

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**SORÇÃO DE SULFENTRAZONE EM FUNÇÃO DA TEXTURA,  
MATÉRIA ORGÂNICA E UMIDADE DE SOLOS**

**FERNANDA RENATA RIZZI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU-SP  
Junho – 2003**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**SORÇÃO DE SULFENTRAZONE EM FUNÇÃO DA TEXTURA,  
MATÉRIA ORGÂNICA E UMIDADE DE SOLOS**

**FERNANDA RENATA RIZZI**

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes

Co-orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP  
**Junho – 2003**

A **Deus** pelo Dom da Vida

Aos meus pais:

**Antonio Carlos e Nilza** pelo carinho, amor e dedicação...

Aos meus irmãos:

**Flávia e Rodrigo** pelo amor e amizade...

Ao meu marido **Tíbor** pelo amor, carinho e compreensão.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A **DEUS**.

A **Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP**, Campus de Botucatu, por minha formação e pela oportunidade de realizar o Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Ao Prof. **Dr. Dirceu Maximino Fernandes** pela orientação, amizade; e pelo exemplo de educador.

Ao Prof. **Dr. Edivaldo Domingues Velini** pela orientação e sugestões que me ajudaram a desenvolver esse trabalho. Além da amizade e exemplo de profissional.

A **CAPES** pelo apoio financeiro, possibilitando à realização desse trabalho.

Ao **Dr. Anderson Cavenaghi** pelo aprendizado que obtive no laboratório de Matologia.

Ao Prof. **Dr. Kléber Pereira Lanças**, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, pelo apoio.

Aos funcionários do laboratório de Matologia: **Sr. Armando e Beto**, pela amizade e pelo agradável ambiente de trabalho que eles proporcionaram.

Aos **professores** do Curso de Pós-Graduação em Agronomia pelo ensinamento e amizade.

Aos **colegas** da Pós-Graduação, pelos bons momentos de convivência.

À minha grande amiga **Daniela Barnabé**, pela amizade, pela companhia e pelo exemplo de pessoa dedicada, que muitas vezes serviu-me de incentivo nessa caminhada.

**OBRIGADA**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS .....	V
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1 Sorção e dessorção de herbicidas .....	11
2.2 Interação herbicida - solo .....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Local do Experimento .....	23
3.2 Solos .....	24
3.3 Herbicida .....	25
3.4 Tratamentos .....	25
3.5 Extrator de solução de solo.....	28
3.6 Delineamento e unidade experimental.....	30
3.7 Análises e determinações no solo .....	31
3.7.1 Análise química dos solos para fins de fertilidade .....	31
3.7.2 Análise granulométrica dos solos .....	32
3.7.3 Determinação da densidade de partículas.....	32
3.7.4 Determinação da umidade do solo.....	33
3.7.4.1 Capacidade de Campo .....	33
3.7.4.2 Umidade Atual.....	34
3.7.5 Determinação da densidade do solo .....	35
3.8 Métodos e Avaliações na solução do solo .....	37
3.8.1 Preparo da solução e análise em CLAE.....	37
3.8.2 Concentração na solução do solo.....	39
3.8.3 Determinação do pH da solução.....	39
3.8.4 Determinação da porcentagem de dissociação da molécula.....	40

3.8.5 Determinação da quantidade de sulfentrazone (em mg) na solução do solo .....	40
3.8.6 Determinação da porcentagem de produto sorvido ao solo e da porcentagem do produto na solução do solo .....	41
3.8.7 Determinação do $K_d$ .....	41
3.8.8 Determinação do $K_{oc}$ .....	42
3.9 Análise estatística dos resultados.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5 CONCLUSÕES .....	62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
APÊNDICE .....	70

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
Tabela 1	Resultados da análises química dos solos LVdf, LVd e PVAd nas profundidades 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m, após a calagem. .... 31
Tabela 2	Análise granulométrica e densidade de partículas dos solos estudados ..... 32
Tabela 3	Teor de água relativa a capacidade campo (CC) e umidade atual dos solos LVdf, LVd e PVAd nas profundidades de 0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m. Média de quatro repetições..... 34
Tabela 4	Densidade dos solos LVdf, LVd e PVAd, nas profundidades de 0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m.. ..... 35
Tabela 5	Porcentagem média de recuperação de padrões de sulfentrazane após o processo de concentração em C <sub>18</sub> .. ..... 38
Tabela 6	Análise de variância das características: concentração de sulfentrazone, pH, % de sulfentrazone - não ionizado e ionizado, e quantidade de sulfentrazone, na solução do solo – amostras coletadas 24 h AAP ..... 44
Tabela 7	Análise de variância das características: concentração de sulfentrazone, pH, % de sulfentrazone - não ionizado e ionizado, e quantidade de sulfentrazone, na solução do solo – amostras coletadas 7 dias AAP..... 45
Tabela 8	Análise de variância das características: % de sulfentrazone sorvida ao solo, % de sulfentrazone na solução do solo, Kd e Koc – amostras coletadas 24 horas AAP..... 46

Tabela 9	Análise de variância das características: % de sulfentrazone sorvida ao solo, % de sulfentrazone na solução do solo, Kd e Koc – amostras coletadas 7 dias AAP .....	47
Tabela 10	Resultados do teste “T” das interações solo x profundidade das características: concentração de sulfentrazone, mg de sulfentrazone, % de sulfentrazone sorvido e Kd. ....	48
Tabela 11	Resultados do teste “T” das interações solo x umidade das características: % de sulfentrazone ionizado, Kd. ....	48

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
Figura 1	Fórmula estrutural da molécula de sulfentrazone.....10
Figura 2	Aplicação do produto com a micropipeta.....27
Figura 3	Homogeneização do solo e recolocação do mesmo no vaso. ....27
Figura 4	A cápsula porosa inserida no vaso em um tratamento saturado .....27
Figura 5	Visualização dos diferentes solos PVAd, LVd e LVdf. ....28
Figura 6	Disposição dos tratamentos. ....28
Figura 7	Cápsula de porcelana acoplada a um cano de PVC, e a tampa de borracha ao lado com as mangueiras responsáveis pelo vácuo na cápsula (mangueira mais curta) e coleta da solução (mangueira mais longa). ....29
Figura 8	Extrator da solução montado. Nas extremidades das mangueiras colou-se “tripa-de-mico” para facilitar as conexões com a bomba a vácuo e com a seringa. Na mangueira que coleta a solução do solo foi acoplada a uma agulha de seringa, para atravessar a borracha, que veda o frasco coletor e não deixa que haja perda do vácuo. ....29
Figura 9	Bomba à vácuo acoplada a mangueira responsável em fazer vácuo na cápsula .....30

Figura 10	Coleta e armazenagem da solução do solo em um frasco de vidro escuro, hermeticamente fechado com um pedaço de borracha compacta e flexível. ....	30
Figura 11	Comparação entre os dados de Kd obtidos na primeira coleta (24 h AAP) e na segunda coleta (7 dias AAP).....	54
Figura 12	Porcentagem de sulfentrazone na solução do solo quando aplicado em solo seco, saturado e a capacidade de campo, nas amostras de solução de solo coletadas 24 h e 7 dias AAP.. ....	57

## RESUMO

Objetivou-se determinar a sorção do herbicida sulfentrazone em três solos: Latossolo Vermelho Distroférico - textura argilosa; Latossolo Vermelho Distrófico – textura média; e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico - textura arenosa/média. Esses foram coletados nas profundidades 0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m, a fim de diferenciar os teores de matéria orgânica. Outro fator avaliado foi a umidade do solo quando o herbicida foi aplicado. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em um esquema fatorial 3 (solos) x 2 (profundidades) e 3 (níveis de umidade no solo). Os três níveis de umidade no solo foram: 1) o herbicida diluído em um volume de água suficiente para umedecer 10 kg de solo seco, elevando a umidade para a capacidade de campo; 2) aplicação do herbicida diluído em um volume de água suficiente para saturar 10 kg de solo seco; 3) o herbicida aplicado em solo seco, usando micro-pipetas para produzir gotas de 10 µg, e depois de 12 h os vasos receberam água suficiente para elevar

à capacidade de campo. A dose de sulfentrazone foi  $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $1,2 \text{ L ha}^{-1}$  do produto comercial Boral). Depois de 24 h e 7 dias, foi extraído a solução do solo de cada vaso. A concentração de sulfentrazone na solução do solo foi quantificada em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) usando coluna  $C_{18}$  e detecção UV. Os pHs das soluções também foram determinados e seus valores usados para calcular a porcentagem de ionização do herbicida. As informações propiciaram o cálculo de  $K_d$  e  $K_{oc}$ . Os valores de  $K_d$  variaram de  $0,10 \text{ L kg}^{-1}$  a  $2,2 \text{ L kg}^{-1}$  e os valores de  $K_{oc}$  variaram de  $12,63 \text{ L kg}^{-1}$  a  $176,94 \text{ L kg}^{-1}$ . Os valores de  $K_{oc}$  obtidos no sistema experimental estático utilizado foram similares aos valores disponíveis na literatura, obtidos em sistemas dinâmicos. A sorção do solo, avaliada pelo  $K_d$ , foi diferenciada prioritariamente pela: textura (menor na arenosa), teor de matéria orgânica (maior na camada de 0 - 0,2 m) e pelo nível de umidade do solo (maior no solo seco). A sorção do sulfentrazone aumentou ao longo do tempo. Considerando o período máximo de análise em 7 dias, a sorção do sulfentrazone aumentou com o intervalo após a aplicação. A disponibilidade do sulfentrazone na solução do solo foi menor quando aplicado em solo seco.

SORPTION OF SULFENTRAZONE AS A FUNCTION OF SOIL TEXTURE, ORGANIC MATTER AND HUMIDITY.

Botucatu, 2003. 73 p. Dissertation (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista)

Author: Fernanda Renata Rizzi

Adviser: Dirceu Maximino Fernandes

Co - Adviser: Edivaldo Domingues Velini

The main objective of this research was to study the sulfentrazone sorption in three Brazilian soils: “Latossolo Vermelho Distroférico” an Oxisol with clay texture; “Latossolo Vermelho Distrófico” an Oxisol medium texture; and “Argissolo Vermelho Amarelo distrófico” an Entisol sandy texture. The soil samples were collected in two depth ranges: 0 – 0.2 m and 0.2 – 0.4m. The most remarkable difference between soil samples from the two depth ranges was the higher organic matter content in the surface. The experiment was designed in randomized blocks with four replications. The treatments were displaced in a factorial scheme 3 (soils) x 2 (depth ranges) x 3 (soil humidity levels).

The three soil humidity levels were: 1) application of the herbicide diluted in a volume of water enough to humidify 10 kg of air dried soils up to field capacity; 2) application of the herbicide diluted in a volume of water enough to saturate 10 kg of air dried soils; 3) the herbicide was applied to air dried soil, using a micro pipette to produce droplets of 10  $\mu\text{L}$ , and after 12 hours the pots received water enough to reach field capacity. The rate of sulfentrazone was  $0.6 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $1.2 \text{ L ha}^{-1}$  of the commercial product Boral). After 24 h and 7 days, it was extracted soil solution from each pot. The concentrations of sulfentrazone in the soil solutions were measured by HPLC using  $\text{C}_{18}$  column and UV detection. The pHs of the solutions were also assessed and the values were used to calculate the herbicide ionization percents. The information available allowed to calculate the values of  $K_d$  and  $K_{oc}$ . The values of  $K_d$  and  $K_{oc}$  ranged from 0.10 to  $2.2 \text{ L kg}^{-1}$  and 12.63 to  $176.94 \text{ L kg}^{-1}$ , respectively. In this research, using a static experimental system, it was obtained values of  $K_{oc}$  similar to the values from dynamic sorption systems (soil and water shaking) available in the literature. The sorption, evaluated by  $K_d$ , was increased by fine texture, higher organic matter content and water humidity. Sulfentrazone sorption, evaluated by  $K_d$  or  $K_{oc}$ , increased along time. The humidity of the soil at the application affected the availability of the herbicide in the soil solution even 7 days after moistening it up to field capacity. The availability of sulfentrazone in soil solution was lower when the herbicide was applied to air-dried soils.

---

Keywords – sorption, sulfentrazone, brazilian soils.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de herbicidas no Brasil em 2000, foi cerca de 174 mil toneladas de produtos formulados, o que representa mais de 81 mil toneladas de ingrediente ativo. Por ocuparem extensas áreas e pelo elevado consumo de herbicidas, algumas culturas merecem atenção, como é o caso da soja, do milho e da cana-de-açúcar que foram cultivadas, respectivamente, em 13,6; 11,6 e 4,9 milhões de hectares (SPADOTTO, 2002). Em valores econômicos, entre os defensivos agrícolas, os herbicidas apresentam a maior participação nas vendas totais (52% em 2000). As vendas brasileiras de herbicidas aumentaram de US\$ 533,6 milhões em 1991 para US\$ 1,3 bilhão em 2000 (FERREIRA et al., 2002).

Esse aumento no consumo de herbicidas em sistemas agrícolas é preocupante, pois o uso indiscriminado desses produtos pode comprometer os ecossistemas ambientais e a saúde do homem. Segundo Velini (1992) em sistemas agrícolas, o solo é considerado um dos reservatórios finais dos herbicidas, ao mesmo tempo ele é também fonte a partir da qual os resíduos podem ser liberados para o ambiente.

Para prevenir contaminação ambiental é preciso conhecer em detalhes a dinâmica e o destino dos herbicidas após a sua aplicação. A sorção influencia de forma significativa o comportamento dos herbicidas ao meio ambiente, atuando diretamente nos processos de transformação química e biológica, e transporte de pesticidas para atmosfera e meio aquático. A compreensão do processo de sorção poderá ajudar no desenvolvimento de novas técnicas de manejo que busquem maximizar a eficiência do produto no controle de plantas daninhas, e que reduzam a contaminação ambiental.

O sulfentrazone é um herbicida registrado para as culturas da soja, cana-de-açúcar e eucalipto, indicado para o controle latifoliadas, gramíneas e ciperáceas, em especial a *Cyperus rotundus* (tiririca), que entre as plantas infestantes, é a de maior importância em termos mundiais, pois apresenta alta capacidade de reprodução e desenvolvimento. O sulfentrazone apresenta comportamento de ácido fraco, ou seja, com características aniônicas, sofrendo ionização em solução aquosa, em função do seu pKa e do índice pH do meio. Dessa forma, pequenas variações no pH provocam grandes mudanças nas proporções das concentrações das formas ionizadas e moleculares na solução do solo, influenciando de forma significativa o processo de sorção desse produto. Portanto, sabendo da influência que o pH exerce sobre o comportamento desse herbicida, neste trabalho buscou-se manter para todos os tratamentos a mesma recomendação de calagem.

A maioria dos estudos de sorção são realizados através de métodos indiretos, o mais comum é o método de equilíbrio de partição. Esse método consiste em agitar a mistura solo/solução contendo o agroquímico por tempo suficiente até que se atinja o equilíbrio aparente do sistema, após o equilíbrio, quantifica-se o produto contido na solução, e por diferença entre o aplicado e o contido na solução, calcula-se a quantidade sorvida. O

inconveniente desse método é que ele não simula as condições de campo, pois o solo é saturado com a solução em estudo, perdendo assim todas as suas características.

Nesse trabalho estudou a sorção do sulfentrazone em condições próximas às de campo, através da técnica de extração da solução do solo. O objetivo foi compreender como as diferentes características dos solos estudados (textura, teor de matéria orgânica e umidade) influenciaram a disponibilidade do produto na solução do solo. A compreensão do processo de sorção do herbicida sulfentrazone poderá facilitar a busca de novas técnicas de manejo que visem a redução do impacto ambiental causado pelo herbicida.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O sulfentrazone é um herbicida fabricado pela FMC Corporation e teve o seu uso aprovado como agente no controle das plantas daninhas em 1997, nos Estados Unidos da América do Norte. No Brasil, sulfentrazone é registrado para a cultura da soja (*Glicine max* (L.) Merrill), da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e do eucalipto (*Eucalyptus* spp.) (RODRIGUES & ALMEIDA, 1995).

Vários autores avaliaram a seletividade do herbicida sulfentrazone em cultivares de soja e cana-de-açúcar, e verificaram que a maioria dos cultivares estudados foi tolerante ao herbicida (BASILE FILHO, 1997; CARVALHO et al., 1997a; CARVALHO et al., 1997b; ORSI JR., 1997; PINTO et al., 1997; SANTOS, 1997; PEREIRA et al., 2000; MELHORANÇA & MELHORANÇA FILHO, 2002).

O sulfentrazone é indicado para o controle de latifoliadas, gramíneas e cyperáceas em especial a *Cyperus rotundus* L. (tiririca). O produto tem demonstrado atividade

quando aplicado em pré-emergência e pré-plantio incorporado (TONLIN, 1994; RODRIGUES & ALMEIDA, 1995).

Entre as plantas infestantes, a tiririca é a de maior importância em termos mundiais, por apresentar grande capacidade de reprodução e desenvolvimento, tornando o seu controle difícil (HOLM et al. 1977). Além da competição, esta planta daninha exerce também um forte efeito alelopático sobre a cultura de cana-de-açúcar, inibindo a brotação de gemas e o perfilhamento, o que resulta em estandes mais baixos nas áreas infestadas (KISSMANN, 1991).

O sulfentrazone é um herbicida que pertence ao grupo químico aril triazolinonas. A ação do herbicida pode ser sistêmica ou por contato, podendo ser absorvido pelas raízes e folhas, com translocação primária no apoplasto e movimento limitado no floema. Age na inibição da Protox (enzima localizada no cloroplasto envolvida na biossíntese de clorofila) e por consequência há o acúmulo de protoporfina IX, causando peroxidação do oxigênio e a destruição das membranas celulares (HESS, 1993; REDDY & LOCKE, 1998). O sulfentrazone é praticamente não volátil, com pressão de vapor de  $1 \times 10^{-9}$  mmHg a 25 °C. A degradação microbiana é considerada o primeiro fator de dissipação, e a meia vida é de 110 a 280 dias, dependendo do solo e das condições ambientais. A solubilidade em água muda com o pH, sendo de 110, 780, e 1.600 mg L<sup>-1</sup> a pH 6,0; 7,0 e 7,5, respectivamente (TOMLIN, 1994). Ainda segundo o autor, o sulfentrazone é um ácido fraco e tem constante de dissociação de 6,56. Sua fórmula estrutural está apresentada na Figura 1.

Fórmula molecular:  $C_{11}H_{10}Cl_2F_2N_4O_3S$

Nome químico: N-[2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3 metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil]metanosulonamida.

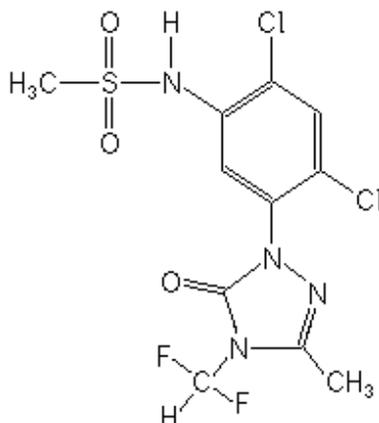


Figura 1. Fórmula estrutural da molécula de sulfentrazone.

Os herbicidas ácidos são aqueles cujas formas moleculares são capazes de ionizar-se, liberando próton, ficando carregados negativamente. A ionização é altamente dependente do pH do solo e do pKa do herbicida (HARPER, 1994).

Segundo Velini (1992), quanto o pH da solução do solo for igual ao pKa do herbicida, as concentrações das formas não dissociadas (molecular) e dissociada (ionizada) serão iguais.

Segundo Oliveira JR. & Constantin (2001), quando o pH da solução do solo for menor que o pKa do herbicida, a concentração da forma não dissociada será maior que a da forma aniônica. O herbicida ficando na forma original (neutra) terá comportamento semelhante às substâncias não-iônicas. Por outro lado, se o pH da solução do solo for maior que o pKa do herbicida, a concentração da forma não dissociada (molecular) será menor que a

forma iônica. Isso ocorre principalmente com uma ou mais unidades de pH acima do valor do pKa do herbicida ácido. O herbicida ficando na forma aniônica terá mais chances de ser transportado livremente através da solução do solo, a não ser que ele forme reações de complexação.

Segundo Grey et al. (2000) o potencial positivo da molécula de sulfentrazone está associado ao anel fenil, tornando a molécula catiônica. E o potencial negativo da molécula deve ocorrer a pHs maiores que o pKa, e está associado ao oxigênio sulfonyl, tornando a molécula aniônica.

## **2.1 Sorção e dessorção de herbicidas**

Adsorção é o processo de adesão de uma molécula, um íon ou uma partícula qualquer à superfície de uma outra partícula resultante da interação de um campo de força gerado pela superfície do adsorvente (argila, matéria orgânica) e a superfície do adsorvato (neste caso o herbicida). Partículas do herbicida também pode ser absorvida pelos colóides do solo. Devido à dificuldade da distinção entre os fenômenos de absorção e adsorção sugerem-se o termo sorção que abrange ambos os processos (KOSKINEN & HARPER, 1990; HARPER, 1994).

Sorção de herbicidas pode ser física ou química. Física é resultado de interações de forças de van der Waals entre a molécula neutra e a superfície do colóide do solo. Sorção química é resultado de interações do herbicida com o colóide do solo, ou seja, interações entre cargas opostas - adsorvente e adsorvida (HARPER, 1994).

Dessorção é o inverso da sorção: movimento das partículas da superfície do solo para a solução do solo. O “estoque” de herbicida é dissipado para a solução do solo. Dessorção de um herbicida de uma superfície de solo é estimulada pela remoção do herbicida da solução do solo, pelas raízes das plantas, ou por materiais orgânicos que extraíam o herbicida da solução do solo (HARPER, 1994).

Sorção de alguns herbicidas promove o controle de plantas daninhas, através a liberação gradual do produto, prevenido a lixiviação do herbicida. O fator de maior influência na sorção de herbicidas no solo é a composição do solo. A capacidade de sorção de um solo é que determina, na maioria das vezes, a eficácia do herbicida (HARPER, 1994).

No solo os herbicidas são distribuídos entre as fases sólida, líquida e gasosa. A proporção dentre as fases é normalmente descrita pelos coeficientes de distribuição ( $K_{sa}$ , coeficiente solo-ar,  $K_{wa}$  coeficiente água-ar,  $K_d$  coeficiente de sorção), embora seja importante reconhecer que raramente existe um verdadeiro equilíbrio termodinâmico entre as fases. O mais importante destes coeficientes é o coeficiente de partição,  $K_d$ , porque a concentração da maioria dos herbicidas na água do solo controla a atividade biológica e mobilidade do produto no solo. O  $K_d$  é definido pela concentração de herbicida adsorvido pelas partículas de solo dividido pela concentração na solução em equilíbrio, assim, quanto maior for os valores de  $K_d$  maior será a sorção (RILEY & EAGLE, 1990).

Segundo Wagenet & Rao (1990), o coeficiente de partição ( $K_d$ ) para um determinado herbicida, quando normalizado para o teor de carbono orgânico do solo, seria essencialmente independente do tipo de solo. Quanto mais hidrofóbica uma molécula maior será sua tendência de partição da água para a fase orgânica. Quando a ligação hidrofóbica é o

principal responsável pela sorção de determinada molécula orgânica, os valores de Koc serão constantes entre diferentes solos.

Segundo Barrow (1978), existem duas boas razões para utilizar modelos que descrevam a sorção em solo. A primeira, é que possibilita a expressão numérica de propriedade de solo e, a segunda, que permite conhecer mais a respeito da natureza dos processos de sorção.

Alguns dos componentes mais importantes do solo que influenciam o processo de sorção são a textura do solo, o teor de argila e o de teor de matéria orgânica (HARPER, 1994). Em alguns casos, os elevados teores de argila e matéria orgânica conduzem ao aumento da sorção, reduzindo o potencial de biodegradação, volatilização e controle de plantas daninhas.

Luchini (1987) estudou a sorção e mobilidade de diferentes herbicidas, associados a propriedades físicas e químicas em sete solos brasileiros, e observou que quanto maior a porcentagem de matéria orgânica e argila, maior foi a sorção.

Herbicidas que apresentam carga negativa (aniônicos) são menos adsorvidos pela superfície dos minerais de argila presentes nos solos, já que estes também apresentam, predominantemente, carga líquida negativa. Na maioria dos casos, pode ocorrer repulsão do produto, que poderá se movimentar pelo perfil do solo, podendo até causar contaminação de aquíferos subterrâneos. Por outro lado, em determinados constituintes do solo, como óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, cujas superfícies manifestam balanço positivo de carga na faixa de pH encontrada na maioria dos solos tropicais, os herbicidas aniônicos podem ficar retidos, principalmente quando o teor de matéria orgânica for baixo (ROCHA, 1999).

Werlang et al. (2002) estudaram a sorção de sulfentrazone nos principais constituintes da fração argila de solos tropicais (caulinita, geothita, ferridrita, hematita e bauxita) e em substratos orgânicos (ácidos húmicos). Os resultados indicaram que, na média, os ácidos húmicos adsorveram 87,39 % do sulfentrazone adicionado na solução e a média de adsorção para a caulinita, ferridrita, geothita, bauxita e hematita foi de 7,73; 9,59; 11,79; 15,27 e 17,69 %, respectivamente. Dentre os principais constituintes da CTC dos solos tropicais, a caulinita (argila silicatada de baixa atividade), a ferridrita (óxido de ferro amorfo) e a geothita (óxido de ferro cristalino) são as que possuem menores contribuições na sorção de sulfentrazone; a bauxita (óxido de alumínio), hematita (óxido de ferro cristalino) e os ácidos húmicos (constituintes da matéria orgânica) são os principais responsáveis pela sorção deste herbicida nos solos brasileiros.

Segundo Grey et al. (1997), a adsorção e a mobilidade do sulfentrazone são afetadas pela composição do solo e pelo pH. Em seus experimentos analisaram a concentração de sulfentrazone recuperado na solução do solo, e correlacionaram com a concentração inicial e com o pH. A correlação dos dados indicou que a capacidade do solo em sorver sulfentrazone foi maior em concentrações mais baixas e progressivamente a valores de pH altos (maiores que o pKa), indicando que a sorção depende do pH. Em relação à mobilidade, o sulfentrazone foi dependente da composição do solo e do pH. Sendo provavelmente o pH do solo o mais importante desses dois fatores. Através dos resultados obtidos, os autores concluíram que a sorção de sulfentrazone será diminuída, e a suscetibilidade para a lixiviação será aumentada, quando os valores de pH excederem os valores de pKa; e que a persistência do produto também pode ser dependente do pH.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997), os experimentos realizados com sulfentrazone, para estimar o potencial de contaminação de águas subterrâneas em Carolina do Norte, para fins de registro, confirmaram que o produto pode ser lixiviado para águas subterrâneas em solos arenosos.

Rossi (2001) estudou a lixiviação do sulfentrazone em colunas de solo, sob diferentes índices pluviométricos, e avaliou sua mobilidade através de bioensaios com plantas testes (*Sorghum bicolor* L.) plantadas no sentido longitudinal dos tubos, após esses serem seccionados. O autor observou que a mobilidade do sulfentrazone teve comportamento diferenciado entre as classes de solos estudadas. Sendo pouco móvel nos solos LVdf, NV e LVA, e móvel nos solos M, LV e RQ. Observou também que a eficiência do sulfentrazone aumenta com o aumento da umidade do solo.

A persistência indica o período no qual um herbicida permanece biologicamente ativo no solo, tendo grande importância prática na determinação do seu desempenho. A persistência ou bioatividade de um herbicida depende da natureza química, da formulação, da dose aplicada do produto, das características do solo e dos fatores climáticos do meio. Por isso, dados de persistência obtidos em uma região não podem ser generalizados (BLANCO & OLIVEIRA, 1987).

Ohmes et al. (2000) estudaram a dissipação de sulfentrazone em quatro experimentos de campo conduzidos separadamente em Knoxville, TN, conduzidos em 1995, 1996 e dois experimentos conduzidos em 1997. O solo estudado apresentava pH de 6,1, teor de matéria orgânica de 1,3 % e areia/silte/argila nas respectivas porcentagens 43/44/13. O sulfentrazone foi aplicado em pré-emergência na cultura da soja nas doses 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 840

g i.a. ha<sup>-1</sup>, e no ano seguinte cultivou-se algodão, para avaliar possíveis injúrias para a cultura. Também realizaram um estudo de degradação sob condições de laboratório. Os resultados obtidos indicaram que a meia vida do sulfentrazone variou de 24 a 113 dias, e que essa variação na dissipação do produto está relacionada com índice de chuvas. Injúrias na cultura do algodoeiro foram observadas no ano seguinte a aplicação de sulfentrazone quando a meia vida foi maior ou igual a 85 dias. A degradação de sulfentrazone em condições laboratoriais foi mais lenta em solo autoclavado que em superfície e subsuperfície de solo não autoclavado, com meia-vida de 198, 93 e 102 dias, respectivamente. A diferença na degradação entre solo autoclavado e não autoclavado implica que a degradação foi influenciada por mecanismos microbiológicos.

Blanco (2002) determinou a persistência do sulfentrazone em dois solos brasileiros, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico de textura barrenta e Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa, cujos pH eram 6,4 e 5,8, respectivamente. Foram cultivados cana-de-açúcar no solo Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e soja no solo Latossolo Vermelho eutrófico, onde aplicou-se as doses 0,6 e 1,2 kg ha<sup>-1</sup> de i.a. de sulfentrazone. Para determinar a persistência utilizou-se bioensaio com planta teste, que nesse estudo foi a beterraba. A amostragem do solo foi feita a 10 cm de profundidade. Para os solos cultivados com cana-de-açúcar, a persistência foi de 601 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) para a menor dose, e para a maior dose a persistência se expressou até a última avaliação em 704 DAT. Para os solos cultivados com soja, a persistência para a menor dose foi 376 DAT, e para a maior dose a persistência foi verificada até a última amostragem 539 DAT. Após a colheita da cultura da soja o solo foi preparado para o plantio das culturas em sucessão – trigo, aveia, girassol, milho e feijão, e avaliou diversas características: estande,

peso da matéria fresca, peso da matéria seca, área foliar, altura, número de folhas, número de perfilhos, avaliação visual de fitotoxicidade e a produção da cultura. Os resultados demonstraram que o sulfentrazone prejudicou o desenvolvimento das culturas de milho e de aveia, não afetando as culturas de girassol e de feijão. A cultura de trigo não foi afetada na menor dose.

## **2.2 Interação herbicida – solo**

A estrutura química de um composto determina o comportamento e o destino do herbicida no solo. A natureza química de cada herbicida, por sua vez, é função da sua estrutura molecular, ionização da molécula, solubilidade em água, lipossolubilidade, polarização e volatilização da molécula. Por outro lado, diversos fatores externos podem desempenhar papel importante nas interações herbicida-solo, como textura, estrutura, conteúdo e natureza dos colóides, índice de pH, temperatura, umidade e outros (BLANCO, 1979).

A solubilidade em água dos herbicidas é somente um indicador de sua lixiviabilidade. Herbicidas que são solúveis em água e permanecem dissolvidos na solução do solo são prontamente sujeitos a lixiviação. Dois fatores nos solos que indiretamente influenciam a lixiviação dos herbicidas são o pH do solo e colóides do solo (inorgânicos e orgânicos). O efeito do pH na lixiviação das moléculas dos herbicidas afeta primariamente a sua influência sobre a adsorção de tais moléculas aos colóides do solo, e sobre as reações químicas entre as moléculas de herbicidas e vários constituintes do solo. A influência dos

colóides do solo na lixiviação das moléculas dos herbicidas é primariamente sobre a adsorção dessas moléculas. Aumentos no conteúdo dos colóides do solo resultará no aumento de adsorção das moléculas dos herbicidas acompanhado de decréscimo de lixiviação (BLANCO, 1979).

Segundo Rajj (1991) os colóides são substâncias constituídas de partículas muito maiores que o átomo ou moléculas simples, porém pequenos para serem vistos a olho nu, com diâmetro inferior a 0,002 mm. Dessa forma, as partículas finas ou coloidais do solo têm alta atividade de superfície, significando alta capacidade de reter cátions. Os minerais de argila e matéria orgânica apresentam cargas elétricas responsáveis pela propriedade de troca de cátions. Já os óxidos hidratados de ferro e alumínio tem elevada capacidade de adsorção de fósforo, apresentando um caráter anfótero com relação a íons trocáveis.

O processo de sorção está diretamente relacionado com as cargas existentes no solo. Os constituintes dos solos podem ser classificados em dois grupos: aqueles de cargas permanentes ou constantes (principalmente argilas e silicatados) e a aqueles com cargas variáveis (óxidos, hidróxidos e matéria orgânica). As cargas permanentes estão sempre operantes, pois são produtos de substituição isomórfica nas estruturas dos minerais. Substituição isomórfica é a troca de íons da estrutura dos cristais por outros, de aproximadamente mesmo tamanho, porém com cargas diferentes. Os minerais de argila que têm importante carga permanente são as ilitas, montmorilonitas e vermiculitas. Esses minerais apresentam apenas propriedades de troca de cátions e são raros em solos tropicais bem drenados. Já as cargas variáveis, que são dependentes do pH e da força iônica do meio, são influenciadas pela reação do solo e são mais importantes na matéria orgânica, caulinita e

óxidos de ferro e alumínio, os principais materiais responsáveis pela propriedade de troca iônica em solos de regiões tropicais úmidas (RAIJ, 1991).

A fração argila de um solo é composta por minerais cristalinos e amorfos. A maioria das cargas e sítios de sorção polar ocorrem nos minerais secundários, na camada de silicatos. A camada de silicatos na forma 1:1 e 2:1 é que abastece a maior parte da capacidade de troca de cátions do solo. Nos argilo-minerais do grupo dos silicatos 1:1, a troca de carga ocorre somente na superfície exterior; em camadas de silicato 2:1 pode ter troca de carga localizada na superfície exterior e entre intercamadas de silicatos. Geralmente camadas de silicatos 2:1 têm maior capacidade de troca de cátions. Minerais amorfos também podem promover alguns sítios de sorção hidrofóbica. Minerais cristalinos contribuem pouco para a capacidade de sorção de um solo (HARPER, 1994).

Os solos brasileiros apresentam sua composição baseada em geotita, gibsitita, hematita e argilas do tipo 1:1, como as caulinitas, com baixo conteúdo de matéria-orgânica e pH (OLIVEIRA JR. et al., 1999).

Oliveira JR. et al. (1999) estudaram a sorção de herbicidas com comportamento de ácidos fracos, de bases fracas e não iônico em seis solos brasileiros, usando o método de equilíbrio de partição. Em geral, os herbicidas ácidos fracos (dicamba, imazethapyr, metsulfuron-methyl, nicosulfuron e sulfometuron-methyl) foram menos sorvidos, enquanto que os herbicidas bases fracas, como as triazines e herbicidas não iônicos (alachlor), foram os mais sorvidos. Os valores de  $K_d$  encontrados mostraram uma correlação significativa com o conteúdo de carbono orgânico para todos os herbicidas, exceto para o imazethapyr e nicosulfuron. Os valores de  $K_{oc}$  mostraram uma menor variação entre os solos que o  $K_d$ .

Rocha (1999) estudou a sorção de imazaquin, uma molécula orgânica com grupos funcionais ionizáveis (um ácido e um básico), em três latossolos ácidos com textura argilosa, média e arenosa. Verificou que o herbicida apresenta baixa sorção em solos tropicais com cargas variáveis, e que à medida que diminuiu o pH da solução do solo, aumentou a sorção de imazaquin. Regitano et al. (2002), mediram a lixiviação de imazaquin nos mesmos solos (argilosa e textura média) e verificaram que a umidade dos solos influenciou na lixiviação do produto.

O conteúdo de matéria orgânica no solo, material húmico, é o primeiro fator que influencia a sorção de muitos herbicidas como 2,4-D, chlorsulfuron, picloran, linuron e metribuzin (HARPER, 1994).

A elevada capacidade da matéria orgânica em sorver herbicidas afeta a atividade biológica e a mobilidade destes compostos no solo. A sorção exerce papel determinante na atividade e, conseqüentemente, na eficácia de controle das plantas daninhas por herbicidas residuais (WILLIAN et al., 1997).

A afinidade do herbicida com o carbono orgânico do solo têm implicação prática em termos de distribuição do herbicida. Essa afinidade do herbicida pode-se modificar dependendo do grau de decomposição do resíduo da planta (REDDY et al., 1995; REDDY et al., 1997 e REDDY & LOCKE, 1998). Resíduos de plantas frescas e parcialmente decompostas têm um papel significativo na determinação da eficácia do herbicida, mais notado em sistemas de plantio direto, onde os resíduos de plantas tendem para a acumulação na superfície do solo. Esta decomposição parcial de resíduo de plantas geralmente tem grande capacidade de aumentar a sorção do solo. Em um estudo para caracterizar o efeito da sorção de metribusim e S-ethyl metribusim e o tempo de decomposição da palha de trigo, verificou-se

que a deterioração da palha teve um aumento na capacidade de sorção quando comparada a palha de trigo não deteriorada. Este aumento na capacidade de sorção na palha deteriorada foi associado com a diminuição de celulose acompanhado pelo aumento proporcional de lignina (HARPER, 1994).

A acumulação e decomposição de resíduos de plantas podem aumentar a sorção e prolongar o tempo de permanência do herbicida na superfície do solo. O aumento da sorção pode diminuir a lixiviação do herbicida, mas também pode resultar em um controle inadequado de plantas daninhas, porque diminui a disponibilidade do produto na solução do solo, forma que a planta consegue absorver (REDDY & LOCKE, 1998).

Ferri et al. (2002) estudaram a atividade do herbicida acetochlor em Argissolo Vermelho submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. O herbicida apresentou menor controle das plantas daninhas na semeadura direta do que sob preparo convencional. Verificaram que o incremento no teor superficial de carbono orgânico em sistemas de semeadura direta pode ter afetado a atividade do herbicida acetochlor reduzindo sua eficácia de controle das plantas daninhas. Os valores de Koc obtidos para o sistema de semeadura direta e preparo convencional foram 1,66 e 1,26, respectivamente. Através dos valores obtidos de Koc os autores concluíram que a maior capacidade de retenção de acetochlor na semeadura direta não estava associada apenas ao maior teor de carbono orgânico, porém às características da matéria orgânica. A composição elementar e as razões H/C e O/C da matéria orgânica foram similares em ambas as formas de preparo do solo, tais resultados indicaram que o valor superior de Koc verificado na semeadura direta não está associado às características químicas da matéria orgânica. Alterações nas características estruturais e morfológicas da matéria orgânica, tais como razão C-aromático/ C-alifático,

caráter hidrofóbico, tamanho de partícula, conformação da molécula e tipo e abundância de cátions trocáveis, podem estar relacionadas às diferenças nos valores de Koc observados no estudo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local do Experimento**

O experimento, realizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu – SP (coordenadas geográficas: Latitude: 22° 51' S e Longitude 48° 26' W Grw e altitude de 815m), foi conduzido em vasos, que permaneceram em estufas aclimatadas (28 °C e umidade relativa de 70 %), localizadas na NUPAM (Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia). As análises e determinações dos solos foram realizadas no Departamento de Recursos Naturais/ Área de Ciência do Solo; e as análises da solução dos solos foram realizadas no Departamento de Produção Vegetal / Área de Agricultura e Melhoramento Vegetal – Laboratório de Matologia.

### 3.2 Solos

Para realizar o estudo do processo de sorção do sulfentrazone foram escolhidos três solos representativos para o estado de São Paulo: Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) - textura argilosa; Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) – textura média; e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd) - textura arenosa/média – textura arenosa; e para obter diferentes teores de matéria orgânica, os solos foram coletados em duas profundidades: 0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m.

O LVdf foi coletado na unidade Túnel e o LVd na unidade Patrulha, sendo essas unidades descritas por Carvalho et al. (1983) como sendo Latossolo Roxo álico - textura argilosa e Latossolo Vermelho Escuro álico - textura média, respectivamente, localizadas na Fazenda Experimental Lageado. O solo PVAd, anteriormente classificado como Podzólico Vermelho Amarelo, foi coletado na Fazenda Experimental em São Manuel. As áreas onde os solos foram coletados são áreas sem cultivos de culturas e sem histórico prévio de aplicação de qualquer tipo de produto químico.

Como o sulfentrazone é um herbicida registrado para as culturas de cana-de-açúcar e soja, e a saturação por bases no solo para ambas às culturas é de 60 %, conforme as indicações de Raij et al. (1997), para melhor simular as condições de campo seguiu-se essa recomendação. Após a obtenção dos resultados da análise química, fez-se a correção com calcário para elevar a saturação por bases a 60 %. Os solos analisados permaneceram incubados por 30 dias em solo umedecido a 60 % da capacidade máxima de retenção de água, para que ocorresse a reação com o calcário. O calcário utilizado apresenta as

seguintes especificações: teores de CaO + MgO de 49 %, CaO 31 %, MgO 18 %, PRNT 90,1 %, PN 100 %.

Após a incubação com calcário os solos foram secos ao ar para dar início ao experimento.

### **3.3 Herbicida**

O produto comercial utilizado no experimento foi o Boral 500 SC, fabricado pela FMC. As doses recomendadas para a cultura de cana-de-açúcar são 1,2 a 1,6 L ha<sup>-1</sup> e para soja é 1,2 L ha<sup>-1</sup>. A dose utilizada nesse experimento foi de 1,2 L ha<sup>-1</sup>, atendendo assim ambas as culturas.

### **3.4 Tratamentos**

A sorção e disponibilidade do produto sulfentrazone foram analisadas em seis amostras de solos (3 solos x 2 profundidades), com três níveis de umidade (capacidade de campo, seco e saturado), totalizando dezoito tratamentos, cada um com quatro repetições e uma repetição em branco (sem uso de sulfentrazone).

Os tratamentos foram conduzidos em vasos plásticos sem escoamento de água. Antes de serem colocados nos vasos, os solos foram secos ao ar e peneirados, para posteriormente serem pesados (10 kg).

Determinou a densidade de cada solo desestruturado, para calcular as doses de produto que deveriam ser aplicadas nos 10 kg de solo. Dessa forma, as doses de ingrediente ativo de sulfetrazone aplicadas foram: 7,5 mg para o solo LVdf; 6,25 mg para o solo LVd e 5,0 mg para o solo PVAd.

O produto foi homogeneizado ao solo, e para cada tratamento de umidade adotou-se um critério de aplicação, descrito abaixo:

**Tratamento Seco (TSEC):** para cada vaso desse tratamento, retirou-se o solo e colocou-se em uma caixa plástica fazendo camadas de 5 cm. Nessas, foi aplicado o produto com uma pipeta de micro-dosagem com gotas de 10  $\mu$ . Ao término da aplicação o solo foi bem homogeneizado e colocado no vaso novamente. Após 12 horas à aplicação do produto em solo seco, a umidade foi elevada para a capacidade de campo. Essa medida foi necessária para que fosse possível a extração da solução do solo, assim, adicionou as seguintes quantidades de água: 2,7 L para o solo LVdf; 1,6 L para o solo LVd e 1,4 L para o solo PVAd. Após a correção da umidade dos solos, inseriu-se o extrator de solução (vide 3.5), e os vasos foram vedados com um plástico para que não perdessem água, contendo apenas um pequeno orifício, por onde saíram dois canos finos do extrator. Completada às 24 horas de aplicação do produto, fez-se a primeira extração da solução do solo e a segunda, após sete dias.

**Tratamento Capacidade de campo (TCC):** para cada vaso desse tratamento, o produto foi aplicado junto com a água necessária para atingir a capacidade de campo, isto é, a mesma quantidade descrita no tratamento anterior. A água com o produto foram aplicados em camadas de solo no vaso, de modo que a aplicação ficasse bem homogênea. Ao término da aplicação, inseriu-se o extrator de solução e os procedimentos foram semelhantes ao utilizado no tratamento seco.

**Tratamento Saturado (TSAT):** para cada vaso desse tratamento, o produto foi aplicado da mesma forma do tratamento capacidade de campo. Após esse procedimento, aplicou-se mais água para que atingisse a saturação. As quantidades aplicadas foram: 2,0 L para o solo LVdf; 2,0 L para o solo LVd e 1,3 L para o solo PVAd. Ao término da aplicação, inseriu-se o extrator de solução, e os procedimentos seguintes foram semelhantes aos utilizados nos tratamentos seco e capacidade de campo.

Nas Figuras 2 e 3 verifica-se o processo de aplicação do produto. Na Figura 4, verifica-se a cápsula de porcelana inserida no vaso, em um tratamento saturado.



Figura 2. Aplicação do produto com a micropipeta.



Figura 3. Homogeneização do solo e recolocação do mesmo no vaso.



Figura 4. A cápsula porosa inserida no vaso em um tratamento saturado.

Na Figura 5 verifica-se os diferentes solos PVAd, LVd e LVdf; e na Figura 6, os vasos prontos para iniciar o processo de extração da solução, bem como a disposição dos tratamentos.



Figura 5. Visualização dos diferentes solos PVAd, LVd e LVdf.



Figura 6. Disposição dos tratamentos.

Para cada uma das seis amostras de solos estudadas (3 solos x 2 profundidades) realizou uma amostra em branco para cada tratamento. Essa medida foi necessária para monitorar possível extração de substâncias com pico cromatográfico com tempo de retenção semelhante ao sulfentrazone.

### **3.5 Extrator de solução de solo**

Em cada vaso foi instalado um extrator de solução do solo, constituído da seguinte forma: uma cápsula porosa de cerâmica à qual foi acoplada a um cano curto e uma tampa de borracha, esta com dois orifícios pelos quais foram introduzidas duas mangueiras plásticas de tamanhos diferentes, de forma que a mais longa atingiu o líquido coletado na

cápsula, e a mais curta ficou um pouco acima da primeira. Para forçar o caminhamento da solução do solo para a cápsula fez-se vácuo com uma bomba elétrica, essa foi acoplada a mangueira mais curta. A solução coletada, caminhou pela mangueira mais longa e foi armazenada em um frasco de vidro escuro, hermeticamente fechado. Após a coleta, esses frascos foram armazenados em geladeira (6 °C), para posteriormente serem analisados em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com coluna C<sub>18</sub> e detecção por espectrofotometria de ultravioleta.

As Figuras 7 e 8 apresentam a cápsula porosa de cerâmica. Na Figura 7, verifica-se a cápsula de porcelana acoplada ao cano de PVC, e a tampa de borracha com as mangueiras. Na Figura 8, verifica-se a cápsula de porcelana montada.



Figura 7. Cápsula de porcelana acoplada a um cano de PVC, e a tampa de borracha ao lado com as mangueiras responsáveis pelo vácuo na cápsula (mangueira mais curta) e coleta da solução (mangueira mais longa).



Figura 8. Extrator da solução montado. Nas extremidades das mangueiras colou-se “tripa-de-mico” para facilitar as conexões com a bomba a vácuo e com a seringa. Na mangueira que coleta a solução do solo foi acoplada a uma agulha de seringa, para atravessar a borracha, que veda o frasco coletor e não deixa que haja perda do vácuo.

Nas Figura 9 e 10 verifica-se a bomba de vácuo e o frasco coletor, respectivamente.



Figura 9. Bomba à vácuo acoplada a mangueira responsável em fazer vácuo na cápsula.



Figura 10. Coleta e armazenagem da solução do solo em um frasco de vidro escuro, hermeticamente fechado com um pedaço de borracha compacta e flexível.

### 3.6 Delineamento e unidade experimental

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial  $3 \times 2 \times 3$  em que constituíram variáveis os três tipos de solo (Latosolo Vermelho Distroférico, Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico), duas profundidades de coleta (0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m) e três níveis de umidade dos solos (seco, capacidade de campo e saturado).

A unidade experimental foi constituída de um vaso com 10 kg de solo, no qual foi inserido um extrator de solução de solo.

### 3.7 Análises e determinações no solo

#### 3.7.1 Análise química dos solos para fins de fertilidade

As análises químicas dos solos estudados foram realizadas no Laboratório de Química de Solo, do Departamento de Recursos Naturais / Área de Ciência do solo, da Faculdade de Ciências Agrônomicas / UNESP / Campus de Botucatu, e as análises físicas, no Laboratório de Física do Solo do mesmo Departamento.

O método utilizado para a análise química foi o descrito por Raij et al. (2001), sendo: pH determinado em  $\text{CaCl}_2$ ; H + Al determinado por solução SMP; matéria orgânica determinada por digestão ácida (dicromato de sódio +  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e determinação por espectrofotometria calorimétrica; P, K, Ca e Mg extraído por resina trocadora e determinação por espectrofotometria de absorção atômica.

Os resultados das análises químicas dos solos estudados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas dos solos LVdf, LVd e PVAd nas profundidades 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m, após a calagem.

Classe/ Profundidade	pH $\text{CaCl}_2$	MO $\text{g/dm}^3$	$\text{P}_{\text{resina}}$ $\text{mg/dm}^3$	H+Al	K	Ca	Mg $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$	SB	CTC	V%
LVdf (0-0,2 m)	5,1	24	3	34	0,4	26	14	40	74	54
LVdf (0,2-0,4 m)	5,1	17	2	31	0,3	17	10	27	58	47
LVd (0-0,2 m)	4,7	23	3	45	0,4	15	10	25	70	46
LVd (0,2-0,4 m)	4,9	17	2	25	0,2	17	10	27	52	52
PVAd (0-0,2 m)	5,5	10	3	13	0,6	17	7	24	37	65
PVAd (0,2-0,4 m)	5,7	6	2	11	0,2	13	5	18	30	62

### 3.7.2 Análise granulométrica dos solos

A análise granulométrica das amostras de solo (Tabela 2) foi realizada pelo método do densímetro, descrito em Embrapa (1997). Este método baseia-se na velocidade de sedimentação das partículas que compõem o solo. Após a adição de um dispersante químico (NaOH), espera-se um tempo (2 h) para a determinação da densidade da suspensão que admite ser a concentração total de argila. A fração grosseira, areia total, areia fina + areia grossa, foi separada e pesada. O silte foi obtido por diferença.

### 3.7.3 Determinação da densidade de partículas

A determinação da densidade de partículas (Tabela 2) foi realizada pelo método do balão volumétrico, descrito em Embrapa (1997). Esse método determina o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa.

Tabela 2. Análise granulométrica e densidade de partículas dos solos estudados.

Classe / Profundidade	Areia Total g kg <sup>-1</sup>	Argila g kg <sup>-1</sup>	Silte g kg <sup>-1</sup>	Densidade das partículas (kg dm <sup>-3</sup> )
LVdf (0-0,2 m)	200	740	60	2,96
LVdf (0,2-0,4 m)	180	760	60	2,96
LVAd (0-0,2 m)	690	310	00	2,67
LVAd (0,2-0,4 m)	640	340	20	2,86
PVAd (0-0,2 m)	860	130	10	2,86
PVAd (0,2-0,4 m)	870	130	00	2,86

### **3.7.4 Determinação da umidade do solo**

#### **3.7.4.1 Capacidade de campo**

A determinação do teor de umidade relativo à capacidade de campo foi obtida com a mesa de tensão, desenvolvida por Oliveira (1968), à pressão de 0,01 MPa. Essa tensão foi adotada para obter uma estimativa da capacidade de campo para cada solo estudado (SOUSA & REICHARDT, 1996).

Para determinar o teor de umidade a 0,01 MPa, utilizou-se cilindros de aço inoxidável, com 53 mm de altura e 48 mm de diâmetro interno. Na extremidade inferior de cada cilindro foi colado um pedaço de tecido sintético (gaze), posteriormente preencheu-se os cilindros com as amostras de solo deformadas. Utilizou-se quatro repetições para cada solo estudado, nas duas profundidades. O processamento das amostras iniciou-se pela saturação, realizada pela elevação gradual da lâmina de água numa bandeja até 2/3 da altura das amostras, que assim permaneceram por um período de 24 horas. Depois de saturadas as amostras foram colocadas sobre a mesa de tensão, e a altura da coluna de água abaixo da mesa foi ajustada para 100 cm, para obter uma tensão de 0,01 MPa. Esta tensão provoca a drenagem da água retida nos poros do solo, através da sucção provocada pelo vácuo formado na mesa de tensão. Quando terminou a drenagem, as amostras foram retiradas da mesa e pesadas rapidamente e depois, colocadas em estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente, as amostras foram colocadas em um dessecador para esfriar e serem pesadas. O cálculo para determinar a umidade do solo foi realizado com base na Equação 1 (Tabela 3).

$$\text{Umidade (MPa)} = 100 (a - b) / b \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:  $a$  = peso da amostra após ser submetida à tensão utilizada, 0.01 MPa;

$b$  = peso da amostra seca a  $105 \pm 2$  °C.

### 3.7.4.2 Umidade Atual

A umidade atual foi determinada após os solos serem secos ao ar e acondicionados nos vasos, prontos para receber os tratamentos. Uma amostra de solo de 100 g foi retirada de cada vaso, e colocada em estufa a  $105^\circ$  por 24 horas. Por diferença entre o peso úmido e o peso seco determinou a umidade atual (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de água relativa a capacidade campo (CC) e umidade atual dos solos LVdf, LVd e PVAd nas profundidades de 0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m. Média de quatro repetições.

Classe/Profundidade (m)	Umidade a CC (%)	Umidade Atual (%)
LVdf (0-0,2)	35,97	8,91
LVdf (0,2-0,4)	34,88	7,5
LVd (0-0,2)	18,00	3,33
LVd (0,2-0,4)	21,00	4,23
PVAd (0-0,2)	18,94	4,89
PVAd (0,2-0,4)	17,40	3,27

Pela diferença entre a capacidade de campo e a umidade atual calculou-se a quantidade de água necessária para atingir a capacidade de campo de cada solo.

Com esse cálculo verificou-se que seriam necessários 2,7 L de água para o solo LVdf, 1,6 L água para o solo LVd e 1,4 L de água para o solo PVAd.

### 3.7.5 Determinação da densidade do solo

A densidade do solo foi determinada a partir da mesma amostra utilizada para determinar a umidade relativa à capacidade de campo. As amostras foram levadas para a estufa a 105 °C por 24 horas, e transferidas para um dessecador para depois serem pesadas. A partir do peso do solo seco e do volume calculado para cada cilindro, calculou-se a densidade por meio da Equação 2 (EMBRAPA, 1997). A densidade dos solos estudados encontra-se na Tabela 4.

$$D_s = M_s/V_t \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:  $D_s$  = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ );  $M_s$  = massa do solo seco em estufa (kg);  $V_t$  = volume total de amostra em ( $\text{dm}^{-3}$ ).

Tabela 4. Densidade dos solos LVdf, LVd e PVAd, nas profundidades de 0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m.

Classe / Profundidade (m)	Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ )
LVdf (0-0,2)	1,00
LVdf (0,2-0,4)	1,03
LVd (0-0,2)	1,21
LVd (0,2-0,4)	1,23
PVAd (0-0,2)	1,46
PVAd (0,2-0,4)	1,47

Com base na densidade dos solos, calculou-se as doses de ingrediente ativo de sulfentrazone a serem aplicadas em 10 kg de solo seco.

O peso de solo em 10000 m<sup>2</sup> (1 hectare) foi determinado através do volume de solo vezes a densidade média de cada solo estudado. Para calcular o volume de solo em um hectare considerou-se a profundidade de 0,08 m, o que resultou em 800 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ou 800000 kg ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, o peso de solo por hectare de cada solo estudado foi:

<b>Solos</b>	Volume (kg)	x	Densidade média (kg dm <sup>-3</sup> )	=	Peso / hectare (kg ha <sup>-1</sup> )
LVdf	800000	x	1,015	=	812000
LVd	800000	x	1,220	=	976000
PVAd	800000	x	1,465	=	1172000

A dose de ingrediente ativo (i.a.) de sulfentrazone recomendada por hectare é de 0,6 L (600000 mg); para 10 kg de solo, as doses calculadas foram:

Solo	Dose aplicada em 10 kg de solo		
LVdf	812000 kg → 10 kg →	600000 mg ia x	x = 7,39 mg de i.a. de sulentrazone
LVd	976000 kg → 10 kg →	600000 mg ia x	x = 6,15 mg de i.a. de sulentrazone
PVAd	1172000 kg → 10 kg →	600000 mg ia x	x = 5,12 mg de i.a. de sulentrazone

A concentração da solução aplicada foi 2500 mg L<sup>-1</sup> (0,6 L ia de sulfentrazone / 240 L de água). Dividindo-se a dose aplicada em 10 kg de solo pela concentração da solução (2500 mg L<sup>-1</sup>), obtém-se o volume de solução a ser aplicada: 2,96 mL para o solo LVdf, 2,46 mL para o solo LVd e 2,05 mL para o solo PVAd. Para facilitar a aplicação do produto esses valores foram arredondados: 3,0 mL para o solo LVdf, 2,5 mL para

o solo LVd e 2,0 mL para o solo PVAd. Multiplicando-se os volumes citados anteriormente pela concentração da solução ( $2500 \text{ mg L}^{-1}$ ) obtém-se as doses de i.a. que foram aplicadas: 7,5 mg para o solo LVdf; 6,25 mg para o solo LVd e 5,0 mg para o solo PVAd.

### **3.8 Métodos e avaliações na solução do solo**

#### **3.8.1 Preparo da solução e análise em CLAE**

As soluções coletadas tiveram que passar por um processo de concentração, pois em uma primeira tentativa de injeção no cromatógrafo sem concentração, o pico lançado pelo produto era muitas vezes confundido com “sujeiras” da solução do solo. A concentração foi feita em cartuchos  $C_{18}$  (octadecyl), para isso, passou-se 50 mL da solução do solo pelo cartucho, onde o processo de filtragem foi realizado em um sistema a vácuo. Após a filtragem, o produto ficou retido no  $C_{18}$ . A extração do produto foi feita com 5 mL de metanol. O extraído foi coletado em um “vial” de 8 mL e levado para secar em nitrogênio. Após os frascos estarem totalmente secos, adicionou-se 1 ml de fase (acetonitrila:água) para ressuspender o produto contido nos “vials”. Em seguida esses foram agitados em um agitador de tubos, para homogeneizar bem as amostras e, posteriormente, foram injetados no cromatógrafo. Nesse processo as amostras foram concentradas 50 vezes.

Como a recuperação do produto no cartucho não é de 100 %, foi necessário determinar a porcentagem de recuperação deste, para isso utilizou-se o mesmo procedimento das amostras de solo, com padrões de concentrações conhecidas. As

concentrações utilizadas foram: 1,0; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 mg ia L<sup>-1</sup> de sulfentrazone. Foram utilizadas três repetições para cada concentração.

Devido a dificuldade de coletar as soluções através da cápsula de porcelana, para alguns vasos não foi possível coletar o volume de 50 mL de solução de solo, e para que as amostras fossem processadas da mesma forma, mediu-se o volume de amostra e, posteriormente, completou-se esse volume com água até atingir 50 mL. Após a obtenção da área no cromatógrafo, o cálculo da concentração do produto foi realizado com base no volume real da amostra.

As amostras foram analisadas em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com coluna C<sub>18</sub> e detecção por espectrofotometria de ultravioleta. O método utilizado foi uma adaptação do método utilizado por Reddy & Locke (1998), a fase móvel utilizada foi acetonitrila: água, nas proporções 50:50, a razão de fluxo foi 1 mL min<sup>-1</sup> e o comprimento de onda foi 214 nm.

A Tabela 5 contém a porcentagem de recuperação do produto sulfentrazone, após o processo de concentração em colunas C<sub>18</sub>.

Tabela 5. Porcentagem média de recuperação de padrões de sulfentrazane após o processo de concentração em C<sub>18</sub>.

Concentração da Solução Padrão (mg L <sup>-1</sup> )	Porcentagem de recuperação (%)
1,0	79,86
0,5	78,61
0,4	77,17
0,3	75,90
0,2	76,86
0,1	82,39
<b>Média da % de recuperação</b>	<b>78,46</b>

A porcentagem média de recuperação do sulfentrazone após a concentração foi de 78,46 %. Esse valor foi utilizado como parâmetro de recuperação para todas as amostras concentradas.

### **3.8.2 Concentração na solução do solo**

Após a concentração e o preparo das amostras, essas foram analisadas em CLAE (ver cromatogramas no Apêndice).

A concentração do produto na solução do solo foi obtida a partir da área do cromatograma da amostra. Para determinar a concentração do herbicida na solução do solo, a área amostrada foi comparada com a área de um cromatograma padrão, de concentração conhecida. A concentração obtida foi corrigida pelo volume de amostra concentrada e pela porcentagem de recuperação do produto após a concentração.

### **3.8.3 Determinação do pH da solução**

Antes das amostras serem concentradas, o pH da solução coletada foi medido, pois é um parâmetro necessário para determinar a porcentagem de dissociação da molécula.

### 3.8.4 Determinação da porcentagem de dissociação da molécula

Como o sulfentrazone é um ácido fraco, ele apresenta características de compostos aniônicos, sofrendo ionização em solução aquosa, em função do seu pKa e do índice de pH do meio. O pKa corresponde ao índice de pH em que as formas ionizadas e não ionizada do herbicida ocorrem em iguais concentrações. A porcentagem de ionização da molécula de ácidos fracos em solução aquosa, em função do seu índice pH e seu pKa, foi determinada através da Equação 3. E a porcentagem não ionizada da molécula foi determinada através da Equação 4:

$$\% \text{ de ionização} = \frac{100}{1 + 10^{(\text{pKa} - \text{pH})}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\% \text{ não ionizada} = 100 - \% \text{ de ionização} \quad (\text{Eq. 4})$$

### 3.8.5 Determinação da quantidade de sulfentrazone (em mg) na solução do solo

A quantidade de sulfentrazone (em mg) na solução do solo foi determinada através da concentração na solução do solo vezes a quantidade de água utilizada em cada tratamento de umidade.

### 3.8.6 Determinação da porcentagem de produto sorvido ao solo e da porcentagem do produto na solução do solo

A porcentagem de produto sorvido ao solo foi determinada através da quantidade de produto aplicado e da concentração obtida na solução do solo (Equação 5).

A porcentagem do produto na solução do solo foi determinada pela diferença entre a porcentagem total e a porcentagem sorvida, empregando-se a equação 6.

$$\% \text{ sorvido} = \frac{(\text{mg de produto aplicado} - \text{mg de produto na solução do solo})}{\text{mg de produto aplicado}} \cdot 100 \quad (\text{Eq.5})$$

$$\% \text{ na solução} = 100 - \% \text{ sorvida} \quad (\text{Eq.6})$$

### 3.8.7 Determinação do Kd

Conhecendo-se a quantidade total de sulfentrazone aplicado, o volume total de água disponível no vaso, como solução de solo, e a concentração do herbicida na mesma, calculou-se, para cada situação estudada, o coeficiente de sorção, através da equação de Kd, representada na Equação 7.

$$Kd = \frac{Cs}{Cw} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:  $Kd$  = é o coeficiente de partição solo-água ( $L \text{ kg}^{-1}$ );  $Cs$  = a concentração do herbicida sorvido ao solo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e  $Cw$  = é a concentrações de herbicida que permanece na solução ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Esta característica foi utilizada para comparação dos tratamentos e compreensão dos efeitos do nível de umidade e das propriedades do solo sobre a sorção do sulfentrazone.

### 3.8.8 Determinação do Koc

Conhecendo-se o Kd e a porcentagem de carbono orgânico dos solos estudados foi possível calcular o Koc, através da Equação 8:

$$Koc = \frac{Kd}{(\% \text{ de C orgânico})} \cdot 100 \quad (Eq.8)$$

$\% \text{ de C orgânico} = \% \text{ de matéria orgânica} / 1,72$  (RAIJ et al., 2001).

O Koc reflete a tendência de adsorção pelo carbono orgânico do solo.

### 3.9 Análise estatística dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância, desdobrando-se as interações entre os fatores principais que foram significativos a 5 e 1 % de probabilidade pelo teste “F”.

As médias quando significativas a 5 e 1 %, foram comparadas com auxílio do teste “T”, ao nível de 10 % de probabilidade.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nas Tabelas 6 e 8 estão apresentados os resultados da análise de variância das características estudadas, nas amostras coletadas 24 horas após a aplicação do produto (AAP). Nas Tabelas 7 e 9 estão apresentados os resultados da análise de variância das características estudadas, nas amostras coletadas 7 dias AAP .

Estas tabelas apresentam as médias obtidas em cada tratamento e as médias dos níveis dos diferentes fatores, valores de F e de DMS. Observar que os valores significativos a 5 % para o teste F, estão indicados com um asterisco (\*) e, a 1 %, com dois asteriscos (\*\*).

As diferenças significativas a 5 e 1 % de probabilidade foram comparadas com auxílio do teste “T”, ao nível de 10 % de probabilidade.

Os resultados do teste “T” para os fatores estudados (solos, profundidade e umidade) e das interações triplas entre os tratamentos estão apresentados nas Tabelas 6, 7, 8 e 9. Os resultados do teste T das interações duplas estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 6. Análise de variância das características: concentração de sulfentrazone, pH, % de sulfentrazone - não ionizado e ionizado, e quantidade de sulfentrazone, na solução do solo – amostras coletadas 24 h AAP.

Solos	Profundidade (m)	Umidade	Características Analisadas (média de 4 repetições)				
			Conc. de sulf. na solução do solo (mg/L)	pH da solução do solo	% de sulfentrazone não ionizado	% de sulfentrazone ionizado	mg de sulf. na solução
LVdf	0 - 0,2	CC	0,93 d e f g	6,97	28,57	71,43	2,50 c d
		Seco	0,79 f g h	6,99	27,79	72,21	2,14 d e f
		Saturado	0,55 h i	6,75	39,46	60,54	2,60 c d
LVdf	0,2 - 0,4	CC	0,92 d e f g	6,83	34,83	65,17	2,48 c d
		Seco	0,78 f g h	6,72	41,11	58,89	2,10 d e f
		Saturado	0,80 e f g h	6,62	47,20	52,80	3,78 a
LVd	0,0 - 0,2	CC	0,67 g h i	6,58	48,81	51,19	1,07 g h
		Seco	0,60 h i	6,60	47,60	52,40	0,95 h
		Saturado	0,46 i	6,74	40,24	59,76	1,65 f g h
LVd	0,2 - 0,4	CC	0,98 c d e f	6,72	40,79	59,21	1,56 f g h
		Seco	1,01 c d e	6,83	35,11	64,89	1,61 f g h
		Saturado	0,67 g h i	6,18	69,41	30,59	2,43 c d e
PVAd	0,0 - 0,2	CC	1,54 b	6,63	37,13	62,87	2,16 d e f
		Seco	1,25 b c	6,85	34,18	65,82	1,75 e f g
		Saturado	1,28 b c	7,04	28,55	71,45	3,46 a b
PVAd	0,2 - 0,4	CC	2,07 a	7,24	18,64	81,36	2,89 b c
		Seco	2,00 a	7,08	27,66	72,34	2,80 b c d
		Saturado	1,12 c d	6,95	30,73	69,27	3,02 b c
<b>MÉDIAS DOS TRATAMENTOS</b>							
LVdf			0,80 b	6,81 b a	36,50 b	63,51 a	2,60 a
LVd			0,73 b	6,61 b	46,99 a	53,01 b	1,55 b
PVAd			1,54 a	6,96 a	29,48 b	70,52 a	2,68 a
0,0 - 0,2			0,90 b	6,79	36,93	63,07	2,03 b
0,2 - 0,4			1,15 a	6,80	38,39	61,61	2,52 a
CC			1,18 a	6,83	34,80	65,20	2,11 b
Seco			1,07 a	6,84	35,58	64,43	1,89 b
Saturado			0,82 b	6,71	42,60	57,40	2,82 a
<b>VALORES DE F</b>							
Bloco			0,34	1,17	1,10	1,10	0,29
Solos			75,74 **	3,90 *	6,93 **	6,93 **	27,64 **
Profundidade			17,73 **	0,00	0,14	0,14	12,31 **
Umidade			13,20 **	0,64	1,65	1,65	16,33 **
Solo x Profundidade			2,23	1,51	1,59	1,59	0,34
Solo x Umidade			1,53	0,32	0,49	0,49	0,22
Profundidade x Umidade			1,84	1,77	2,37	2,37	0,11
Solo x Profundidade x Umidade			3,03 *	0,74	1,21	1,21	3,15 *
<b>DMS</b>							
Solos			0,123	0,214	7,93	7,93	0,286
Profundidade			0,100	0,175	6,48	6,48	0,233
Umidade			0,123	0,214	7,93	7,93	0,286
Solo x Profundidade			0,174	0,303	11,2	11,2	0,403
Solo x Umidade			0,213	0,371	13,7	13,7	0,494
Profundidade x Umidade			0,174	0,303	11,2	11,2	0,403
Solo x Profundidade x Umidade			0,301	0,525	19,4	19,4	0,700

Tabela 7. Análise de variância das características: concentração de sulfentrazone, pH, % de sulfentrazone - não ionizado e ionizado, e quantidade de sulfentrazone, na solução do solo – amostras coletadas 7 dias AAP.

Solos	Profundidade (m)	Umidade	Características Analisadas (média de 4 repetições)									
			Conc. de sulf. na solução do solo (mg/L)	pH da solução do solo	% de sulfentrazone não ionizado	% de sulfentrazone ionizado	mg de sulf. na solução do solo					
LVdf	0 - 0,2	CC	0,58	7,06	24,49	75,51	1,58					
		Seco	0,60	7,21	20,70	79,31	1,61					
		Saturado	0,59	7,19	27,11	72,89	2,78					
LVdf	0,2 - 0,4	CC	0,71	7,25	18,36	81,64	1,91					
		Seco	0,38	7,35	16,59	83,41	1,02					
		Saturado	0,70	7,36	15,73	84,27	3,30					
LVd	0,0 - 0,2	CC	0,41	6,55	50,53	49,47	0,66					
		Seco	0,27	6,60	48,15	51,85	0,44					
		Saturado	0,31	7,37	16,14	83,86	1,10					
LVd	0,2 - 0,4	CC	1,32	6,97	28,69	71,31	2,12					
		Seco	0,64	7,07	26,72	73,28	1,02					
		Saturado	0,97	7,67	15,43	84,57	3,48					
PVAd	0,0 - 0,2	CC	1,03	7,43	12,85	87,15	1,44					
		Seco	0,74	7,08	24,69	75,31	1,03					
		Saturado	0,74	7,72	13,09	86,91	2,00					
PVAd	0,2 - 0,4	CC	1,22	7,45	12,14	87,86	1,71					
		Seco	1,44	7,38	14,50	85,50	2,02					
		Saturado	0,84	7,52	15,83	84,17	2,28					
<b>MÉDIAS DOS TRATAMENTOS</b>												
LVdf			0,59	b	7,24	b	20,50	b	79,50	a	2,03	a
LVd			0,65	b	7,04	c	30,94	a	69,06	b	1,47	b
PVAd			1,00	a	7,43	a	15,52	b	84,49	a	1,75	a b
	0,0 - 0,2		0,59	b	7,13	b	26,41	a	73,59	b	1,40	b
	0,2 - 0,4		0,91	a	7,33	a	18,22	b	81,78	a	2,09	a
		CC	0,88		7,12	b	24,51		75,49		1,57	b
		Seco	0,68		7,11	b	25,23		74,78		1,19	c
		Saturado	0,69		7,47	a	17,22		82,78		2,49	a
<b>VALORES DE F</b>												
Bloco			2,17		4,41		4,04		4,04		1,22	
Solos			10,32	**	5,96	**	8,24	**	8,24	**	4,46	*
Profundidade			16,95	**	4,66	*	6,69	*	6,69	*	20,17	**
Umidade			2,70		6,47	**	2,61		2,61		25,21	**
Solo x Profundidade			5,39	**	1,30		1,21		1,21		7,11	**
Solo x Umidade			1,64		2,43		2,89	*	2,89	*	1,86	
Profundidade x Umidade			0,26		0,45		0,69		0,69		1,90	
Solo x Profundidade x Umidade			1,77		0,24		0,79		0,79		2,16	
<b>DMS</b>												
Solos			0,163		0,191		6,50		6,50		0,163	
Profundidade			0,133		0,156		5,31		5,31		0,133	
Umidade			0,163		0,191		6,50		6,50		0,163	
Solo x Profundidade			0,231		0,270		9,18		9,18		0,231	
Solo x Umidade			0,283		0,331		11,3		11,3		0,283	
Profundidade x Umidade			0,231		0,270		9,18		9,18		0,231	
Solo x Profundidade x Umidade			0,400		0,468		15,9		15,9		0,400	

Tabela 8. Análise de variância das características: % de sulfentrazone sorvida ao solo, % de sulfentrazone na solução do solo, Kd e Koc – amostras coletadas 24 horas AAP.

Solos	Profundidade (m)	Umidade	Características Analisadas (média de 4 repetições)			
			% sorvida	% na solução do solo	Kd (L kg <sup>-1</sup> )	Koc (L kg <sup>-1</sup> )
LVdf	0 - 0,2	CC	66,63 c d e	33,37 d e f	0,57	41,15
		Seco	71,52 c d	28,48 e f	0,95	68,24
		Saturado	65,31 c d e	34,69 d e f	0,99	71,29
LVdf	0,2 - 0,4	CC	66,91 c d e	33,09 d e f	0,57	57,24
		Seco	72,01 b c d	28,00 e f g	0,78	78,68
		Saturado	49,59 f g	50,42 b c	0,47	47,72
LVd	0,0 - 0,2	CC	82,89 a b	17,11 g h	0,78	58,76
		Seco	84,74 a	15,26 h	1,15	85,89
		Saturado	73,67 a b c	26,33 f g h	1,03	77,24
LVd	0,2 - 0,4	CC	75,00 a b c	25,00 f g h	0,57	57,48
		Seco	74,19 a b c	25,81 f g h	0,50	50,83
		Saturado	61,13 d e	38,87 d e	0,61	61,92
PVAd	0,0 - 0,2	CC	56,77 e f	43,23 c d	0,19	18,87
		Seco	64,94 c d e	35,07 d e f	0,27	26,84
		Saturado	30,77 h	69,23 a	0,13	12,63
PVAd	0,2 - 0,4	CC	42,15 g	57,85 b	0,10	17,63
		Seco	44,08 g	55,92 b	0,12	20,63
		Saturado	39,52 g h	60,48 a b	0,21	36,48
<b>MÉDIAS DOS TRATAMENTOS</b>						
LVdf			65,33 b	34,68 b	0,72 a	60,72 a
LVd			75,27 a	24,73 c	0,77 a	65,35 a
PVAd			46,37 c	53,63 a	0,17 b	22,18 b
0,0 - 0,2			66,36 a	33,64 b	0,67 a	51,21
0,2 - 0,4			58,29 b	41,71 a	0,44 b	47,62
CC			65,06 a	34,94 b	0,46 b	41,85 b
Seco			68,58 a	31,42 b	0,63 a	55,19 a
Saturado			53,33 b	46,67 a	0,57 a b	51,21 a b
<b>VALORES DE F</b>						
Bloco			0,26	0,26	1,10	1,13
Solos			58,57 **	58,57 **	32,43 **	23,19 **
Profundidade			13,28 **	13,28 **	12,10 **	0,40
Umidade			17,32 **	17,32 **	2,10 *	1,93 *
Solo x Profundidade			0,52	0,52	2,60	1,49
Solo x Umidade			0,41	0,41	0,41	0,41
Profundidade x Umidade			0,27	0,27	0,99	0,58
Solo x Profundidade x Umidade			3,67 *	3,67 *	1,06	1,44
<b>DMS</b>						
Solos			4,55	4,55	0,14	11,66
Profundidade			3,71	3,71	0,11	9,52
Umidade			4,55	4,55	0,14	11,66
Solo x Profundidade			6,42	6,42	0,20	16,47
Solo x Umidade			7,87	7,87	0,24	20,18
Profundidade x Umidade			6,42	6,42	0,20	16,47
Solo x Profundidade x Umidade			11,1	11,1	0,34	28,56

Tabela 9. Análise de variância das características: % de sulfentrazone sorvida ao solo, % de sulfentrazone na solução do solo, Kd e Koc – amostras coletadas 7 dias AAP.

Solos	Profundidade (m)	Umidade	Características Analisadas (média de 4 repetições)							
			% sorvida	% na solução do solo	Kd (L kg <sup>-1</sup> )	Koc (L kg <sup>-1</sup> )				
LVdf	0 - 0,2	CC	78,97	21,03	1,14	c d	82,16	d e f		
		Seco	78,56	21,44	1,15	c d	82,48	d e f		
		Saturado	62,94	37,06	0,82	d e	59,11	e f g h		
LVdf	0,2 - 0,4	CC	74,59	25,41	0,79	d e f	80,54	d e f g		
		Seco	86,39	13,61	1,75	b	176,94	a		
		Saturado	56,05	43,95	0,63	e f g h	63,4	d e f g h		
LVd	0,0 - 0,2	CC	89,45	10,55	1,37	b c	103	c d		
		Seco	92,99	7,01	2,2	a	165,16	a b		
		Saturado	82,37	17,63	1,79	a	134,27	b c		
LVd	0,2 - 0,4	CC	66,11	33,89	0,38	f g h	38,32	g h		
		Seco	83,73	16,27	0,83	d e	84,52	d e f		
		Saturado	44,33	55,67	0,35	g h	35,71	h		
PVAd	0,0 - 0,2	CC	71,16	28,84	0,36	g h	35,98	h		
		Seco	79,31	20,69	0,72	e f g	72,73	d e f g h		
		Saturado	60,09	39,91	0,45	e f g h	46,05	f g h		
PVAd	0,2 - 0,4	CC	65,74	34,26	0,55	e f g h	94,32	c d e		
		Seco	59,66	40,35	0,27	h	46,09	f g h		
		Saturado	54,42	45,58	0,40	f g h	68,81	d e f g h		
<b>MÉDIAS DOS TRATAMENTOS</b>										
LVdf			72,92	a	27,08	b	1,05	a	90,77	a
LVd			76,50	a	23,50	b	1,16	a	93,50	a
PVAd			65,06	b	34,94	a	0,46	b	60,66	b
	0,0 - 0,2		77,32	a	22,68	b	1,11	a	86,77	
	0,2 - 0,4		65,67	b	34,33	a	0,66	b	76,52	
		CC	74,34	b	25,66	b	0,77	b	72,39	b
		Seco	80,11	a	19,89	c	1,15	a	104,65	a
		Saturado	60,03	c	39,97	a	0,74	b	67,89	b
<b>VALORES DE F</b>										
Bloco			1,60		1,60		0,63		0,88	
Solos			6,22	**	6,22	**	28,87	**	6,19	**
Profundidade			18,49	**	18,49	**	31,30	**	1,47	
Umidade			19,41	**	19,41	**	10,89	**	7,50	**
Solo x Profundidade			5,77	**	5,77	**	25,73	**	17,89	**
Solo x Umidade			0,80		0,80		2,88	*	2,60	*
Profundidade x Umidade			1,11		1,11		0,49		0,65	
Solo x Profundidade x Umidade			1,98		1,98		3,33	*	3,57	*
<b>DMS</b>										
Solos			5,56		5,56		1,66		17,35	
Profundidade			4,54		4,54		0,14		14,16	
Umidade			5,56		5,56		0,17		17,35	
Solo x Profundidade			7,85		7,85		0,23		24,50	
Solo x Umidade			9,62		9,62		0,29		30,03	
Profundidade x Umidade			7,85		7,85		0,23		24,50	
Solo x Profundidade x Umidade			13,61		13,61		0,41		42,49	

Tabela 10. Resultados do teste “T” das interações solo x profundidade das características: concentração de sulfentrazone, mg de sulfentrazone, % de sulfentrazone sorvido e Kd.

Solos	Profundidade (m)	Conc. de sulf. na solução do solo (mg/L)		mg de sulfentrazone solução		% sorvido		Kd (L kg <sup>-1</sup> )		Koc (L kg <sup>-1</sup> )	
		7 dias AAP		7 dias AAP		7 dias AAP		7 h AAP		7 dias AAP	
LVdf	0 – 0,2	0,59	c <sup>1</sup>	1,99	a	73,49	b	1,04	b	74,58	c
	0,2 - 0,4	0,60	c	2,07	a	72,35	b c	1,06	b	106,96	b
LVd	0,0 - 0,2	0,33	d	0,73	c	88,27	a	1,79	a	134,14	a
	0,2 - 0,4	0,98	a b	2,21	a	64,72	b c	0,52	c	52,85	c
PVAd	0,0 - 0,2	0,84	b	1,49	b	70,19	c d	0,51	c	51,59	c
	0,2 - 0,4	1,17	a	2,00	a	59,94	c	0,41	c	69,74	c

(1) Médias seguidas pela mesma letra de cada coluna, não diferem entre si pelo test “T” ao nível de 10 % de probabilidade.

Tabela 11. Resultados do teste “T” das interações solo x umidade das características: % de sulfentrazone ionizado, Kd.

Solos	Umidade	% de sulfentrazone ionizado		Kd (L kg <sup>-1</sup> )		Koc (L kg <sup>-1</sup> )	
		7 dias AAP		7 dias AAP		7 dias AAP	
LVdf	CC	78,58	a <sup>1</sup>	0,97	b c	81,35	b
	Seco	81,36	a	1,45	a	129,71	a
	Saturado	78,58	a	0,72	c	61,26	b
LVd	CC	60,39	b	0,88	b c	70,66	b
	Seco	62,57	b	1,52	a	124,84	a
	Saturado	84,21	a	1,07	b	84,99	b
PVAd	CC	87,51	a	0,45	c	65,15	b
	Seco	80,41	a	0,49	c	59,41	b
	Saturado	85,54	a	0,43	c	57,43	b

(1) Médias seguidas pela mesma letra de cada coluna, não diferem entre si pelo test “T” ao nível de 10 % de probabilidade.

Pelos resultados obtidos verifica-se que as diferentes texturas dos solos estudados influenciaram na disponibilidade do produto na solução do solo. Analisando as médias para os diferentes solos, para a característica concentração de sulfentrazone (Tabela 6 e 7), verifica-se que o produto encontra-se em maior disponibilidade na solução do solo PVAd (textura arenosa), diferindo significativamente dos solos LVdf (textura argilosa) e LVd (textura média), nas amostras coletadas no período de 24 h e 7 dias AAP.

Analisando-se os valores de  $K_d$  (Tabelas 8 e 9), observa-se que os maiores índices foram obtidos para os solos LVdf e LVd, que diferiram significativamente do solo PVAd. Quanto maior os valores de  $K_d$ , maior é a sorção do produto ao solo. Como visto anteriormente na revisão de literatura, a sorção é um processo dinâmico influenciado por uma série de fatores, entre eles, o pH da solução do solo (KOSKINEN & HARPER, 1990; HARPER, 1994; GREY et. al. 1997).

O sulfentrazone é um ácido fraco e como tal apresenta característica de compostos aniônicos, ionizando-se em solução aquosa, em função do seu  $pK_a$  e do índice do pH do meio (TOMLIN, 1994). Desse modo, quando o pH da solução é igual ao  $pK_a$  do produto (6,56); 50 % da molécula encontra-se na forma dissociada e 50 % na forma molecular. Mas quando o pH for maior que o  $pK_a$  do produto, aumenta a porcentagem da molécula na forma ionizada, podendo assim diminuir a sorção. Ao analisar os dados das médias da porcentagem de ionização da molécula (Tabela 6 e 7), verifica-se que o solo LVd apresentou a menor porcentagem de ionização, diferindo significativamente dos demais solos estudados. Ou seja, o sulfentrazone encontrou-se mais disponível na forma molecular na solução do solo de textura média, favorecendo assim a sorção. Provavelmente a menor porcentagem de ionização da molécula justifique o fato do solo LVd não ter diferido significativamente do solo LVdf na

análise da concentração de sulfentrazone na solução do solo, apesar do solo LVdf apresentar teor de argila bem mais elevado (em média 75 %) do que o solo LVd (em média 32,5%) . Ao analisar as médias da porcentagem de ionização novamente, observa-se que o solo LVdf e PVAd não diferiram entre si significativamente; mas ao analisar as médias da concentração do produto na solução, verifica-se que o solo PVAd apresenta maior concentração do produto.

Essas observações evidenciam que a disponibilidade do produto na solução não foi influenciada somente pela capacidade de ionização do produto, mas também pela textura do solo. Os resultados obtidos indicam que em solo de textura arenosa a disponibilidade de sulfentrazone na solução do solo foi maior. Essa maior disponibilidade pode aumentar a eficácia do herbicida, sua lixiviação e o potencial tóxico para a própria cultura. Pereira et al. (2000) observaram maiores efeitos de fitotoxicidade sobre a cultura da soja, quando aplicado em solo de textura arenosa, já para solos de textura média e argilosa não observaram danos à cultura.

Rossi (2001) observou que a mobilidade do sulfentrazone teve comportamento diferenciado entre as classes de solos estudadas. Sendo pouco móvel nos solos LVdf, NV e LVA, e móvel nos solos M, LV e RQ. Observou também que a eficiência do sulfentrazone aumenta com o aumento do teor de umidade do solo.

Além da textura e do índice de pH do solo, outros fatores como conteúdo e natureza dos colóides podem influenciar no processo de sorção do herbicida .

Grey et al. (1997) verificaram que a sorção do sulfentrazone foi influenciada pela textura do solo e pelo índice de pH da solução do solo. Em quatro solos estudados verificaram que a sorção foi maior no solo que apresentava altos índices de hematita e gipsita.

No Brasil as condições de alta temperatura e precipitação quando associados à boa drenagem favorecem ao intemperismo e, conseqüentemente, a formação de solos com acúmulo de minerais de argila do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio. Regitano et al. (2001) encontraram teores de  $\text{FeO}_3$  de 70 e 400  $\text{g kg}^{-1}$ , para os solos LVd e LVdf, respectivamente. Na análise de superfície específica, para os mesmos solos citados anteriormente, encontraram os respectivos valores de 82,5 e 76,7  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ .

Ao analisar as médias da porcentagem de sorção do herbicida (Tabela 8 e 9), verifica-se que o sulfentrazone foi mais sorvido no solo LVd do que no solo LVdf. Ao comparar a porcentagem de sorção entre os solos LVd e LVdf, observa-se que, em média, o solo LVd sorveu no máximo 1,1 vezes mais que o solo LVdf. Ao analisar os teores de  $\text{FeO}_3$  obtidos por Regitano et al. (2001), observa-se que o solo LVd apresentou teores de  $\text{FeO}_3$  5,7 vezes maior que o solo LVdf. Quando se compara a diferença proporcional dos valores de porcentagem de sorção com os teores de  $\text{FeO}_3$  obtidos por Regitano et al. (2001), verifica-se que esses dados não apresentam correlação direta. Provavelmente os óxidos de ferro não influenciem de forma expressiva no processo de sorção do herbicida sulfentrazone, talvez a superfície específica dessa classe de solo esteja mais relacionada com o processo de sorção do que os teores de  $\text{FeO}_3$ . Pois o solo que mais sorveu (LVd) apresentou a maior superfície específica, segundo os resultados obtidos por Regitano et al. (2001).

Werlang et al. (2002) observaram que, em média, os ácidos húmicos absorveram 87,39 % do sulfentrazone adicionado na solução e a média de absorção para a caulinita, ferridrita, geothita, bauxita e hematita foi de 7,73; 9,59; 11; 79; 15,27 e 17,69 %, respectivamente. Dentre os principais constituintes da CTC de solos tropicais, a caulinita (argila silicatada de baixa atividade), a ferridrita (óxido de ferro amorfo) e a geothita (óxido de

ferro cristalino) são as que possuem menores contribuições na sorção de sulfentrazone; a bauxita (óxido de alumínio), hematita (óxido de ferro cristalino) e os ácidos húmicos (constituintes da matéria orgânica) são os principais responsáveis pela sorção deste herbicida nos solos brasileiros.

A influência da matéria orgânica no processo de sorção do produto pode ser claramente observada quando se considera o efeito da profundidade isoladamente. Na análise das médias do tratamento profundidade para a característica  $K_d$  (Tabela 8 e 9), observa-se que os valores de  $K_d$  foram maiores na profundidade de 0 - 0,2 m, diferindo significativamente da profundidade 0,2 - 0,4 m, indicando que a sorção foi maior em solos que apresentaram teores de matéria orgânica mais elevados. A afinidade do sulfentrazone à matéria orgânica talvez explique o fato dos solos LVdf e LVd não terem apresentado diferença significativa para a característica  $K_d$ , pois esses solos apresentavam teores de matéria orgânica bem próximos, como pode-se observar na Tabela 1.

Os dados de  $K_{oc}$  não foram afetados pelas profundidades, ao contrário dos dados de  $K_d$ . Este comportamento evidencia a grande participação da matéria orgânica na sorção de sulfentrazone, pois a principal diferença entre as duas constantes é a correção pelo teor de carbono orgânico, no caso do  $K_{oc}$ . No presente trabalho, para as amostras coletadas 24 h AAP, os índices de  $K_d$  e  $K_{oc}$  foram em média de 0,67 e 51,21 L kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para os solos coletados na profundidade de 0 - 0,2 m. E para os solos coletados na profundidade de 0,2 - 0,4 m, os índices foram em média 0,44 e 47,62 L kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as amostras coletadas 7 dias AAP, os valores de  $K_d$  e  $K_{oc}$  foram em média de 1,11 e 86,77 L kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para a profundidade de 0 - 0,2 m, e para a profundidade de 0,2 - 0,4 m, as médias de  $K_d$  e  $K_{oc}$  foram de 0,66 e 76,52, respectivamente. Segundo Wagenet & Rao (1990),

quando a ligação hidrofóbica é o principal responsável pela sorção de determinada molécula orgânica, os valores de  $K_{oc}$  são pouco variáveis para diferentes solos. Segundo os estudos de partição solo/água realizados pela EPA (1997), o sulfentrazone apresenta em média índices de  $K_d$  menores que 1 e  $K_{oc}$  médio de 43, sendo considerado um produto de alta mobilidade.

Reddy & Locke (1998) determinaram a sorção de sulfentrazone em sistema de preparo de solo convencional e plantio direto, em três solos diferentes, e observaram que em plantio direto o produto foi mais sorvido. Na análise de  $K_d$  obtiveram em média índices que variaram de 0,84 a 1,54 L kg<sup>-1</sup>, para o preparo convencional, e índices de 0,92 a 2,27 L kg<sup>-1</sup> para o sistema de plantio direto. Na análise de  $K_{oc}$  obtiveram em média índices que variaram de 47 a 96 L kg<sup>-1</sup> para sistema de preparo convencional e índices de 30 a 106 L kg<sup>-1</sup> para o sistema de plantio direto. Ainda segundo o autor, no processo de dessorção do produto, realizado através de quatro ciclos de agitação com uma solução de CaCl<sub>2</sub>, recuperou-se 93 % do sulfentrazone a partir dos tratamentos “plantio direto” e 95 % para o “preparo convencional”.

Ao comparar os dados de  $K_d$  das amostras coletadas 24 h e 7 dias após a aplicação do produto (Tabela 8 e 9), verifica-se um aumento dos valores indicando um aumento de sorção. Esse aumento na sorção de sulfentrazone pode ser melhor visualizado na Figura 11. A maioria dos dados (55 de um total de 72) encontra-se acima da linha de equivalência, indicando maior sorção aos 7 dias.

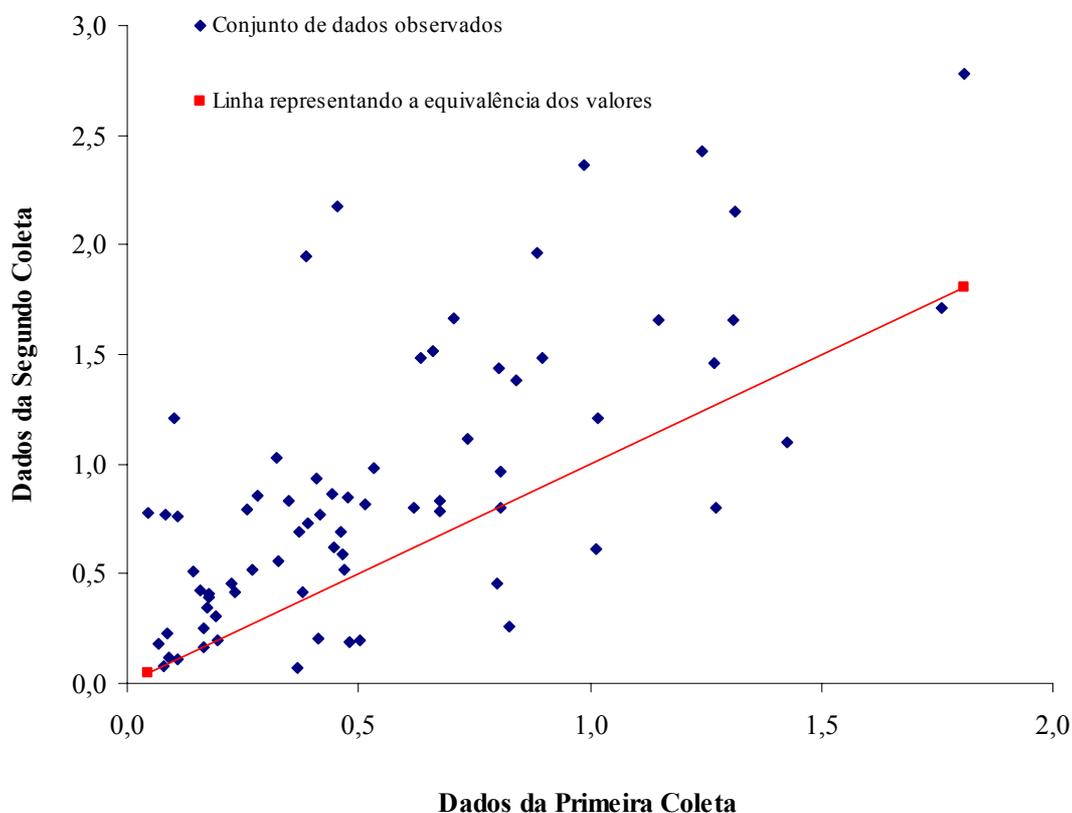


Figura 11. Comparação entre os dados de Kd obtidos na primeira coleta (24 h AAP) e na segunda coleta (7 dias AAP).

O aumento da sorção do produto ao solo implica em uma diminuição da concentração desse na solução. Essa diminuição, provavelmente não está associada a outros fatores que não seja a sorção, como por exemplo, a decomposição do produto por microorganismos. A degradação do sulfentrazone pelos microorganismos do solo foi um aspecto importante a ser considerado na escolha do produto nesse estudo, para que não houvesse interferência da ação microbiana nos resultados de dinâmica do herbicida ao solo. Segundo a EPA (1997) a meia vida do sulfentrazone em condições aeróbicas pode ser de 1,5

anos, e sob condições anaeróbicas pode ser de 9 anos. Tomlin, 1994 e Rodrigues & Almeida, 1995, relatam a meia vida do produto como sendo de 110 a 280 dias. Considerando o menor tempo de meia vida do produto, 110 dias, para calcular a porcentagem de degradação do produto, verifica-se, para as amostras coletadas 24 h AAP, que o produto pode ter degradado até 0,628 %, e para as amostras coletadas 7 dias AAP, que o produto pode ter degradado até 4,32 %. A diferença entre os valores (3,692 %) é bastante inferior às diferenças de concentração nas avaliações após 24 h e 7 dias.

Reddy & Locke (1998), ao estudarem a interação do herbicida sulfentrazone com os microrganismos do solo, utilizando a metodologia de Carbono marcado no radical fenol da molécula, verificaram que após 77 dias de incubação, apenas 2,1 % do  $C^{14}$  sulfentrazone, foram degradados através da respiração edáfica para  $^{14}CO_2$ , concluindo que a população nativa de microrganismos edáficos teve uma adaptação deficiente ao herbicida, não conseguindo dissipá-lo e degradá-lo, sugerindo que esta via não seja a mais eficiente para a degradação do herbicida no meio ambiente.

O aumento da sorção do produto ao solo provavelmente esteja associado a um equilíbrio dinâmico que foi atingido em um período de tempo mais longo. Reddy & Locke (1998) mediram a cinética de sorção de sulfentrazone em um sistema de agitação de amostras de solo com a solução do produto, e verificaram que a sorção inicial no período de uma hora foi rápida, mas o equilíbrio do produto na solução foi atingido somente após 72 h AAP. Como neste estudo as condições de sorção do solo foram medidas em um sistema estático, a sorção inicial pode ter sido mais lenta, não sendo completa no período de 24 h, quando foi realizada a primeira coleta da solução.

Apesar das informações a respeito do sulfentrazone em solos brasileiros serem poucas, pode-se observar, através dos resultados obtidos no presente trabalho e de alguns outros trabalhos citados anteriormente, que a textura do solo e o teor de matéria orgânica influenciam de forma significativa na disponibilidade do produto na solução do solo. Dessa forma, as recomendações de dose de aplicação do produto deveriam estar associadas às características do solo. Variando a dose de aplicação do produto, conforme as características do solo, poder-se-ia prevenir futuros danos ambientais. Nesse sentido, novas pesquisas poderiam ser realizadas, a fim de combinar textura dos solos e eficiência de doses de aplicação do produto em condições de campo.

Outro fator que influenciou na disponibilidade do produto foi a umidade do solo quando se aplicou o herbicida. Na análise das médias dos níveis de umidade para a característica porcentagem de produto sorvido ao solo (Tabela 8), verifica-se nas amostras coletas 24 h AAP, que a média para o solo saturado (TSAT) diferiu significativamente das médias para o solo seco (TSEC) e capacidade de campo (TCC). Ao observar os dados novamente, verifica-se que o TSEC apresentou maior média do que o TCC, apesar de não diferirem significativamente. Na análise dos níveis de umidade - característica porcentagem de produto sorvido, 7 dias AAP (Tabela 9), verifica-se que os tratamentos diferiram significativamente entre si, sendo que a máxima sorção do herbicida ocorreu em solo seco. A menor sorção do produto ocorreu nos solos saturados.

O comportamento do produto no solo quando aplicado em diferentes umidades pode ser observado na Figura 12.

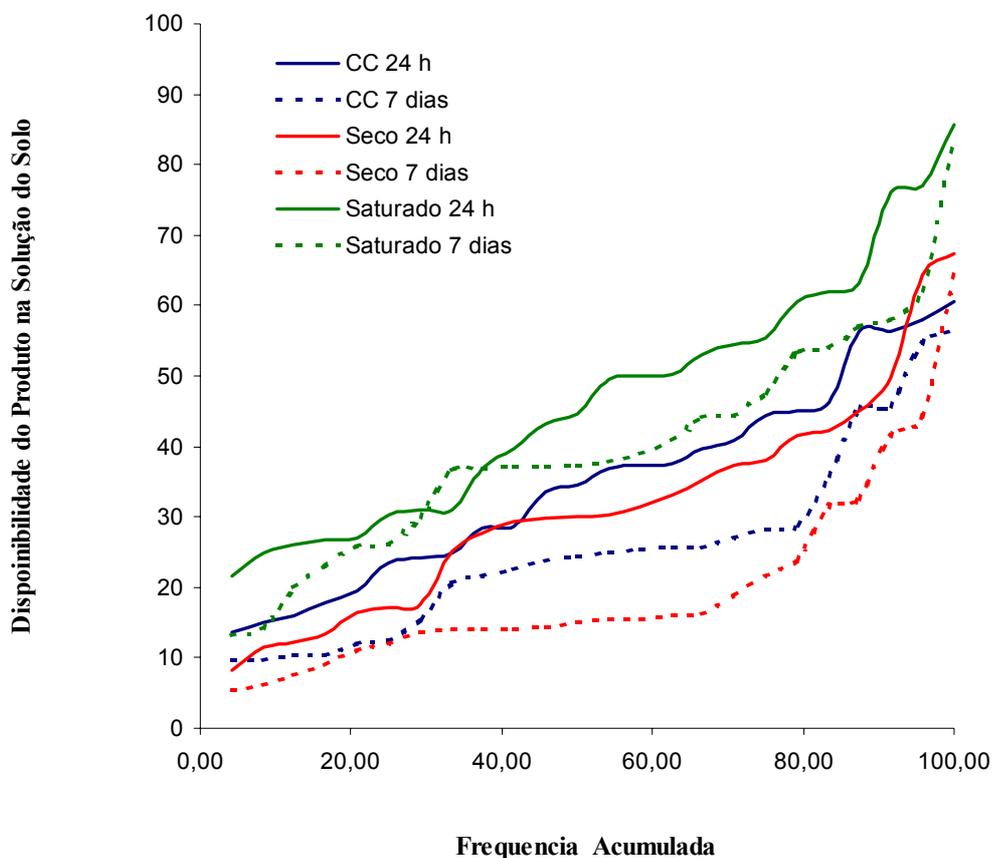


Figura 12. Porcentagem de sulfentrazone na solução do solo quando aplicado em solo seco, saturado e na capacidade de campo (CC), nas amostras de solução de solo coletadas 24 h e 7 dias AAP.

Analisando a Figura 12, observa-se uma diminuição na porcentagem de sulfentrazone na solução, quando compara-se as amostras coletadas 24 h e 7 dias AAP, indicando que houve aumento de sorção do produto ao solo. Pode-se verificar também, que a concentração do produto na solução do solo foi menor quando o produto foi aplicado em solo seco, do que quando aplicado em solo com umidade relativa a capacidade de campo e saturado. Observa-se que o teor de umidade do solo no momento da aplicação do produto

influencia na sua disponibilidade, mesmo quando esse período de tempo com baixa umidade for relativamente curto, como foi o caso do TSEC, que permaneceu em solo seco por 12 horas, e após esse período, a umidade foi elevada à capacidade de campo. Verifica-se que a umidade no momento da aplicação continuou influenciando mesmo após 7 dias AAP, quando foi realizada a segunda coleta, pois a sorção no TSEC continuou mais intensa do que TCC.

Com base nos resultados obtidos para os diferentes níveis de umidade, deveria ser evitada a aplicação do produto em solo seco, uma vez que apresenta baixa redistribuição quando o teor de umidade é elevado, podendo assim, até comprometer a eficiência do produto quando aplicado nessas condições.

Goetz et al. (1986) observaram que quando ocorre secamento temporário do solo e esse volta à capacidade de campo, geralmente aumenta a sorção de imazaquin, mas esse aumento foi mínimo em solos argilosos. O aumento da sorção do imazaquin obtido pela secagem temporária do solo pode ser atribuído à redução na espessura do filme de água que envolve os minerais de argila que servem para concentrar o produto perto da superfície de sorção.

Sabendo que o sulfentrazone tem um longo período residual no solo, e que a umidade influencia no processo de sorção, novos estudos poderiam ser realizados a fim de compreender melhor o comportamento do produto na solução do solo, quando influenciado por ciclos de secagem e umedecimento do solo.

Analisando-se a característica  $K_d$  e  $K_{oc}$  7 dias AAP, verifica-se que houve interação tripla entre os tratamentos, indicando que os fatores solo, umidade e teor de matéria orgânica são dependentes.

No presente estudo verificou-se que o processo de sorção foi influenciado pela textura do solo, pelo teor de matéria orgânica e pelos diferentes níveis de umidade do solo no momento da aplicação do produto.

Uma técnica cultural que precisa ser estudada em maiores detalhes é a aplicação de vinhaça, que pode tanto aumentar quanto reduzir a sorção no solo, em função do aumento do teor de matéria orgânica ou da umidade, respectivamente. No Brasil a aplicação de vinhaça em soqueira de cana-de-açúcar é uma prática comum como fonte de nutrientes. Segundo Camargo et al., 1987 e Reis, 1998 a vinhaça modifica temporariamente alguns atributos químicos e biológicos do solo, como o pH, o carbono orgânico e a acidez trocável, esses fatores interferem diretamente no comportamento de herbicidas no solo, tanto na sorção como na degradação.

Buss et al. (1978) verificaram que o efeito residual de controle da ametrina foi prolongado quando aplicada com a vinhaça. Os autores sugeriram que o resíduo orgânico estaria sorvendo o herbicida, que era liberado gradativamente. Entretanto, problemas de aplicação impediram que este manejo se perpetuasse.

Prata (2001) não verificou influência no processo de adsorção dos herbicidas diuron e ametrina quando aplicados em solos com vinhaça. O autor explicou a não-interferência da adição da vinhaça nos processos de sorção do herbicida, pelo fato da matéria orgânica deste resíduo ser constituída principalmente de glicerol, que é prontamente disponível aos microrganismos quimiorganotróficos do solo. Assim, após quatro dias da adição da vinhaça – período após o qual foi realizada a aplicação do herbicida, grande parte da matéria orgânica do resíduo já havia sido mineralizada.

Também é importante considerar a possibilidade de aplicação sobre a palha de cana-de-açúcar ou de culturas de inverno (plantio direto). Essa camada superficial de material vegetal aumenta a infiltração de água no solo, diminui a erosão e a evaporação, melhora a estrutura do solo e aumenta a sua CTC. (WOOD, 1991; CEDDIA et al., 1996).

Rodrigues et al. 1999 estudaram a influência da cobertura morta na aplicação de sulfentrazone, e observaram que quando o sulfentrazone foi aplicado sobre a palha (6 e 12 t/ha), não foi detectada a presença do produto nas camadas de 0 - 5 cm e 5 - 10 cm de solo. Mas quando foi submetido à irrigação (20 mm) foi encontrada a presença do produto em ambas as camadas de solos citadas anteriormente. O autor também observou sintomas de fitotoxicidade à cultura da soja mesmo aos 50 dias após a aplicação do produto.

Medeiros (2001) estudou a deficiência do herbicida sulfentrazone no controle da tiririca sobre diferentes quantidades de palha (0; 5; 10 e 15 t ha<sup>-1</sup>) e 24 h após a aplicação do produto, simulou chuva (0,0; 10; 20; 30; 40 e 50 mm), e verificou que a transposição do herbicida através da palha de cana-de-açúcar é aumentada com a ocorrência de chuva a partir de 10 mm.

Cavenaghi et al. (2002) avaliaram a dinâmica de sulfentrazone em diferentes quantidades de palha de aveia e cana-de-açúcar e verificaram que todo o produto aplicado foi interceptado por camada de palha a partir de 4 t ha<sup>-1</sup>. Numa segunda etapa do estudo, quando as palhas foram lavadas com diferentes lâminas d'água, os autores verificaram que a maior lixiviação do produto ocorreu para a palha de aveia, que lixiviou 94 % do produto.

Observa-se através dos trabalhos citados anteriormente, que a palha funciona como uma barreira física ao produto, e sua transferência ao solo se dará pela água da chuva. Ou seja, o sulfentrazone será disponível ao solo quando a umidade desse estiver mais

elevada, diminuindo assim as chances do produto entrar em contato com o solo seco, o que implica em aumento da sorção e, possivelmente, comprometimento da eficiência do produto.

Verifica-se, portanto que a compreensão do processo de sorção do sulfentrazone ao solo pode servir de base para uma série de trabalhos que busquem novas formas de aplicação do produto, a fim de obter melhor eficiência do produto e menores efeitos sobre o meio ambiente.

## 5. CONCLUSÕES

Os valores de Koc obtidos no sistema experimental estático utilizado foram similares aos valores disponíveis na literatura, obtidos em sistemas dinâmicos.

A sorção do solo foi diferenciada prioritariamente pela: textura (menor na arenosa), teor de matéria orgânica (maior na camada de 0 - 0,2 m) e pelo nível de umidade do solo (maior no solo seco).

Considerando o período máximo de análise em 7 dias, a sorção do sulfentrazone aumenta com o intervalo após a aplicação.

A disponibilidade do produto à solução do solo foi influenciada pela umidade do solo no momento da aplicação (menor em solo seco).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROW, N. J. The description of phosphorus adsorption curves. **Journal of Soil Science**, London, v.29, p.447-62, 1978.

BASILE FILHO, A. Controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em cana-soca úmida com o herbicida sulfentrazone, seguido de gerenciamento dose após o corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Resumos...**Viçosa, MG: SBCPD,1997. p. 241.

BLANCO, F. M. G. **Persistência do herbicida sulfentrazone em solos cultivados com cana-de-açúcar e soja e seu efeito em culturas sucedâneas.** 2002. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, 2002.

BLANCO, H. G; OLIVEIRA, D. A. Persistência de herbicidas em Latossolo Vermelho-Amarelo em cultura de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.7, p.681-687, 1987.

BLANCO, H. G. Destino, comportamento e resíduos de herbicidas no solo. **O Biológico**, São Paulo, v.45, n.11/12, p.225-48, 1979.

BUSS, A.; GLÓRIA, N. A.; JACINTO, O. A. Viabilidade do uso de herbicidas em mistura com vinhaça para o controle de plantas daninhas em soqueiras de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Campinas, v.2, p.49-56, 1978.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; BERTON, R. S.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; MENK, J. R. F. Alteração de características químicas de um latossolo vermelho-escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. **Boletim Científico do Instituto Agronômico de Campinas (IAC)** n.9, Campinas, 1987. 23p.

CARVALHO, F. T.; CAVASSANA, M. A.; GALBINATTI, JR. W. Eficiência do herbicida sulfentrazone no controle em pré-emergência de plantas daninhas na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Resumos...** Viçosa, MG: SBCPD, 1997a. p. 58.

CARVALHO, F. T.; CAVASSANA, M. A.; GALBINATTI, JR. W. Eficiência do herbicida sulfentrazone no controle de *Cyperus rotundus* na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu, MG. **Resumos...** Viçosa, MG: SBCPD, 1997b. p. 247.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agronômica, Botucatu – SP**, 1983. 95p.

CAVENAGHI, A. L.; TOFOLI, G. L.; NEGRISOLI, E.; VELINI, E. D.; COSTA, A. G. F. Dinâmica do sulfentrazone em palha de aveia e cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado, RS. **Resumos...** Londrina, PR, SBCPD/Embrapa clima temperado, 2002. p. 162.

CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Alterações nas propriedades físicas e mesofauna de solo podzólico amarelo sob diferentes sistemas de corte da cana-de-açúcar. (compact disc). In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Anais...** Águas de Lindóia: SBCS/SLCS, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA): Federal Register. Disponível em: <<http://www.epa.gov/EPA-Pest/1997/April-16/factshee.htm>> Acesso em 12 fev. 2003.

FERREIRA, C. R. R. P. T.; SILVA, J. R. da; ASSUMPÇÃO, R. Distribuição territorial das vendas de herbicidas no Brasil, 1991-2000. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.32, n.6,

2002, p. 15-23. Disponível em:< <http://www.ica.sp.gov.br/infecon0602.htm>>Acesso em 30 jan. 2003.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A.; GOMES, J.; DICK, D. P.; SOUZA, R. F. de. Atividade do herbicida acetochlor em solo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.12, p.1697-1703, 2002.

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G. R.; ADAMS, JR. J.; DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; HANCOCK, H. G.; KWON, O. Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins electrophoresis gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**, Ithaca, v.48, p.239-247, 2000.

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, Ithaca, v.45, p.733-38, 1997.

GOETZ, A. J.; WEHTJE, G.; WALKER, R. H.; HAJEK, B. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Science**, Ithaca, v. 34, n.5, p. 788-93, 1986.

HARPER, S. S. Sorption – desorption and herbicide behavior in soil. Reviews of **Weed Science**, Ithaca, v.6, p.207-25, 1994.

HESS, D. F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: Altman, J. **Pesticide Interactions in Crop Production: beneficial and deleterious effects**, Boca Raton : CRC Press, 1993, p. 13-34.

HOLM, L. G.; PLUCKNETT, D. L.; PANCHO, J. V.; HERBERGER, J. P. **World's worst weeds – distribution and biology**. Ed. by the University Press, Hawaii, 1977, 610 p..

KISSMANN, K. G. **Plantas Infestantes e Nocivas**, São Paulo – BASF Brasileira S.A. 1991, Tomo 1, p. 167-173.

KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The restriction process: mechanisms. In: CHENG, H.H. **Pesticides in the soil environmental: processes, impacts, and modeling**. Madison: Soil Science Society of American (SSAA Book s Série 2), 1990. p.51-77.

LUCHINI, L. C. **Adsorção - dessorção dos herbicidas paraquat, diuron e 2,4-D em seis solos brasileiros**. 1987. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia Nuclear na

Agricultura) – Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1987.

MELHORANÇA, A. L., MELHORANÇA FILHO, A. L. Seletividade do herbicida sulfentrazone em diversas cultivares de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado, RS. **Resumos...**Londrina, PR, SBCPD/Embrapa clima temperado, 2002. p. 430.

MEDEIROS, D.. **Efeito da intensidade de chuva e da quantidade de palha de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sobre o manejo e dinâmica do banco de sementes.** 2001. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

OLIVEIRA, JR. R. S.; KOSLINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, Oxford, v. 41, p. 97-110, 1999.

OLIVEIRA, JR. R. S; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo.** Guaíba, Editora Agropecuária, 2001. 362 p.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.197-200, 1968.

OHMES, G. A.; HAYES, R. M.; MUELER, T. C. Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil. **Weed Technology**, Champaign, v.14, p.100-5, 2000.

ORSI, JR. F. Avaliação da eficiência do herbicida sulfentrazone no controle da tiririca, na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Londrina, v.15, n.1, p.78-84, 1997.

PEREIRA, F. A. R; ALVARENGA, S. L. A.; OTUBO, S. Estudo da seletividade de sulfentrazone sobre cultivares de soja (*Glycine max*) em solos do cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu, PR. **Resumos...**Londrina, PR: SBCPD, 2000. p. 139.

PINTO, J. J. O.; BORGES, E. de S.; MAIA, I. S.; AGOSTINETTO, D.; HENN, O. Tolerância de cultivares de soja ao herbicida sulfentrazone. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Resumos...**Viçosa, MG: SBCPD,1997. p.125.

PRATA, F. **Biodegradação e adsorção dos herbicidas diuron e ametrina em solos tratados com vinhaça.** 1998. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1998.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas –** Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. n. 100, p. 285, 1997.

RAIJ, B.VAN. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, Ithaca, v.46, p.494-500, 1998.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A.; GASTON, L. A. Tillage and cover crop effects on cyanazine adsorption and desorption kinetics. **Soil Science**, Madison, v. 162, p.501-9, 1997.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A.; WAGNER, S. C.; ZABLOTWICZ, R. M.; GASTON L. A.; SMEDA, R.J. Chlorimuron ethyl sorption and desorption kinetics in soil and herbicide-desiccated cover crop residues. **J. Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 43, p.2752-7, 1995.

REGITANO, J. B.; PRATA, F.; ROCHA, W. S. D.; TORNISIELO, V. L.; LAVORETI, A. Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. **Weed Research**, Oxford, v.42, p.271-279, 2002.

REGITANO, J. B.; ALEONE, L. R. F.; TORNISIELO, V. L. Atributos de solos tropicais e a sorção de imazaquin. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n.4, p.801-807, 2001.

REIS, T. C. **Variação da acidez do solo em resposta a adição de materiais orgânicos.** 1998. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.

RIELEY, D.; EAGLE, D. Herbicides in soil and water. In: HANCE, R.J., HOLLY, K. (Ed.). **Weed control handbook: Principles.** Oxford: Blackweell Scientific Publications, 1990. p.243-59.

ROCHA, W. S. D. **Sorção de imazaquin em Latossolos ácidos.** 1999. 59 f. Dissertação (Mestre em Agronomia/Solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Sulfentrazone. In: **Guia de herbicidas.** 3° ed. Londrina, 1995. p.537-41.

RODRIGUES, B. N.; LIMA, J.; YADA, I. U.; FORNAROLLI, D. A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida sulfentrazone. **Planta Daninha**, Londrina, v.17, n.3, p.445-58, 1999.

ROSSI, C. V. S. **Mobilidade do sulfentrazone no perfil de várias classes de solos.** 2001. 73 f. Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Jaboticabal, SP, para graduação em Agronomia.

SANTOS, J. G. M. Eficiência do herbicida sulfentrazone aplicado em pré-emergência sobre o controle de plantas daninhas na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu, MG. **Resumos...**Viçosa, MG: SBCPD,1997. p.131.

SOUZA, L. D.; REICHARDT, K. Estimativa da Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.183-189, 1996.

SPADOTTO, C. A. **Uso de herbicidas no Brasil.** Comitê de meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado, 2002. Disponível em:< <http://www.cnpma.embrapa.br/herbicidas/> > Acesso em 30 de jan 2003.

TOMLIN, C. (Ed.). **The pesticide manual – incorporating the agrochemicals handbook**. Farnham: Crop Protection Publications, 8.ed., 1994. p.928-9.

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

WAGENET, R. J.; RAO, P. S. C. Modelling pesticide fate in soils. In: CHENG, H.H. (ed) **Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling**. Madison, Soil Sci. Soc. Am., Inc., p.351-399, 1990.

WERLANG, R. C.; SILVA, A. A.; NEVES, A. A.; QUEIROZ, M. E. L.; DEMUNER, A. J.; PROCÓPIO, S. O. Sorção do sulfentrazone em constituintes da fração argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. **Resumos...** Londrina, SBCPD/Embrapa clima temperado, 2002. p.148.

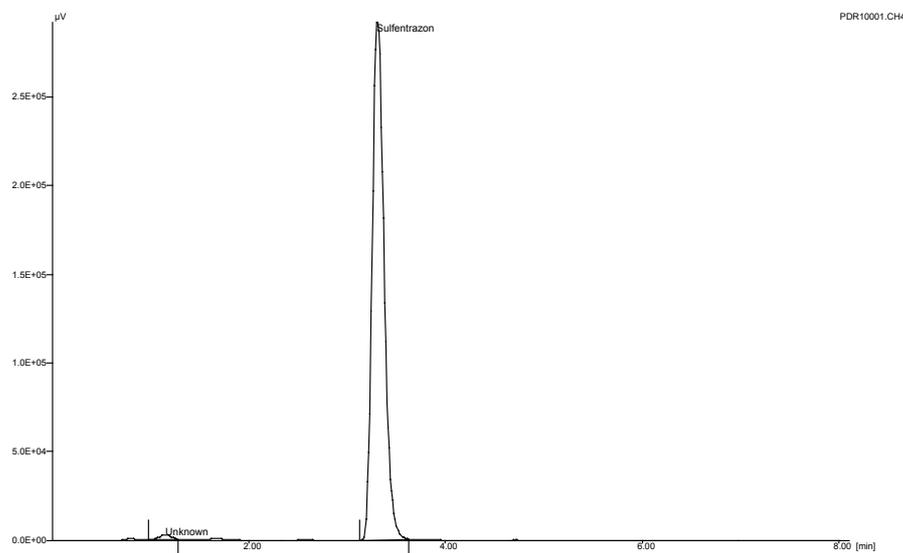
WILLIAN, T. W.; MUELLER, T. C.; HAYES, R. M.; SNIPES, C. E.; BRIDGES, D. C. Adsorption, dissipation and movement of fluometuron in three Southeastern United States soils. **Weed Science**, Ithaca, v.45, n.1, p.183-189, 1997.

WOOD, A. W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v.20, p.69-85, 1991.

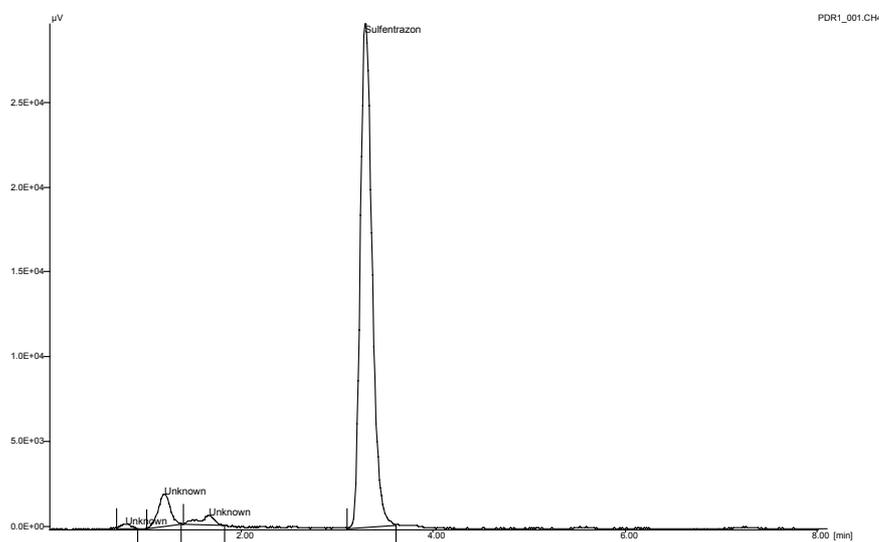
ZIMDAHL, R. L. **Fundamental of Weed Science**. California: Academic Press, Inc., 1993. p.295-310.

## APÊNDICE

Cromatograma de amostra padrão de sulfentrazone.

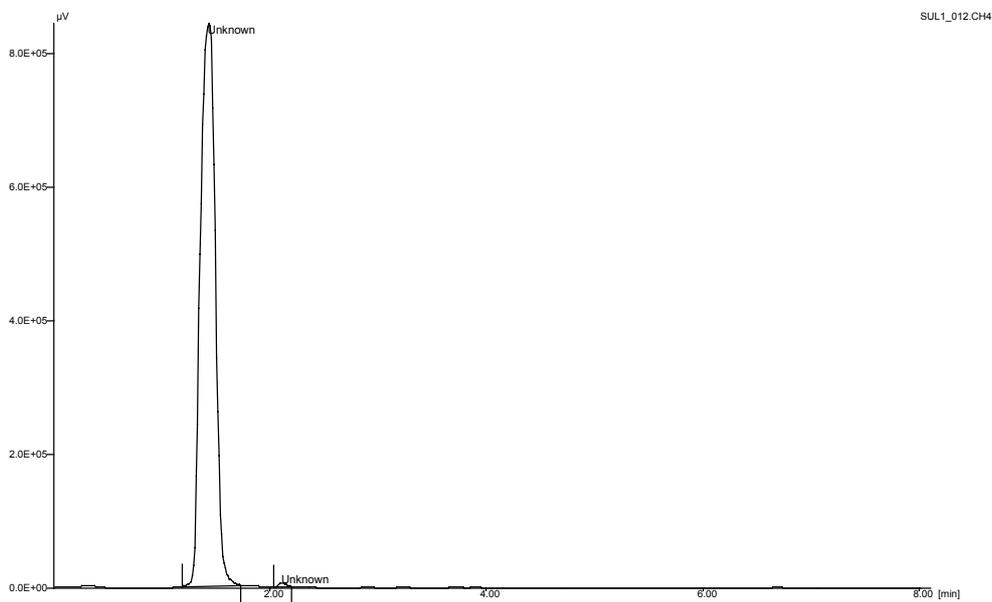


Padrão de sulfentrazone 10 mg L<sup>-1</sup>, área do pico = 2234049,00; tempo de retenção do pico: 3,27 min.

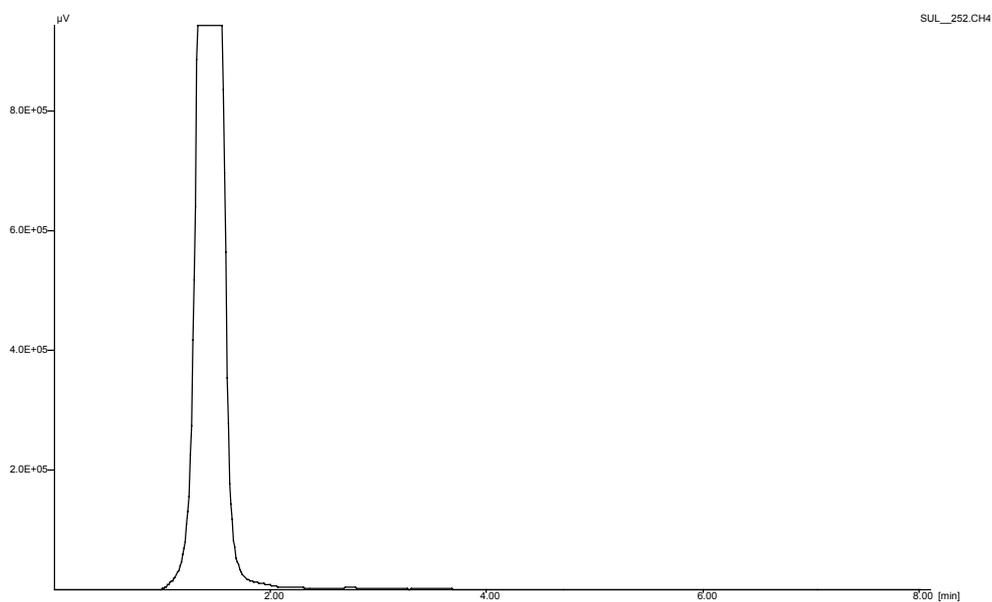


Padrão de sulfentrazone 1 mg L<sup>-1</sup>, área do pico = 230253,00; tempo de retenção do pico: 3,25 min.

Cromatograma das amostras de solução de solo sem aplicação de sulfentrazone.

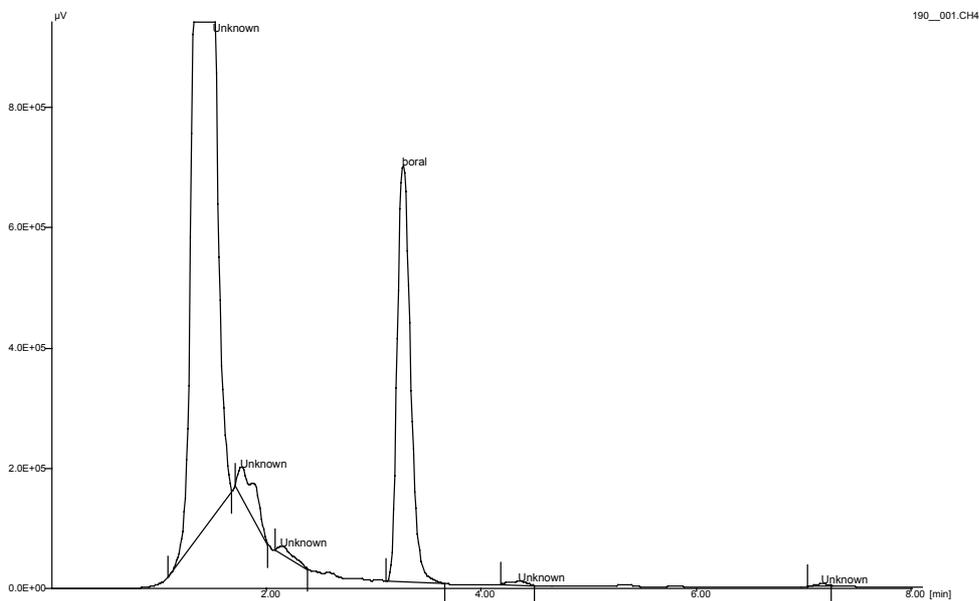


Amostra sem a adição de sulfentrazone (branco), concentrada em cartucho  $\text{C}_{18}$ . Solo LVdf, TCC, profundidade 0,2- 0,4 m.

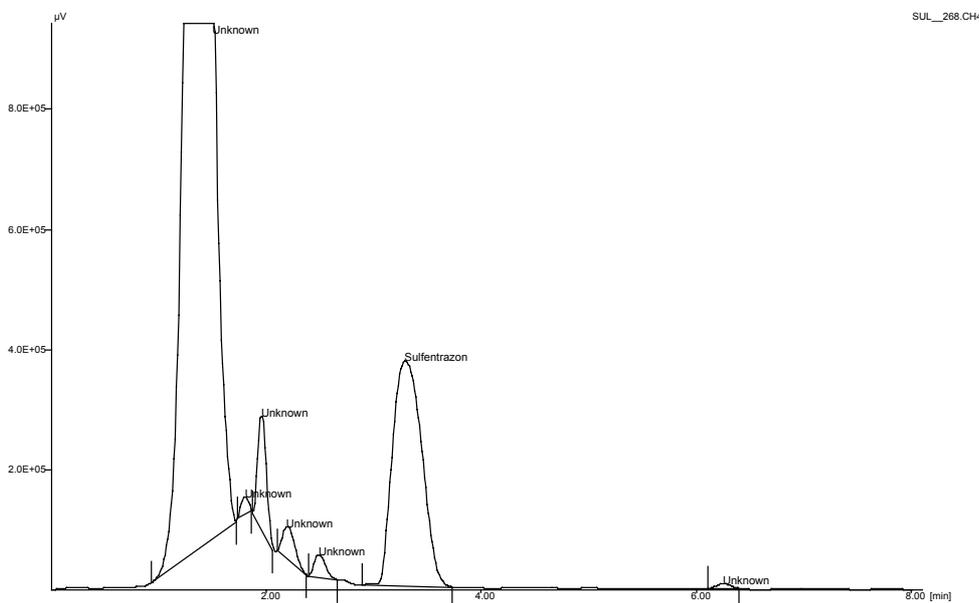


Amostra sem a adição de sulfentrazone (branco), concentrada em cartucho  $\text{C}_{18}$ . Solo PVAd, TSAT, profundidade 0,0 – 0,2 m.

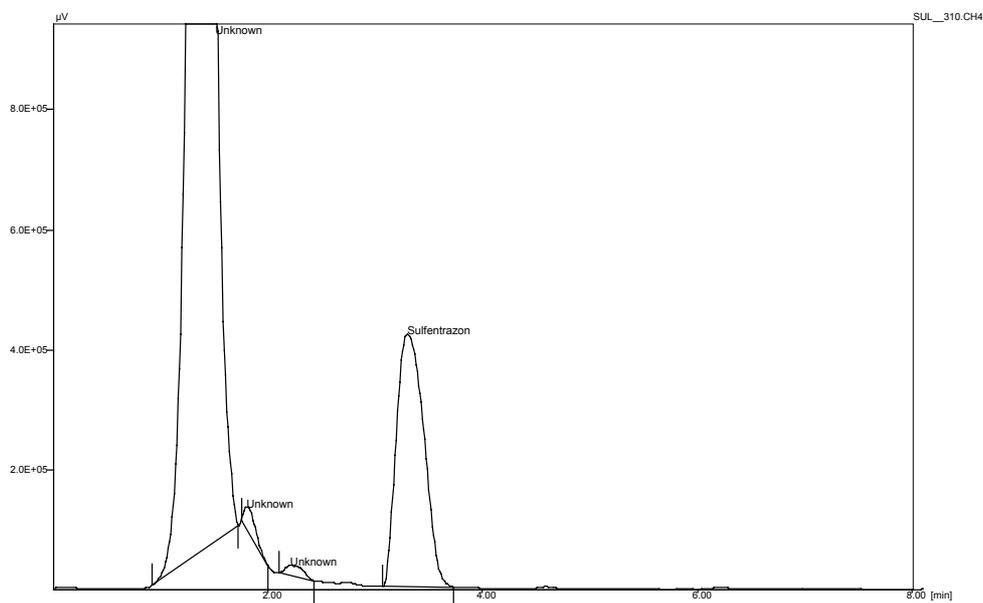
## Cromatograma das amostras de solução do solo.



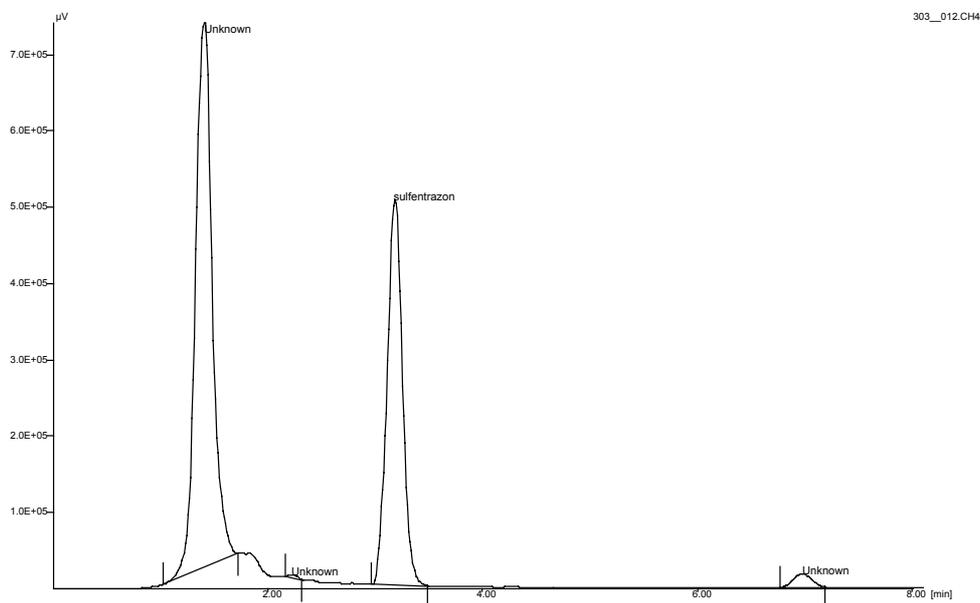
Amostra com sulfentrazone, concentrada em cartucho C<sub>18</sub>, 24 horas AAP. Solo LVdf, TSAT, profundidade 0,0 - 0,2 m, área do pico = 5397114,00, tempo de retenção do pico : 3,23 min.



Amostra com sulfentrazone, concentrada em cartucho C<sub>18</sub>, 7 dias AAP, solo LVd, TSEC, profundidade 0,2 – 0,4 m, área do pico = 6779022,50, tempo de retenção do pico: 3,25 min.



Amostra com sulfentrazone, concentrada em cartucho C<sub>18</sub>, 7 dias AAP, solo PVAd, TSEC, profundidade 0,2 – 0,4 m, área do pico = 7093446,00, , tempo de retenção do pico = 3,26 min.



Amostra com sulfentrazone, concentrada em cartucho C<sub>18</sub>, 7 dias AAP, solo LVd, TCC, profundidade 0 – 0,2 m, área do pico = , 2990090,50, tempo de retenção do pico = 3,69 min.