foi influenciada pelo teor de material orgânico e CTC dos solos, sendo que em solos com maior teor de matéria orgânica e CTC efetiva ocorreu maior sorção desse herbicida. Solos que apresentam maiores potenciais de sorção conseqüentemente estão menos susceptíveis à ocorrência do processo de lixiviação.

Tabela 5 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação da porcentagem de massa de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo em relação à testemunha, cultivadas em diferentes solos, em diferentes profundidades nas colunas, após aplicação do sulfentrazone e submetidas a chuva de 60 mm

Substrato	Equação de Regressão	R ²
Planossolo	$\hat{Y} = \frac{82,4438}{1 + e^{-\left(\frac{X-14,9857}{11,0496}\right)}}$	0,93
Argissolo	$\hat{Y} = \frac{119,2822}{1 + e^{-\left(\frac{X-16,7937}{5,0504}\right)}}$	0,95
Cambissolo	$\hat{Y} = \frac{114,0378}{1 + e^{-\left(\frac{X-19,5757}{5,3643}\right)}}$	0,97
Neossolo	$\hat{Y} = \frac{106,8091}{1 + e^{-\left(\frac{X-13,2776}{7,4433}\right)}}$	0,96
Latossolo	$\hat{Y} = \frac{104,2694}{1 + e^{-\left(\frac{X-23,6869}{3,8862}\right)}}$	0,96

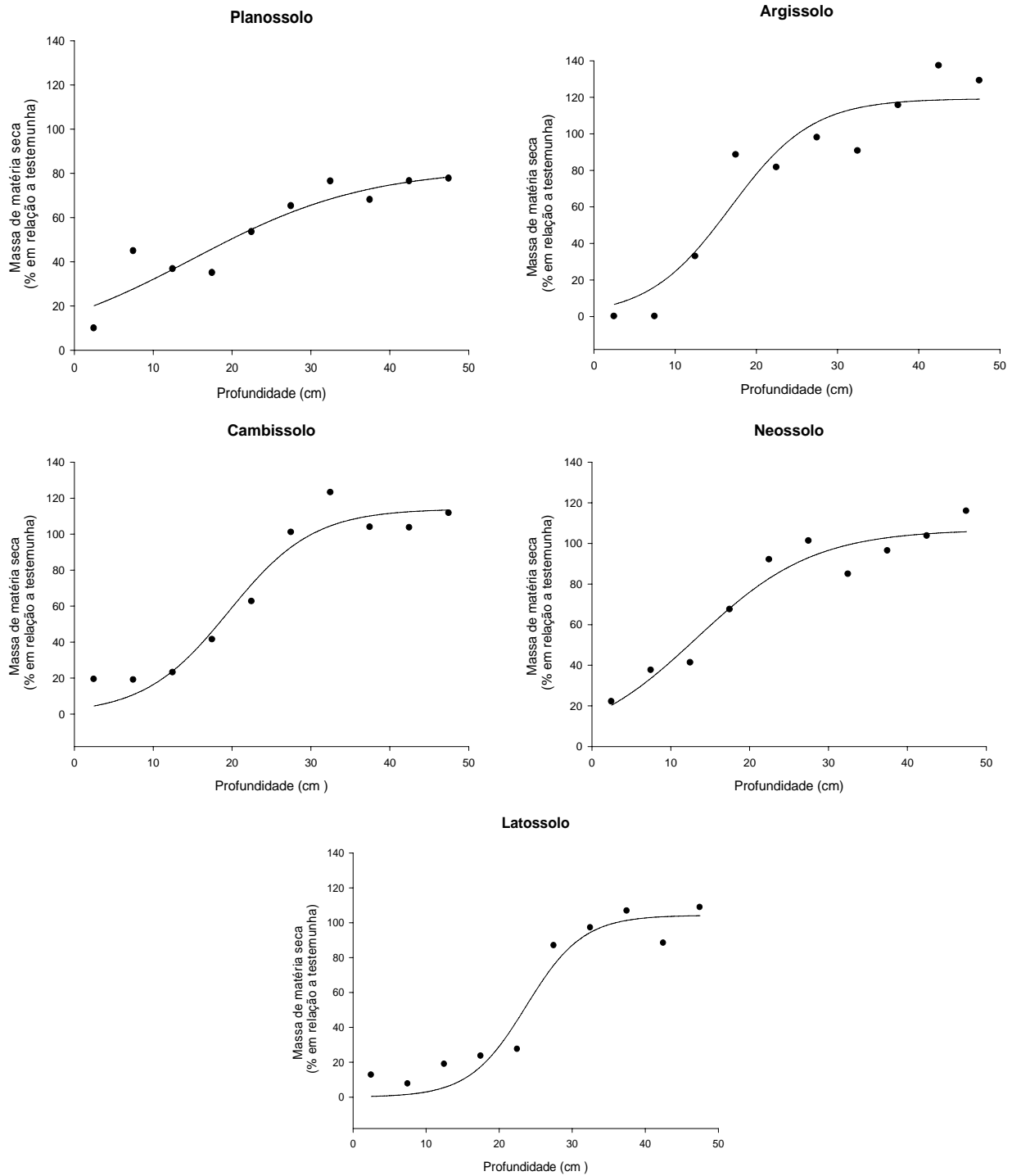


Figura 1 – Porcentagem de massa de matéria seca de plantas de sorgo em relação à testemunha cultivadas em diferentes solos, em diferentes profundidades nas colunas, após aplicação do sulfentrazone e submetidas à chuva de 60 mm

Tabela 6 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação dos índices de intoxicação de plantas de sorgo, cultivadas em diferentes solos, em diferentes profundidades nas colunas, após aplicação do sulfentrazone e submetidas à chuva de 60 mm

Substrato	Equação de Regressão	R²
Planossolo	$\hat{Y} = \frac{94,0930}{1 + e^{-\left(\frac{X-29,4840}{-7,4241}\right)}}$	0,97
Argissolo	$\hat{Y} = \frac{100,2996}{1 + e^{-\left(\frac{X-14,5668}{-1,3525}\right)}}$	0,99
Cambissolo	$\hat{Y} = \frac{87,1323}{1 + e^{-\left(\frac{X-24,4193}{-1,5567}\right)}}$	0,99
Neossolo	$\hat{Y} = \frac{72,3496}{1 + e^{-\left(\frac{X-17,6470}{-2,6265}\right)}}$	0,99
Latossolo	$\hat{Y} = \frac{92,4168}{1 + e^{-\left(\frac{X-26,3799}{-1,9753}\right)}}$	0,96

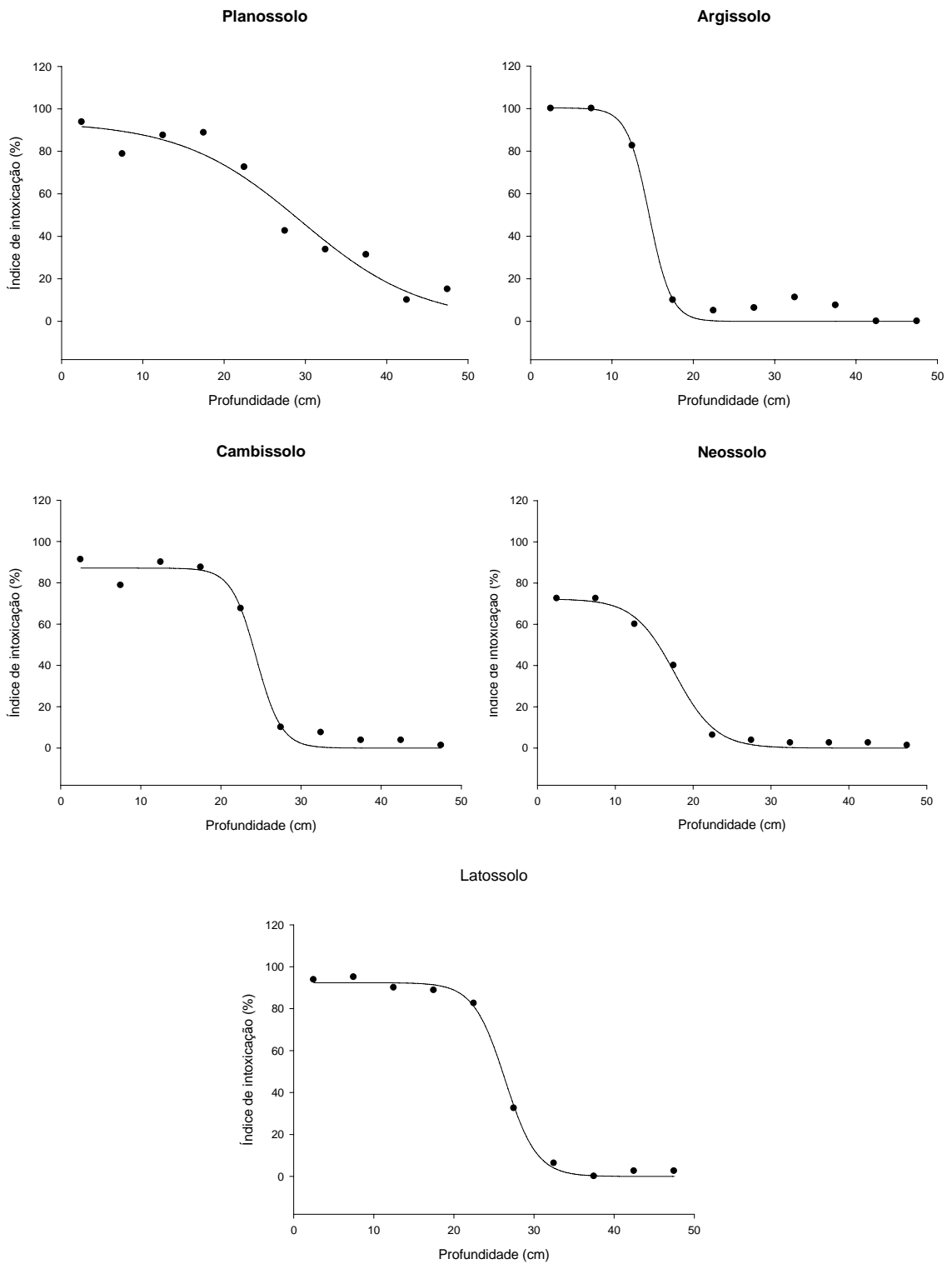


Figura 2 – Índice de Intoxicação de plantas de sorgo cultivadas em diferentes solos, em diferentes profundidades nas colunas, após aplicação do sulfentrazone e submetidas à chuva de 60 mm

Os resultados obtidos no primeiro capítulo desse trabalho (SORÇÃO DO SULFENTRAZONE EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS DETERMINADA POR BIOENSAIOS) estão altamente correlacionados com a mobilidade do sulfentrazone no perfil do solo, uma vez que os solos que apresentaram maior lixiviação desse herbicida , foram os que apresentaram os menores valores de relação sorção (RS). Confirmando resultados encontrado por (Marchese, 2007 e Inoue et al., 2003) que afirmam que a lixiviação de um herbicida no solo é dependente da sorção desse herbicida , quanto maior for a intensidade da sorção menor tende a ser sua capacidade de lixiviação no perfil do solo e que os processos de sorção e lixiviação são dependentes das características físico-químicas do herbicida e do solo .

Conclui-se que a movimentação do sulfentrazone nos solos é altamente influenciada por suas características químicas e físicas principalmente, o teor de argila e matéria orgânica. Dessa forma, torna-se necessário o conhecimento detalhado do tipo de solo para realizar recomendações técnicas desse herbicida evitando os riscos de lixiviação e contaminação de lençóis freáticos e cursos de água. O sulfentrazone é muito móvel em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica podendo atingir camadas profundas do solo, reduzindo assim a eficácia do controle de plantas daninhas. Por estes motivos o sulfentrazone não deve ser recomendado para solos com tais características físicas e químicas.

LITERATURA CITADA

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home/agrotoxicotoxicologia>, acessado em 05/05/2011.

BORGGGAARD, O.K., STREIBIG, J.C. Chlorsulfuron adsorption by humic acid, iron oxides, and montmorillonite. **Weed Science**, v. 36 p.530-534, 1988.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8.ed. New York: Macmillan, 1974. 639 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd and 4th meetings of EWRC - Committee of Methods in Weed Research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FILIZOLA, H. F. et al. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guairá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 659-667, 2002.

FMC Corp. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia: 1995. 6 p.

GONÇALVES, A. H; et al. Controle da tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr. **Planta Daninha**, v. 19, p. 435-443, 2001.

GREY, T. L. et al. Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoresis gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, v. 48, p. 239-247, 2000.

HU, Y., LIU, X. Chemical composition and surface property of kaolins . **Minerals Engineering** p.1279-1284. 2003.

INOUE, M. H. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação de herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, p. 313-323, 2003.

KERR, G. W. et al. Soil pH and cation exchange capacity effects sunflower tolerance to sulfentrazone. **Weed Technology**, v. 18, p.243-247, 2004.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **J. Electrostat.**, v. 51- 52, p. 25-42, 2001.

MAGALHÃES, E. J. **Sorção de ametryn em frações de solo associadas à matéria orgânica**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.

MELO, V.F. et al. Chemical and mineralogical properties of kaolinite – rich Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1324-1333, 2001.

MELO, C.A.D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, p. 385-392, 2010.

MONQUERO P. A. et al. Mobilidade e Persistência de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos . **Planta daninha**, v. 26, p.411-417, 2008.

MONQUERO P. A. et al. Lixiviação e Persistência dos herbicidas sulfentrazone Imazapic. **Planta daninha**, v. 28, p.185-195, 2010.

OLIVEIRA M. F. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Ed. Livraria Editora Agropecuária, 2001, Cap. 10, 27p.

PRATA, F. et al. Degradação e sorção de ametryn em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 975-981, 2001.

PRATA, F. et al. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1,p. 175-180, 2003.

POLUBESOVA, T. et al. Sulfentrazone adsorbed on micelle-montmorillonite complexes for slow release in soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 3410-3414, 2003.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicação**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. (Eds): Londrina. 591p, 2005.

ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Nitossolo Vermelho e em Neossolo Quartzarênico. **Planta Daninha**, v. 21, p. 111-120, 2003.

ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, p. 701-710, 2005.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SARMAH A. et al. Fate and behaviour of triasulfuron, metsulfuron-methyl and chlorsulfuron in the Australian soil environment: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 49, p. 775-790, 1998.

SILVA, A. A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, p. 345-354, 1999.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta daninha**, Viçosa, v. 24, p.741-750, 2006.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho avaliaram-se a sorção e a mobilidade do sulfentrazone em cinco solos brasileiros: Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico, Neossolo Regolítico e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes características químicas e físicas, utilizando-se a técnica de ensaios biológicos. A partir dos resultados obtidos com os experimentos realizados, foi possível compreender melhor o comportamento do sulfentrazone nos solos testados.

Conclui-se que as características pH, teor de matéria orgânica, teor de argila e CTC dos solos influenciaram a sorção e a mobilidade do sulfentrazone. Solos com maior teor de areia e principalmente menor teor de matéria orgânica apresentaram menor potencial de sorção desse herbicida e conseqüentemente maior mobilidade do sulfentrazone para maiores profundidades no perfil do solo, e maior risco de contaminação do lençol freático. O método do ensaio biológico mostrou-se eficiente para detecção da presença do sulfentrazone nos solos testados.

Os resultados dessa pesquisa reafirmam a necessidade de estudos sobre o comportamento de herbicidas em condições de solo e clima tropical, pois serão fundamentais para recomendações de forma segura nas condições edafoclimáticas encontradas no Brasil, com redução dos riscos de impactos ambientais.

ANEXO

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva aplicada nos substratos no experimento de sorção

Macronutrientes	mg L ⁻¹ *	Micronutrientes	mg L ⁻¹ *
N	275,00	B	2,87
P ₂ O ₅	300,00	Cu	1,63
K ₂ O	250,00	Fe	16,75
Ca	127,50	Mn	6,2
Mg	25,25	Mo	0,35
S	102,00	Zn	10,67

*Quantidade de nutriente presente em 1 litro da solução preparada.

Experimento 1; Sorção do sulfentrazone.

Areia lavada = 3 aplicações diárias da solução nutritiva em 3 dias da semana.

Planossolo = 2 aplicações diárias da solução nutritiva em 3 dias da semana.

Argissolo, cambissolo e Latossolo = 2 aplicações diárias da solução nutritiva em 2 dias da semana.

Neossolo = 1 aplicação diária da solução nutritiva em 2 dias da semana.

A aplicação consistiu de 10 ml da solução nutritiva em cada vaso de 280 cm³ durante os 21 dias.

Experimento 2; Lixiviação do sulfentrazone.

Planossolo = 2 aplicações diárias da solução nutritiva em 3 dias da semana.

Argissolo, Cambissolo e Latossolo = 2 aplicações diárias da solução nutritiva em 2 dias da semana.

Neossolo = 1 aplicação diária da solução nutritiva em 2 dias da semana.

A aplicação consistiu de 5 mL da solução nutritiva em cada segmento da coluna durante os 21 dias.