

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

**PERSISTÊNCIA DO HERBICIDA SULFENTRAZONE EM SOLOS
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR E SOJA E SEU EFEITO EM
CULTURAS SUCEDÂNEAS.**

Eng. Agr. FLÁVIO MARTINS GARCIA BLANCO

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia – Área de
Concentração em Agricultura.

Botucatu - SP
Novembro - 2002

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

**PERSISTÊNCIA DO HERBICIDA SULFENTRAZONE EM SOLOS
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR E SOJA E SEU EFEITO EM
CULTURAS SUCEDÂNEAS.**

Eng. Agr. FLÁVIO MARTINS GARCIA BLANCO

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia – Área de
Concentração em Agricultura.

Botucatu - SP
Novembro - 2002

Ao meu pai...
que cuida dos jardins de DEUS...
com o mesmo carinho e atenção de quando cuidava de mim...

OFEREÇO

à duas mulheres...
à *primeira*...
que com seu amor de mãe...
me deu o primeiro motivo para sorrir...
à *segunda*...
que com seu amor de esposa...
me deu mais três motivos para continuar sorrindo...
o Lucas.
o Hélió
e o Adriano.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP**, Campus de Botucatu, pela oportunidade de realizar o Curso de Pós – Graduação.

Ao **Instituto Biológico** através da Dra. **Zuleide Alves Ramiro**, que na época como Diretora Geral, permitiu e apoiou a continuação de minha formação profissional.

Ao pesquisador Dr **Hélio Garcia Blanco**, pela formação e fonte de inspiração.

Ao professor Dr. **Edivaldo Domingues Velini**, pelo exemplo, orientação, confiança e ética.

Ao Diretor do **Centro Experimental do Instituto Biológico – CEIB**, Dr. **Antônio Batista Filho**, pela confiança, apoio, exemplo e ética.

À empresa **FMC do Brasil**, especialmente aos colegas Eng. Agrônomos **Maria de Lourdes Fustaino** e **Luis Eduardo Alves Corrêa** pelo apóio e confiança.

Ao professor Dr. **Maurício Dutra Zanotto**, coordenador da Pós Graduação em Agricultura, pelo apoio e ajuda.

As secretárias do Departamento de Agricultura, as senhoras **Vera e Lana**, pela boa vontade e paciência.

.Aos **professores** do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura, pelos ensinamentos e amizade.

A **CONVIRON**, através do eng. **Glen McDonald**, pelo apoio e ajuda na manutenção do fitotron.

A **Shokucho do Brasil** através do colega Eng. Agr. **Luis Honma** pela ajuda e apoio e aos Técnicos Agrícolas **Osnil** (Kumbica) e **Panini**, pela paciência e boa vontade.

Aos auxiliares do Centro Experimental do Instituto Biológico – CEIB: **Brás, José Silvestre, José Barbeta, Júlio, João, Sabára** e ao Técnico **Edson Mancuci**.

Aos **funcionários** da Biblioteca Central do Lageado, pelo atendimento e revisão das Referências Bibliográficas.

As **funcionárias** da Seção de Pós-graduação, em especial a Sra. **Marlene**, pela boa vontade, atenção e paciência.

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

À minha mulher, **Maria Cláudia**, pela revisão do texto, seu amor, carinho e paciência e aos nossos **Lucas, Hélio e Adriano** pela alegria.

À minha **mamãe Cotinha**, que sempre me apoiou e ajudou.

Aos estagiários **Ronaldo Tavares de Araújo, Ricardo Iglesias Flávia Marin**.

A todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado, e **principalmente**, acima de tudo, a **DEUS**.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
4.1. Comportamento dos herbicidas no solo.....	13
4.1.1. Sorção (Adsorção) – Dessorção dos herbicidas no solo.....	15
4.1.1.1. Sorção do herbicida sulfentrazone.....	17
4.3. Movimento no solo dos herbicidas.....	20
4.3.1. Movimento no solo do herbicida sulfentrazone.....	23
4.4. Volatilização dos herbicidas.....	24
4.5. Degradação microbiana.....	24
4.6. Dissipação química.....	28
4.7. Persistência dos herbicidas no solo.....	30
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
5.1. Ensaio 1: Determinação da persistência do herbicida sulfentrazone no cultura de cana-de-açúcar.....	33
5.1.1. Local do experimento.....	33
5.1.2. Instalação do experimento.....	33
5.1.3. Tratamentos.....	34

5.1.4. Delineamento e unidade experimental.....	35
5.1.5. Determinação da persistência.....	35
5.2. Ensaio 2: Determinação da persistência do herbicida sulfentrazone na cultura de soja e seu efeito em culturas sucedâneas.....	38
5.2.1. Local.....	38
5.2.2. Instalação do ensaio.....	38
5.2.3. Tratamentos.....	39
5.2.4. Delineamento e unidade experimental.....	39
5.2.5. Manejo das culturas em sucessão.....	40
5.2.6. Delineamento estatístico.....	41
5.2.7. Método de avaliação.....	42
5.2.7.1. Ação sobre as culturas em sucessão.....	42
5.2.8. Determinação da persistência.....	44
5.2.9. Metodologia de bioensaios para a determinação da persistência.....	46
5.2.9.1. Experimento para escolha da planta teste.....	46
5.2.9.2. Determinação da persistência pelos bioensaios.....	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
6.1. Determinação da planta teste.....	49
6.2. Persistência do herbicida sulfentrazone na cultura de cana-de-açúcar..	54
6.3 Persistência do herbicida sulfentrazone na cultura de soja e seu efeito em culturas sucedâneas.....	62
6.3.1. Persistência do herbicida.....	62
6.3.2. Efeito do herbicida sulfentrazone sobre as culturas sucedâneas.....	69
6.3.2.1. Cultura do milho cv. italiano.....	70

6.3.2.2. Cultura do girassol cv. uruguay.....	71
6.3.2.3. Cultura do feijão cv. carioca.....	72
6.3.2.4. Cultura do trigo cv. IAC – 24.....	74
6.3.2.5. Cultura da aveia cv. branca.....	75
6.4. Observações sobre os resultados de persistência.....	78
7. CONCLUSÕES.....	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
10. ANEXO.....	97
11. FOTOS ILUSTRATIVAS.....	99

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Características físicas e químicas do solo onde foi instalado o experimento na cultura de cana-de-açúcar..... 35
Tabela 2	Épocas amostradas no ensaio com a cultura da cana-de-açúcar..... 37
Tabela 3	Características físicas e químicas do solo onde foi conduzido o experimento na cultura da soja..... 38
Tabela 4	Descrição das culturas sucedâneas à cultura da soja com suas respectivas indicações agronômicas de adubação e plantio..... 40
Tabela 5	Escala de fitotoxicidade de plantas provocadas por herbicidas, ALAM, 1974 (modificada)..... 42
Tabela 6	Épocas amostradas no ensaio com a cultura da soja..... 45
Tabela 7	Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone na massa fresca epígea (g) de duas plantas de beterraba e sorgo, crescendo durante 14 dias em um fitotron.. Dados médios de 10 repetições..... 49
Tabela 8	Resumo das análises de variância e teste de médias (teste t) dos bioensaios realizados em cada época amostrada na cultura de cana-de-açúcar. Dados médios de 15 repetições..... 54

Tabela 9	Resumo das análises de variância e teste de médias (teste <i>t</i>) dos bioensaios realizados em cada época na cultura de soja. Dados médios de 15 repetições.....	63
Tabela 10	Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha ⁻¹) para a cultura do milho. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.....	70
Tabela 11	Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha ⁻¹) para a cultura do girassol. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.....	71
Tabela 12	Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha ⁻¹) para a cultura de feijão. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.....	72
Tabela 13	Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha ⁻¹) para a cultura do trigo. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.....	74

Tabela 14	Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha ⁻¹) para a cultura da aveia. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.....	76
-----------	--	----

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Formula estrutural do herbicida sulfentrazone.....	11
Figura 2	Esquematização dos principais processos da interação solo/herbicidas.....	15
Figura 3	Principais fatores e fenômenos que influenciam a persistência dos herbicidas nos vários compartimentos do meio ambiente...	30
Figura 4	Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone sobre a massa fresca epígea das plantas de sorgo, com a respectiva estimativa e determinação do RC 50%.....	51
Figura 5	Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone sobre a massa fresca epígea das plantas beterraba, com a respectiva estimativa e determinação do RC 50%.....	53
Figura 6	Massa fresca epígea da planta teste beterraba em função das amostragens, ensaio no cultura de cana-de-açúcar.....	58
Figura 7	Condições climáticas do ensaio (mm de chuva e temperatura média), no período de 30/03/00 a 04/03/02.....	59
Figura 8	Massa fresca epígea da planta teste beterraba em função das amostragens, ensaio na cultura de soja.....	65
Figura 9	Condições climáticas do ensaio (mm de chuva e temperatura média), durante o período de 13/01/00 a 31/05/01.....	68

Figura 10	Dissipação do herbicida sulfentrazone na cultura da soja, em função dos ciclos das estações climáticas.....	80
Figura 11	Dissipação do herbicida sulfentrazone na cultura de cana-de-açúcar, em função dos ciclos das estações climáticas.....	80

1. RESUMO

Esta pesquisa foi realizada em Campinas SP/Brasil e teve como o objetivo estudar a persistência do herbicida sulfentrazone em solos cultivados com cana-de-açúcar e soja, e nesta, os efeitos da toxicidade do resíduo do herbicida nas culturas sucedâneas de milheto, girassol, aveia, trigo e feijão. Os solos dos ensaios com a soja e a cana-de-açúcar tiveram as seguintes características, respectivamente, 46% e 23% da argila; 12% e 13% do silte; 42% e 64% da areia 4% e 1% de MO e com pHs de 5,8 e 6,4. As experiências foram projetadas em blocos ao acaso com 5 repetições. As amostras do solo foram coletadas na profundidade de 0-10cm, de 0-704 DAT (23 amostras) e de 0-539 DAT (24 amostras) nos experimentos de cana-de-açúcar e soja, respectivamente. A persistência do sulfentrazone foi avaliada por bioensaios usando a beterraba como a planta do teste. No ensaio com a cana-de-açúcar, os efeitos do sulfentrazone na beterraba foram detectados até 601 e 704 DAT para 0,6 e 1,2 kg a.i./ha, respectivamente. No ensaio com a soja, foram observados, os efeitos das mesmas doses até 376 e 539 DAT. Pelas análises das diversas características de

desenvolvimento nas culturas que sucederam a soja, foi demonstrado que o resíduo do sulfentrazone afetou crescimento e o rendimento das culturas de milho e aveia; por outro lado, o girassol e o feijão não foram afetados; o trigo foi afetado, somente, pela dose mais elevada.

SULFENTRAZONE CARRYOVER IN SUGARCANE AND SOYBEAN ECOSYSTEMS.

EFFECTS OF RESIDUES OF THE HERBICIDE ON SUCCESSION CROPS. Botucatu, 2002. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FLÁVIO MARTINS GARCIA BLANCO

Adviser: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

2. SUMMARY.

This research was carried out in Campinas – SP / Brazil and had as objective to study the residual effects and persistence of sulfentrazone in sugarcane and soybean ecosystems and the toxicity of the residues of this herbicide to millet, sunflower, oats, wheat and beans cultivated in succession to soybean. The soils of the soybean and sugarcane fields had, respectively, 46% and 23% of clay; 12% and 13% of silt; 42% and 64% of sand 4% and y% of OM and pHs of 5,8 and 1,1. The experiments were designed in randomized blocks with 5 replications. Soil samples were collected at the depth of 0-10cm, from 0-704 DAT (23 timings) and from 0-539 DAT (24 timings) in sugarcane and soybean experiments, respectively. The persistence of sulfentrazone was evaluated by bioassay using sugar beet as test plant. In sugarcane field, the effects of sulfentrazone on sugar beet were detected up to 601 and 704 DAT for 0,6 and 1,2 kg a.i./ha, respectively. In soybean field the effects of the

same rates were noticed up to 376 and 539 DAT. Concerning to the crops in succession to soybeans, the residues of sulfentrazone affected the growth and yield of millet and oats; sunflower and beans were not affected; wheat was affected by the higher rate, only.

Keywords – herbicide, residue, carry-over, bioassay, *Glycine max*, *Saccharum sp.*

3. INTRODUÇÃO

Na implantação de uma área agrícola através de um sistema de cultivo, há sérias e significativas transformações nos subsistemas geomórfico, edáfico e biológico, tornando-os assim, mais simples (agroecossistema), em comparação com um sistema mais complexo (ecossistema natural). Esta transformação resulta nas modificações das inter-relações entre estes subsistemas, ocasionando uma diminuição drástica da capacidade de auto-regulação do sistema, tornando-o, mais instável e susceptível a entradas de energia. Uma das principais conseqüências da transformação do ecossistema natural em um agroecossistema é o aumento exagerado de determinadas populações de insetos, microrganismos, nematóides e plantas silvestres, coexistindo junto com as plantas cultivadas.

Como esta convivência afeta a produção das plantas cultivadas, desde então, estas populações se tornam indesejáveis para o homem, que as nomeiam de pragas agrícolas (Blanco 1993, Blanco & Blanco 1997, Blanco 1997; Blanco 2002).

Este aumento populacional quando se refere às plantas silvestres, estas se tornam daninhas, que diferentemente de outras pragas agrícolas, têm por característica, estarem ***sempre presentes*** nos agroecossistemas sendo responsáveis direta

(competição, alelopatia, etc.) ou indiretamente (reservatório de patógenos, atrativas para insetos-praga etc.) pela diminuição drástica na produção econômica das culturas.

Há muito tempo a pesquisa agrônômica demonstra, que o controle das plantas daninhas nos mais diversos agroecossistemas é primordial para o sucesso da produção das culturas. Todo o desenvolvimento tecnológico da cultura seja nos aspectos nutricionais, fitotécnicos ou no seu melhoramento, podem ser comprometidos se as plantas daninhas não forem controladas.

O controle destas plantas é realizado pela combinação de diversos métodos como preventivo, cultural, capinas e químico, neste, com o uso de herbicidas.

Herbicidas são compostos químicos usados para eliminar plantas. São aplicados em doses convenientes diretamente sobre a vegetação para absorção foliar (tratamento de pós-emergência), ou no solo para absorção por tecidos formados após a germinação da semente antes da emergência da planta na superfície (tratamento de pré-emergência). São utilizados geralmente para o controle de plantas daninhas que infestam os diversos agroecossistemas, ou em quaisquer outros nichos ecológicos favoráveis a esses organismos: terrenos baldios, margens de rodovias, leitos de estradas de ferro, pátios de estacionamento e ambientes aquáticos.

O uso de herbicidas deve ser feito de uma forma técnica e criteriosa, sempre buscando maximizar as suas vantagens de uso, minimizando os seus riscos toxicológicos e ambientais.

A sua utilização não é isenta de riscos, dentre os quais podemos salientar:

- A toxicidade para plantas susceptíveis utilizadas como culturas sucedâneas à cultura tratada.
- Os resíduos dos herbicidas nos agroecossistemas.

Estes temas estão relacionados com a ecotoxicologia dos herbicidas, sendo que somente nos anos 60 começava o interesse nos estudos sobre os efeitos ecológicos de produtos químicos, quando, então, a sociedade começa a se preocupar com os seus efeitos na contaminação do ambiente em razão, principalmente, dos relatos na imprensa mundial sobre os efeitos dos inseticidas de uso agrícola sobre a fauna silvestre. Um exemplo clássico ocorreu na década de 60, nos rios Mississippi e Atchafalaya, E.U.A., resultando na morte de dez milhões de peixes pela contaminação da água com o inseticida endrin (Madhun & Freed, 1990). Em 1962, causou grande repercussão mundial, o livro "Primavera Silenciosa" de Rachel Carson (1964), que projetava um futuro sombrio para o planeta Terra, caso o homem não parasse de se utilizar os agrotóxicos de um modo indiscriminado.

Logo após esta época, em 1975, teve início o desenvolvimento da Ecotoxicologia, ramo da ciência criada por René Thruhaut, em Paris (Astolfi et al, 1984), que estuda os mecanismos da contaminação do ambiente por substâncias químicas naturais e artificiais (xenobióticos), bem como, a ação de tais substâncias e seus efeitos nos seres vivos que habitam a biosfera. Como tal, a Ecotoxicologia é uma ampliação natural da Toxicologia.

Um dos testes que tem contribuído para a construção do perfil ecotoxicológico dos agrotóxicos são os ensaios de campo para verificar e monitorar a persistência, o acúmulo, a degradação e a lixiviação destes produtos no solo.

A metodologia adotada para o estabelecimento desse perfil emprega métodos biológicos (bioensaios), químicos (análises de resíduos), e físicos (radiométricos). Todos apresentam vantagens e limitações, e seu emprego dependerá do objetivo de cada teste.

Em 1986 dos US\$ 835 milhões das vendas de todas as classes de defensivos (inseticidas, fungicidas, herbicidas e acaricidas), no Brasil, os herbicidas representaram 44%. Já em 1999, estes valores progrediram para US\$ 2.329 milhões e 50%, referente a 68.131 t (princípio ativo) desta classe de agroquímico lançados no meio ambiente, constituindo-se assim, em um mercado de razoáveis proporções para a indústria mundial e um potencial de problemas na área da ecotoxicologia. (Ferreira & Tsunehiro, 1998; Ferreira, 2000).

Segundo Ferreira & Tsunehiro (1998), em 1996 as culturas que mais utilizaram herbicidas no Brasil foram: a soja com 47,3%, a cana-de-açúcar 18,5%, o milho 11,8%, o arroz 5,9% e o café 2,8%. Dessas, possivelmente, as que apresentam maiores probabilidades de problemas de permanência de moléculas herbicidas no solo por um tempo além do desejável (persistência), deverão ser a soja e a cana-de-açúcar por serem culturas extensivas e utilizarem produtos de longo efeito residual. Na safra de 2001 foram plantados nas seguintes áreas e respectivas produções: cana-de-açúcar – 5 milhões de ha/347 milhões de ton., soja – 13 milhões de ha/38 milhões de t, demonstrando assim quão importante são estas culturas (IBGE, 2002).

Das 90 moléculas registradas no Brasil para uso na cana-de-açúcar e na soja relacionada por Lorenzi (1999) e Rodrigues & Almeida (1998), na sua maioria são herbicidas residuais de aplicação em pré-plantio e/ou pré-emergência da cultura. Alguns poucos podem também ser utilizados em pós-emergência inicial das plantas daninhas, porém,

predominantemente, a maioria é formada por herbicidas de solo com certo grau de persistência no meio ambiente.

Em ecotoxicologia a persistência de um agrotóxico no meio ambiente é medida pelo tempo em que o seu resíduo permanece no mesmo, seja com ou sem atividade biológica.

No Brasil os trabalhos sobre ecotoxicologia do sulfentrazone em solos de agroecossistemas são muitos escassos como pode ser visto na revisão de literatura.

Assim, como contribuição ao conhecimento do perfil ecotoxicológico do sulfentrazone, um herbicida do grupo das aril triazolinas de largo uso nas culturas de cana-de-açúcar e soja, foram conduzidos dois experimentos de campo para o monitoramento do resíduo do produto nestas culturas, e no caso da cultura de soja o efeito da aplicação nas culturas sucedâneas de feijão, aveia, trigo, girassol e milho. Os experimentos foram implantado em solos barrento e argiloso e cultivado com cana-de-açúcar e soja, respectivamente, nas condições climáticas da região de Campinas, SP.

4. REVISÃO DE LITERATURA.

O herbicida sulfentrazone é fabricado pela FMC Corporation e teve o seu uso aprovado como agente no controle das plantas daninhas em 1997, nos Estados Unidos da América. No Brasil, surgiram nesta época, os primeiros trabalhos de pesquisa relatando o uso deste herbicida (Durigan et. al., 1995; Benetti, 1995, Osipe et. al, 1995), notoriamente no XX Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas em Florianópolis, SC, realizado em 1995.

Sendo um herbicida relativamente novo, as descrições de suas propriedades, quer sejam como agente no controle das plantas daninhas ou seu comportamento no solo e principalmente neste tópico, são muito escassas com poucos trabalhos tanto nacionalmente como na literatura estrangeira.

Apresenta as seguintes características físico-químicas (Tomlin, 1991):

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

- Grupo químico: aril-triazolinonas.
- Estado físico: sólido.
- Cor: marrom claro.
- Odor: similar ao enxofre.
- Ponto de fusão: 120-122°C.
- Densidade: 0,53g.
- Solubilidade: 780 mg/L (pH 7).
- Pressão de vapor: 1×10^{-9} mmHg a 25°C.
- Constante de dissociação (pK) – 6,56
- Coeficiente de partição (Kow) – 9,8 (pH 7)
- pH (produto técnico) – 4,78

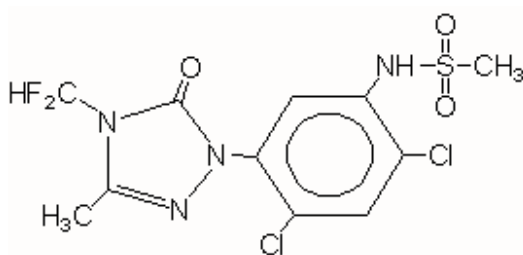


Figura 1. Fórmula estrutural do herbicida sulfentrazone.

Outro representante do mesmo grupo químico das aril-triazolinonas é o herbicida carfentrazone, o seu modo de ação se caracteriza como destruidor de membranas celulares, o herbicida inibe a enzima Protox e por consequência há o acúmulo da

protoporfirina IX causado peroxidação do O₂ e por consequência a destruição das membranas celulares (Dan Hess, 1993).

O sulfentrazone é aplicado em área total em pré-emergência, apresenta controle sobre diversas plantas daninhas, notoriamente sobre *Cyperus rotundus* (tiririca), que entre as plantas infestantes, é a de maior importância em termos mundiais, quer seja por causa da sua grande capacidade de reprodução e desenvolvimento, mas principalmente pelo seu difícil controle (Holm et. al., 1977). O sulfentrazone consegue efetivamente controlar esta infestante nas condições edafoclimáticas brasileiras (Christoffoleti, P. J. et. al., 1995).

Seu uso no Brasil está registrado para as culturas de cana-de-açúcar e soja, as principais tanto no aspecto de área agrícola plantada ou na obtenção de divisas para o país através da exportação (IBGE, 2002) Também, são as culturas em que se mais se usa herbicidas. As duas juntas são responsáveis por mais de 50% das vendas (Ferreira & Tsunechiro 1998).

Estas duas culturas são sensíveis à interferência das plantas daninhas, diversos são os trabalhos que demonstram o prejuízo desta interferência (Azzi 1970, Blanco et. al., 1973, 1978, 1979, 1981, 1982, Colleti et. al. 1980, Rolim & Cristofolleti 1982, Durigan et. al. 1983), demonstrando que o controle das plantas daninhas é primordial para o sucesso da produção. Todo o desenvolvimento tecnológico investido na cultura, quer seja nutricional, fitotécnico ou no seu melhoramento, podem ser comprometidos se as plantas daninhas não forem controladas.

Para que não haja o comprometimento da produção, geralmente o herbicida deve ter uma ação de controle sobre as plantas daninhas até o fechamento da cultura

(período residual), este intervalo de tempo é denominado de período crítico de prevenção da interferência (Blanco, 1972, 1982; Pitelli, 1985).

Para a cultura da soja, em geral, este período é de 30 a 50 dias após a emergência das plântulas. Por sua vez, a cultura da cana-de-açúcar apresenta um diferencial, pois como pode ser plantada em épocas distintas durante o ano, tem o período crítico de prevenção de interferência variável em função destas épocas, um mais curto para os plantios de primavera e verão, 15 a 60 dias após a emergência, e outro mais longo de 60 a 90 dias após a emergência, para os de plantio de outono/inverno, devido a um período de estiagem logo após o plantio o que paralisa o crescimento das plantas até o próximo período das chuvas (Colleti et. al. 1980, Blanco et. al., 1982, Rolim & Cristofolleti 1982). O herbicida a ser utilizado deve ter um efeito residual que atenda estes períodos.

Cabe salientar que a maioria dos trabalhos no estudo da interferência das plantas daninhas nos agroecossistemas de soja e cana-de-açúcar, foram realizados nas condições edafoclimáticas da região sudeste. Desta forma plantios destas culturas em outras regiões fatalmente deverão ter outros períodos críticos de prevenção de interferência.

4.1. Comportamento dos herbicidas no solo.

Em sistemas agrícolas o solo representa o destino final de grande número dos herbicidas, seja quando aplicados diretamente sobre o mesmo ou na parte aérea das plantas (Walker, 1987).

Os herbicidas, ao chegarem ao solo, interagem com o ambiente sendo o seu destino governado por três tipos de processos gerais: *físicos*: (sorção-dessorção,

volatilização, lixiviação pela água e transporte por erosão junto com o solo por vento e água); *químicos*: (fotodecomposição, sorção, reações químicas com os constituintes do solo), e *biológicos* (representados pela decomposição microbiana da molécula e remoção do solo por plantas) (Kearney *et al.*, 1969, Blanco, 1979).

Todos estes processos são na opinião de Briggs (1969, 1976); Blanco (1979); Walker (1983); Walker & Allen (1984) e Velini (1992) dependentes da natureza química e física do solo e das condições climáticas, particularmente da temperatura e umidade do solo, e das características do solo (textura, estrutura, conteúdo e natureza dos colóides, índice pH, temperatura, umidade, e outros). 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 a dose e o modo de aplicação, a formulação do herbicida. A Figura 2 ilustra os processos envolvidos nas interações dos herbicidas quando aplicados ao solo.

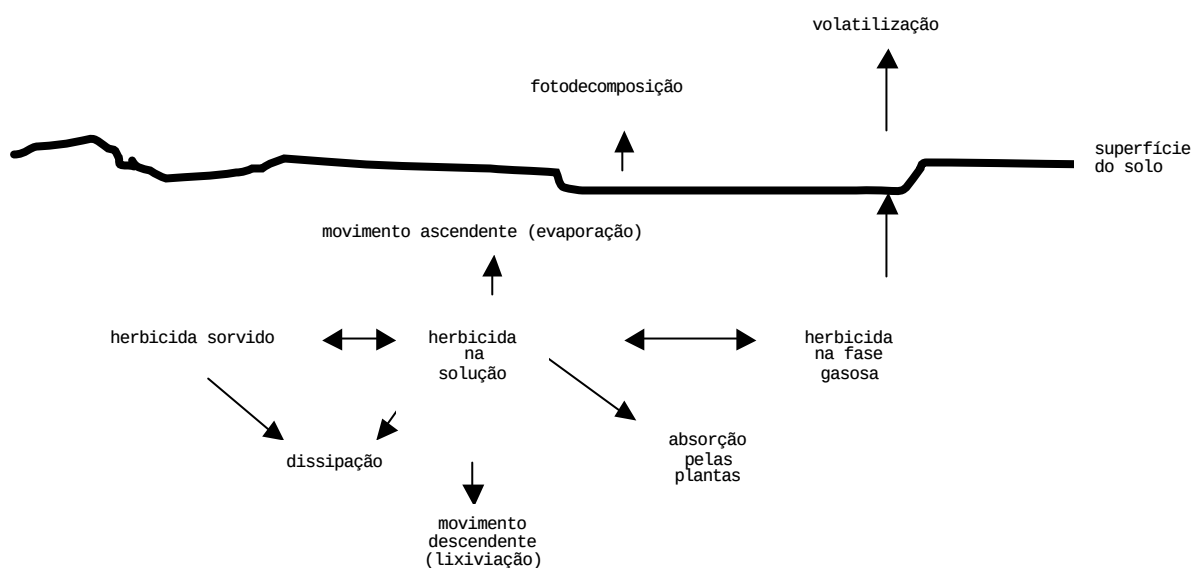


Figura 2. Esquematização dos principais processos da interação solo/herbicidas (Walker *et al.*, 1983).

4.1.1. Sorção (Adsorção) - Dessorção dos herbicidas no solo.

Entende-se por adsorção a adesão de uma molécula, um íon ou uma partícula qualquer à superfície de uma outra partícula resultante da interação de um campo de força emanado pela superfície do adsorvente (argila, matéria orgânica) e a superfície do adsorvato (neste caso, um herbicida). Partículas do herbicida, também podem ser absorvidas pelos colóides do solo. Harper 1994 pondera na dificuldade da distinção entre os fenômenos de absorção e adsorção, sugerindo a utilização do termo sorção, que abrange ambos os processos.

A sorção geralmente é um fenômeno reversível, estabelecendo-se um equilíbrio entre a concentração do herbicida sorvido nas argilas e na matéria orgânica (fração coloidal do solo) e a concentração do herbicida na solução do solo (Bailey & White, 1970; Hayes, 1970,).

Geralmente, a sorção é um processo físico onde forças de atração estão envolvidas tais como forças de Van der Waals, interações de partículas bipolares, pontes de hidrogênio e ligações hidrofóbicas. Quando a sorção é resultante de um processo químico é função de uma reação química irreversível, onde a interação herbicida *versus* colóides do solo forma um terceiro composto ou um complexo estável. A sorção é um fator fundamental em estudos de toxicologia ambiental, pois, é determinante para outros processos como lixiviação e decomposição microbiana (Weber *et al*, 1969, Weber, 1970).

A sorção é influenciada pelo tamanho da molécula envolvida, Bailey & White, (1970), demonstraram que moléculas orgânicas grandes, como os herbicidas, quando adsorvidas por montmorilonita são dificilmente substituídas por íons pequenos, contudo, para estes autores o tipo da carga é provavelmente, a sua propriedade mais influente. A carga elétrica será mais forte se originar de uma dissociação, ou fraca, resultante de uma distribuição não uniforme dos elétrons na molécula, o que lhe confere, entretanto uma certa polaridade.

Briggs (1969 e 1976) relata que a extensão e a intensidade com que os processos envolvidos no fenômeno sorção/dessorção dependem em grande parte das propriedades moleculares do herbicida, da temperatura e umidade dos solos, assim como, Walker e Thopson (1977) citam a importância da sua natureza física como química dos herbicidas, além da importância do índice pH, o tipo dos colóides do solo e quais cátions estão-lhe adsorvidos.

Velini (1992) evidencia que o entendimento e a influência do processo de sorção nos colóides do solo são fundamentais na definição da dose de aplicação para que aja uma eficiência agrônômica no controle das plantas daninhas.

Segundo Weber (1970), a sorção/dessorção é altamente influenciada pelo tipo de colóides do solo, quanto maior a sua superfície específica (matéria orgânica, argila 2:1), maior será a sorção. A umidade do solo também influencia de forma significativa o fenômeno, quanto maior, menor a sorção; isto se deve ao fato da concentração de H^+ , dependente do teor de água no solo, competir pelos sítios de sorção nos colóides do solo, com a molécula do herbicida e em regime de déficit hídrico, a sorção é maior.

Segundo Walker & Allen (1984), o desconhecimento que ainda existe sobre estes fenômenos não é surpreendente, pois sendo o solo um meio biológico e químico altamente complexo, torna-se difícil compreender em toda a extensão as relações de dependência e de interações que os vários fatores estabelecem entre si, as quais terão certamente reflexos no modo como os herbicidas são sorvidos/dessorvidos no solo.

4.2. Sorção do herbicida sulfentrazone.

O herbicida sulfentrazone, pertence a família das aril-triazolinonas. Estes compostos são ácidos fracos e como tal, apresentam características de compostos aniônicos, sofrendo ionização em solução aquosa, em função do seu pK (constante de ionização) e o índice pH do meio. O pK corresponde ao índice pH em que as formas ionizada e não ionizada do herbicida ocorrem em igual concentração, ou seja, cada uma delas é responsável por 50% da concentração total do produto na solução do solo. No caso dos ácidos, quanto menor o pK menor será a capacidade de dissociação da molécula. O sulfentrazone possui um $pK_{(21^{\circ}C)}$ de 6,56. Os solos brasileiros por terem uma característica predominantemente ácida, garantem o surgimento de níveis significativos da forma molecular

na solução do solo, passíveis de serem mais adsorvidos, do que a forma ionizada. A porcentagem de ionização da molécula de ácidos fracos em solução aquosa, em função do seu índice pH e seu pK, pode ser determinado pela formula:

$$\% \text{ de ionização} = \frac{100}{1 + \text{antilog}_{10}(\text{pK} - \text{pH})}$$

Para a molécula do sulfentrazone, nota-se que quando o índice pH é igual a 6,56; o mesmo valor do seu pK, 50% das moléculas estarão na forma ionizada. Quando o índice pH da solução diminui em relação ao pK, há menor porcentagem das formas ionizadas, podendo significar assim, em uma maior sorção pelos colóides do solo, pois prevalece a forma molecular. Ao contrário, em índices pH maiores que o pK a prevalência é da forma ionizada, menos susceptível de ser adsorvida. Na prática observa-se maior sorção quando o pH = pK do herbicida, pois mesmo havendo maior porcentagem de formas ionizadas, em baixo índice pH, o hidrogênio protonado (H^+) da solução compete com a forma ionizada do herbicida pelo sítio de sorção nos colóides do solo (Weber, 1970).

Em herbicidas de caráter básico (ex: triazinas e bipiridílios), a sorção se dá por troca de cátions entre a forma protonada e os colóides do solo; entretanto, a forma molecular dos herbicidas, tanto os de caráter básico ou ácido, também, pode ser sorvida por forças não iônicas como pontes de hidrogênio.

Reddy & Locke (1998), investigando a sorção do sulfentrazone, em dois tipos de solo, um de textura média e outro argiloso e em dois sistemas de cultivo, um convencional e outro em plantio direto. Observaram que, independentemente do tipo de

plântio, a taxa de sorção foi maior no solo argiloso, também constataram que aproximadamente uma hora após a aplicação, esta sorção se dá de forma mais rápida, com havendo equilíbrio, após 72 horas. A dessorção se dá de forma bem lenta, correspondendo a 58 a 72% do total adsorvido. Quanto ao tipo de cultivo, foi observado que no sistema convencional, houve maior sorção do produto e menor dessorção do mesmo, em relação ao sistema de plântio direto. Os autores sugerem que neste sistema o nível de resíduos na planta assim como a sua persistência no ambiente, será menor.

Alves, *et. al.* (1999), em um estudaram a eficiência do sulfentrazone no controle da tiririca (*Cyperus rotundus*), em solos com diferentes teores de óxidos de ferro. Os autores observaram que a eficiência deste herbicida foi inversamente proporcional aos teores deste mineral. As variações de argila (240 a 640 g/kg) e matéria orgânica (12 a 78g/kg), dos solos ensaiados, aparentemente não influenciaram na eficiência de controle da plantas daninha.

Grey *et al.* (1997) analisaram a sorção do herbicida sulfentrazone quando aplicado em várias doses e variando o índice pH do meio, observando que esta característica influência de forma muito significativa o fenômeno de sorção do herbicida. A sorção geralmente diminui em resposta a um aumento do índice pH, especialmente quando este aumento se dá acima do pK do herbicida (6,56); por outro lado, há aumento da sorção quando o índice decresce, principalmente quando abaixo do valor do pK.

Algumas destas observações são muito significativas e vão ao encontro aquelas dos autores citados nos parágrafos anteriores, ou seja, a interdependência do pK da substância e o índice pH do meio, cabe salientar que a proporcionalidade tem um comportamento logarítmico, de tal forma que, em uma pequena variação no valor do índice

pH acarreta em uma grande mudança na proporcionalidade da forma do herbicida predominante. Para os solos brasileiros que abrangem uma faixa de índice pH que engloba o valor do pK do sulfentrazone, ocorre que em determinados solos, apesar de apresentarem índices pH semelhantes, haverá diferentes formas predominantes do herbicida influenciando de forma inversa seu comportamento.

Supõem-se dois plantios em duas áreas com índice pH no solo de 5,5 e 7,2; para tal, obtém-se uma % de ionização do herbicida sulfentrazone com os respectivos valores de 8,01% e 81,32% o que fatalmente influenciará para que o comportamento do herbicida seja distinto entre os dois solos. No primeiro caso o herbicida sulfentrazone será mais sorvido aos colóides devido à maior concentração da forma molecular em relação à ionizada, situação oposta ocorrerá no segundo solo, onde o herbicida será menos adsorvido. Este comportamento diferenciado em relação a sorção do herbicida, influenciará o comportamento do herbicida nos dois tipos de solo exemplificados, quer seja, na sua persistência, lixiviação e efeito residual, ainda que, a aplicação se realize na mesma época e os dois solos se localizem em condições climáticas semelhantes.

4.3. Movimento no solo dos herbicidas.

Uma certa movimentação para os herbicidas de absorção pelas radículas e aplicados em pré-emergência, é desejada, pois, proporciona uma fundamental incorporação superficial no solo, permitindo assim, que o herbicida entre em contato com um número maior de sementes de plantas daninhas e plântulas no perfil superficial do solo, maximizando o controle.

O herbicida, quando aplicado ao solo, pode-se movimentar por todas as direções, e em qualquer fase: gasosa ou na solução do solo em áreas expostas a ventos intensos durante determinados períodos do ano, podendo sofrer um transporte considerável (Walker & Allen, 1984), porém, o movimento mais significativo é o vertical descendente, o que caracteriza a sua lixiviação (Ryley, 1978; Walker, 1987).

A lixiviação do herbicida no solo tem grande importância na sua persistência no meio ambiente, e é função de vários fatores como: unidade intrínseca da molécula (volatilização, capacidade de ionização, solubilidade em água, tamanho e peso molecular); fatores edafoclimáticos (tipo de solo, teor de matéria orgânica, relevo, pluviometria e temperatura), além do modo de aplicação do herbicida; fatores estes que condizionarão uma taxa de imobilização por sorção influenciando na lixiviação do herbicida. Quando o herbicida é arrastado para as camadas mais profundas do solo (lixiviação), pode persistir por mais tempo no ambiente pela ausência ou menor número de microrganismos decompositores da molécula (Helling, 1970).

O conhecimento do movimento dos herbicidas nos solos é significativo para a compreensão da sua melhor utilização (dose e modo de aplicação), bem como a sua potencialidade para a contaminação ambiental. As rotas possíveis para a contaminação do meio ambiente por agrotóxicos incluem lixiviação para o lençol freático, movimento superficial das moléculas em solução ou suspensão (erosão) para mananciais de água, transferência para o ar como vapor e retirado por organismos vivos (Helling, 1970).

A solubilidade também influencia a lixiviação do herbicida, no caso do sulfentrazone, $780 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH 7), pode ser considerada elevada. Outra característica que é utilizada para se fazer inferências sobre a lixiviação dos herbicidas, assim como, na sua

sorção e bioacumulação é o seu coeficiente de partição (K_{ow}). Este coeficiente mede a proporção entre as quantidades uma substância química, que migram após agitação em um frasco de separação, para um solvente, geralmente o octanol ou para a água. Este coeficiente mede a afinidade que o composto tem, quer seja lipofílica ou hidrofílica. Quando maior a lipofilicidade do herbicida, maior será a sua tendência de ser sorvido pelos colóides do solo e por consequência será menor a sua lixiviação, por outro lado, este apresentando uma maior hidrofiliabilidade sua sorção será menor inversamente proporcional a lixiviação. O sulfentrazone apresenta o valor de 9,8 em pH 7 o que mostrando ter um certo caráter lipofílico.

Para os compostos que apresentam dissociação em função do índice pH, como as bases fracas e os ácidos fracos, como é o caso do sulfentrazone, as inferências sobre o comportamento dos herbicidas utilizado como referência estes dois parâmetros (solubilidade e coeficiente de partição), ficam muito prejudicadas, pois, para cada índice pH estudado haverá uma proporção diferente das formas ionizadas e moleculares, modificando completamente estes valores referências. O sulfentrazone apresenta a sua solubilidade dependente do índice pH, com os valores de 110, 780 e 1600 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (25°C), para os índices de 6,0; 7,0 e 7,5 respectivamente, pela equação de Briggs¹ 1981 que correlaciona a solubilidade e o ponto de fusão para estimar o coeficiente de partição, observa-se que com o aumento da solubilidade o K_{ow} diminui. Velini, 1992; citando Beyer, 1987, demonstra isto, por exemplo, com o herbicida sulfometuron methyl, onde se elevando o índice pH do meio de 5 para 7, a sua solubilidade (ppm), aumenta de 8 para 70 e seu K_{ow} diminui de 15 para 0,31. A dedução do comportamento dos herbicidas nos solos, em relação a sua lixiviação utilizando os

¹ $\log WS = -\log K_{ow} - 0,01 (T_m - 25)$

WS - solubilidade em moles/L

T_m - temperatura do ponto de fusão (°C)

parâmetros da solubilidade e K_{ow} fica bem mais fácil quando o composto tem caráter molecular, não variando a sua forma em relação ao índice pH do meio.

4.3.1. Movimento no solo do herbicida sulfentrazone.

Pelo exposto, deve-se esperar que o movimento no solo do sulfentrazone, principalmente a lixiviação, seja dependente do índice pH do solo, visto que o seu pK (6,56), está na faixa de índices de pH agricultáveis, e ainda mais, que uma pequena variação neste índice provoca uma grande mudança nas proporções das concentrações das formas ionizáveis e moleculares na solução do solo, alterando a tendência de seu comportamento perante a lixiviação do herbicida no solo.

Grey *et al.*, 1997, além de analisarem a sorção do herbicida sulfentrazone, também verificaram, utilizando a técnica de cromatografia em camada delgada, o efeito da variação do índice pH na sua lixiviação. Observaram uma interdependência entre os fatores, governada pela sorção, quando a sorção é maior, em função da diminuição do índice pH, a lixiviação decresce, de forma inversa, há o aumento da mesma.

Pela sua ficha técnica² que o caracteriza para fins de registro de uso junto ao United States Environmental Protection (EPA), o herbicida sulfentrazone, em relação a sua lixiviação, é considerado muito lixiviável, podendo até em solos arenosos haver a possibilidade de contaminar o lençol freático.

² United States Environmental Protection (EPA), Pesticide Fact Sheet, <http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/sulfentrazone.pdf>

4.4. Volatilização dos herbicidas.

Outro fator que influencia significativamente o comportamento do herbicida no solo é a sua volatilização Swan & Behrens, 1972, 1972a; Plimer, 1976; Ishikawa, *et. al.*, 1977; Hance & Embling, 1979. Segundo estes autores o teor de água e temperatura no momento da aplicação do herbicida e nos dias seguidos a este evento influencia de forma determinante na volatilização do mesmo. Outro fator é a pressão de vapor do herbicida, considera-se herbicidas com pressão de vapor abaixo de 10^{-8} mmHg a 25°C praticamente não voláteis, já os que apresentam pressão acima de 10^{-2} mmHg a 25°C, muito voláteis. O herbicida sulfentrazone apresenta pressão de vapor o valor de 1×10^{-9} mmHg a 25°C, portando não se deve esperar que a volatilização seja um grande fator na sua dissipação do solo.

Cabe salientar que, se a aplicação ocorrer em altas temperaturas, principalmente na superfície do solo, a volatilização poderá ser intensa e podendo afetar a performance do herbicida, sendo neste caso uma rota de dissipação considerável.

4.5. Degradação microbiana.

De acordo com Rosário (1989), citando Pestemer et al (1988), o conceito de degradação pode ser definido de maneiras diferentes. Sob o ponto de vista prático, fala-se de degradação quando, através de fatores bióticos e/ou abióticos, a molécula da substância ativa é de tal forma alterada que perde as suas propriedades originais (no caso, a

ação de herbicida); por outro lado, e do ponto de vista da toxicologia ambiental (solo e água potável), fala-se de uma degradação "completa" apenas quando, através da cisão da molécula e da quebra de anéis, a substância ativa é transformada dando origem a vários metabólitos, os quais, em geral ficam adsorvidos aos colóides do solo ou podem ser degradados a formas mais simples até a um estado elementar (H_2O , CO_2 , etc). Por estes motivos, na redação deste texto, optou-se pelo uso do termo dissipação, quando não se tiver a certeza de que serão compostos elementares os produtos de qualquer processo catabólico ou químico, originário das transformações aos quais os herbicidas participaram, quer sejam microbiológicas ou químicas.

No passado, em função do pouco conhecimento nas diferentes áreas da ciência, mais especificamente na microbiologia do solo, atribuía-se aos microrganismos a totalidade da dissipação dos pesticidas aplicados ao solo. Estudos básicos permitiram um melhor entendimento das complexas reações que ali ocorrem. Com o passar do tempo este conceito foi sendo mudado, constatando-se que fatores físicos e químicos do solo, condições climáticas e práticas agrícolas interferem e modificam o comportamento dos agrotóxicos no solo.

Os microrganismos do solo podem agir sobre os agrotóxicos de diversas formas. Um mecanismo pode envolver degradação com posterior destoxicação e ou metabolização do defensivo, enquanto que outro mecanismo pode envolver a transformação de uma molécula tóxica em um produto que exerça alguma influência benéfica sobre plantas superiores, fauna do solo e/ou microrganismos (Kaufman & Kearney, 1970).

As comunidades microbianas do solo são influenciadas pelo tipo e teor de matéria orgânica, umidade, temperatura, índice pH, CTC, aeração e outros fatores do solo. Fatores, esses, que também estão envolvidos nos processos físicos e químicos de

degradação dos herbicidas, o que muitas vezes dificultam a diferenciação entre os processos que atuam na dissipação do herbicida no solo, quer seja químico, físico ou biológico. (Kaufman & Kearney, 1976).

Para que ocorra uma rápida decomposição microbiana dos herbicidas, alguns fatores devem propiciar condições ótimas para um bom desenvolvimento da comunidade microbiana edáfica, tais como, umidade do solo entre 50 a 100% da capacidade de campo, boa aeração, temperatura entre 27 a 32°C, índice pH de 6,5 a 8,0 e altos teores de matéria orgânica (Alexander, 1965, 1977). Segundo este autor a decomposição microbiana dos herbicidas, em geral, ocorre de forma mais significativa na camada de 30 cm da superfície do solo.

A aplicação de um herbicida no solo provoca um ajustamento da população microbiana. Este ajustamento é conhecido como "fase lag" e ocorre, possivelmente, durante uma a duas semanas após a aplicação, e onde a concentração do herbicida não é afetada significativamente. Entretanto, dependendo das características físico-químicas do solo e do herbicida, uma pequena quantidade do mesmo é removida através da sorção pelos colóides do solo (Alexander, 1965; Kaufman & Kearney, 1976).

A duração da "fase lag" é influenciada, principalmente, pela natureza química do herbicida podendo, também, ser influenciada por outros fatores como concentração do produto e tipo de solo. Durante esta fase, há um pequeno ou quase nulo crescimento dos microrganismos, porém, no final da mesma os microrganismos começam a crescer em número, proliferando-se em abundância (progressão geométrica), sendo esta fase conhecida como logarítmica, onde há maior aproveitamento do herbicida pelos

microrganismos, fazendo com que a concentração residual no solo decresça rapidamente (dissipação) (Kaufman & Kearney, 1976).

Segundo os mesmos autores, dependendo da disponibilidade de substrato, da limitação do espaço físico, e/ou pelo acúmulo de substâncias tóxicas, os microrganismos param de se multiplicar numa razão geométrica, igualando as taxas de multiplicação e morte, atingindo uma fase estacionária ou de repouso. Quando ocorre uma reaplicação de um herbicida nesta fase haverá uma nova proliferação sem ocorrência de uma nova "fase lag", ocorrendo uma degradação acelerada do herbicida.

As mudanças fisiológicas e bioquímicas que ocorrem na população microbiana na presença de herbicidas durante a "fase lag" levantam dúvidas entre os pesquisadores. Audus, citado por Kaufman & Kearney (1976) propõe duas hipóteses: a primeira é a de que ocorram mutações genéticas nos microrganismos tornando-os aptos a dissipar os herbicidas, teoria esta que é endossada por Anderson (1977). A segunda hipótese é a de formação de enzimas induzidas. Essas enzimas são consideradas induzidas, porque, não foram encontradas em células de microrganismos em meio de culturas sem herbicidas.

Diversos microrganismos são envolvidos no processo de dissipação dos herbicidas no solo. A dissipação causada por bactérias ocorre principalmente com herbicidas que tem maior grau de solubilidade em água e que não estejam fortemente adsorvidos, enquanto que os fungos metabolizam justamente os mais adsorvidos e menos solúveis. Isto se deve ao hábito de crescimento miceliano dos fungos, podendo envolver partículas, encapsulando-as, e entrando em contacto com o herbicida; nas bactérias a reprodução por fissão binária, permite que concorram por um substrato prontamente utilizável (Kaufman & Kearney 1976).

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 ^{14}C -sulfentrazone, foram degradados através da respiração edáfica para $^{14}\text{CO}_2$, 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 sua supressão do meio ambiente.

4.6. Dissipação química.

ESSER et al (1975), ponderam que por causa da grande heterogeneidade do sistema solo, com grande diversidade de reações químicas, físico-químicas e bioquímicas, torna-se difícil separar estes processos na dissipação e degradação dos herbicidas, além disso, a metodologia experimental existente para esterilização do solo realizada para estudos microbianos pode afetar estes processos.

A dissipação química dos herbicidas na solução do solo, além das características químicas inerente do próprio herbicida, é também, influenciada por fatores externos como a umidade, a temperatura, índice pH e o tipo de solo.

Para Zimdahl (1970), Walker (1988), Zimdahl & Gwynn (1977) e Muir (1999), o teor de água no solo exerce uma grande influência na dissipação dos herbicidas, na sua presença em concentrações próximas a capacidade de campo, a dissipação do herbicida é mais rápida, contrariamente, em condições de déficit a sua dissipação é mais lenta. Quer seja pelo fato de que nestas condições o herbicida estando mais adsorvido aos

colóides do solo e não na sua solução, desta forma, indisponível para a dissipação pelos microrganismos e também pelas reações químicas edáficas.

Os mesmos autores preconizam que a dissipação dos herbicidas é função da temperatura, quer seja pela sua influencia nas relações biológicas envolvendo os microrganismos, onde a temperatura ótima de crescimento se situa entre 27°C e 32°C, assim como nas reações químicas de dissipação. Geralmente esta relação é expressa pela equação de Arrhenius, inicialmente deduzida para estudar os efeitos da temperatura nas taxas de reação entre os gases:

$$K = K_0 e^{-E_a/RT}$$

K, taxa de dissipação do composto.

K₀, constante em função do tipo e umidade do solo e meia vida do herbicida

E_a, representa a energia de ativação.

R, constante dos gases perfeitos, 1,98.10⁻³.

T, temperatura em °K.

A dissipação dos herbicidas na solução do solo, geralmente envolve processos de desalquilação, fotólise, descarboxilação, dehalogenação, hidrólise, hidroxilação, metilação, oxidação, redução, etc. (Nash 1988, Smith 1988).

A dissipação química do herbicida sulfentrazone, ainda não está totalmente compreendida, já se sabe que não sofre hidrólise, é estável a fotólise quando aplicado no solo, porém extremamente sensível a este processo na água (EPA, Fact Sheet Sulfentrazone, 1997³, Reddy & Locke 1998).

³ United States Enviromental Protection (EPA), Pesticide Fact Sheet, [http:// www.epa.gov/opprd001/factsheets/sulfentrazone.pdf](http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/sulfentrazone.pdf)

4.7. Persistência dos herbicidas no solo.

Entende-se por persistência dos herbicidas, o tempo durante o qual este permanece em um determinado “compartimento” rigorosamente definido pelo ambiente (Greenhalgh *et al.*, 1980).

Pestemer *et al.* (1980), citado por Rosário (1989), preconiza que um herbicida ao chegar ao solo se distribui de forma instável em “compartimentos” como se indica na Figura 3.

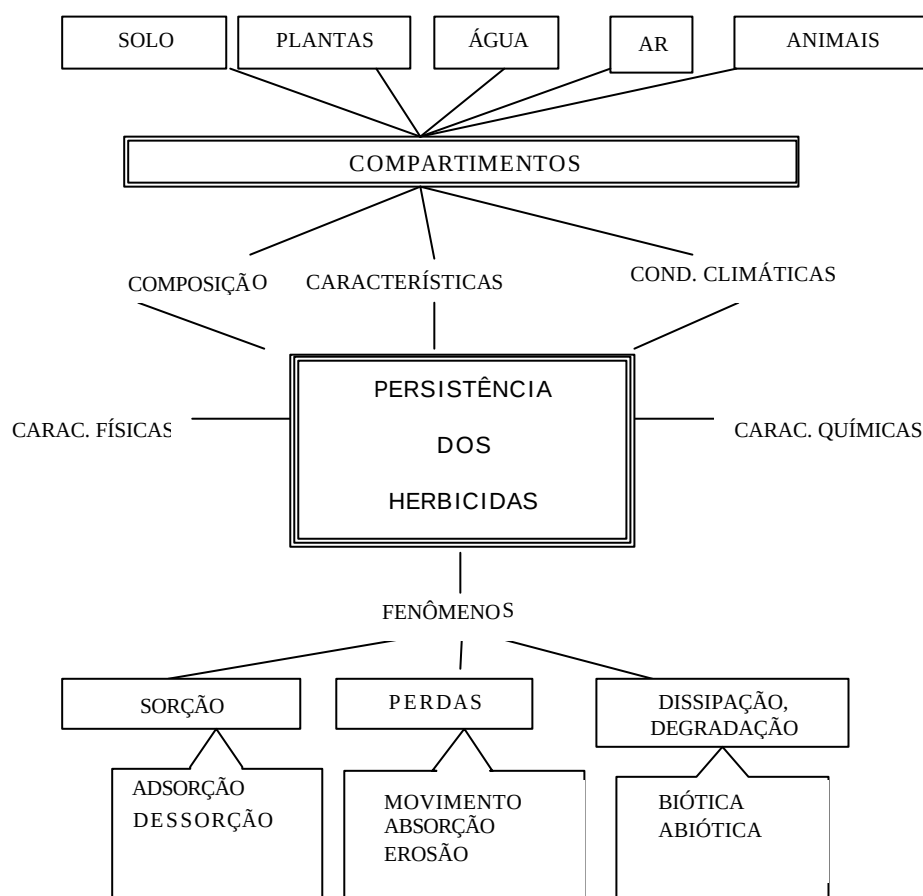


Figura 3. Principais fatores e fenômenos que influenciam a persistência dos herbicidas nos vários compartimentos do ambiente.

Pelo esquema observa-se que o herbicida pode de localizar nas localidades descritas como compartimentos (solo, plantas, água, ar e animais), persistindo nestes, em função dos vários complexos fenômenos e sua interação com as características intrínsecas ao herbicida e o seu compartimento e ao meio ambiente.

No âmbito deste trabalho interessou, sobretudo considerar os aspectos ligados a persistência no solo e também avaliar os possíveis efeitos desta persistência nas plantas em um sistema de sucessão.

Por definição, a persistência dos herbicidas no solo pode ser de três tipos, de acordo com o método de determinação: *persistência biológica, agrônômica e química*. A persistência biológica determina por métodos biológicos (bioensaios) o tempo do efeito do resíduo sobre seres vivos (bioatividade); nesse caso a persistência agrônômica é uma persistência biológica particularizada, pois, mede o tempo que o resíduo do herbicida permanece no solo com atividade sobre plantas cultivadas, seja em um sistema de sucessão ou rotação de culturas. A persistência química diz respeito ao tempo que o resíduo permanece no solo passível de ser detectado por métodos químicos ou radiométricos.

No Brasil, os trabalhos de pesquisa de herbicidas em solos nos agroecossistemas são ainda em número reduzido, principalmente, quando obtidos em condições naturais de cultivo. Entre outros, há as informações sobre a persistência biológica no solo de herbicidas utilizados na cultura de soja (Blanco et al. 1981; 1982; 1983; 1984; 1988; 1988c; 1989; 1994; Matallo et al.,1994) alguns relatando sobre a persistência química, além da biológica (Blanco et al. 1988b; Novo et al., 1993), e outros sobre a persistência de herbicidas usados em solos com cana-de-açúcar (Blanco & Oliveira, 1987; 1989). Mais

recentemente, Blanco (1996), BLanco et al (1997a, 1997b, 2000) apresentaram outros dados sobre a ecotoxicologia de herbicidas em cana-de-açúcar e milho.

Estudos para a determinação da persistência no solo do herbicida sulfentrazone, assim como os seus efeitos nas culturas em um sistema de sucessão, são escassos quase incipientes, tanto na pesquisa nacional quanto na estrangeira. Muitas das vezes, na descrição deste tópico, são utilizados termos pouco definidos: “*geralmente* meia-vida de 180 dias (Almeida & Rodrigues 1998, “persistência *maior que* 100 dias” (2002 Nebraska Weed Management Guide).

Cabe salientar que a utilização de resultados provenientes da pesquisa ecotoxicológica, tendo como objeto de estudo a persistência dos herbicidas nos solos em outras regiões, e não as brasileiras, devem ser utilizados com reservas, pois condições edafoclimáticas distintas geralmente modificam a comportamento no solo dos herbicidas, aliás até quando se considera o território brasileiro, fica difícil extrapolar, por exemplo, os resultados obtidos na região sudeste para a região nordeste.

O presente trabalho deve como objetivo determinar em condições de campo a persistência do herbicida sulfentrazone quando aplicado nas culturas e cana-de-açúcar e soja; verificando nesta, a seletividade do herbicida para as culturas sucedâneas de milheto, feijão, trigo, girassol e aveia.

5. MATERIAIS E MÉTODOS.

5.1. Experimento 1: Determinação da persistência do herbicida sulfentrazone na cultura da cana-de-açúcar.

5.1.1. Local do experimento.

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Campinas, Instituto Biológico, localizada no município de Campinas, SP, 22º 54' latitude Sul, 47º 04' longitude Oeste, altitude 693 m, em um solo podzol vermelho-amarelo eutrófico cujas características se encontram na Tabela 1.

5.1.2 Instalação do experimento.

Foi instalado em uma área sem histórico de aplicação do herbicida sulfentrazone e com pelo menos quatro anos sem aplicação de qualquer herbicida residual. Para o plantio da cana-de-açúcar var SP8018160, na quantidade de dez ton/ha de toletes. O

preparo do solo foi iniciado em 15 de março 2000, por meio de uma aração e gradagem, seguida de uma subsolagem e mais uma gradagem com grade niveladora de 28 discos, os sulcos foram espaçados de 1,30 m. A adubação consistiu em 500 kg.ha⁻¹ da fórmula 5-25-25, aplicada na linha de plantio.

5.1.3. Tratamentos.

Os tratamentos utilizados foram o herbicida sulfentrazone aplicado em uma única época, em pré-emergência da cultura e das plantas infestantes em 30 de março de 2000, um dia após o plantio da cana-de-açúcar, utilizando-se o Boral 500 SC como produto comercial, formulado como solução concentrada contendo 500 g de sulfentrazone por litro, nas doses 1,20 e 2,40 L/ha (0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹ de sulfentrazone), mais uma testemunha limpa (capinada). Em todo o período ensaiado a área experimental foi mantida limpa, tanto as parcelas testemunhas, como as tratadas, de tal forma a evitar qualquer influência das plantas daninhas nos resultados, principalmente após o termino do efeito residual do herbicida, onde poderia haver a germinação da mesma.

Na aplicação utilizou-se um pulverizador costal, à pressão constante fornecida por CO₂ (35 lb/pol²), munido com barra de quatro bicos 110.02 (Teejet XR), projetando uma faixa de aplicação de 2,0 m, com o volume de 275 L/ha. As condições edafoclimáticas na aplicação foram: temperatura do ar 28°C, umidade relativa do ar 66%, velocidade média do ar 2,30 m/h e umidade do solo de 12,45% (p/p).

TABELA 1. Características físicas e químicas do solo onde foi instalado o experimento na cultura de cana-de-açúcar.

Análise granulométrica (%)				Classe e
Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Sub-classe textural
22,7	12,9	42,9	21,3	Barrento/Barrento

pH	M.O. g/dm ³	P(res) ppm	mmolc/dm ³ TFSA			H ⁺	Al	S	CTC	V
			K	Ca	Mg					
6,4	11	80	3,9	67	30	20	-	100,9	120,9	83,4

5.1.4. Delineamento e unidade experimental.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com três tratamentos em cinco repetições. A unidade experimental foi constituída de uma parcela com 5,00 m por 5,20 m correspondendo a 4 linhas de plantio de cana-de-açúcar espaçadas por 1,30 m, totalizando 26,00 m² por parcela.

5.1.5. Determinação da persistência.

Foram retiradas amostras de solo para a determinação da persistência, através de trado próprio (cilindro de aço com diâmetro de 15cm) até a profundidade de 10 cm. As amostragens sempre foram coletadas de forma sistemática, sempre começando pela testemunha e posteriormente os demais tratamentos, o de menor concentração em primeiro, desta forma evitando a contaminação entre os tratamentos. Para cada parcela foram retiradas quatro subamostras de forma casualizada dentro da parcela, correspondendo a ± 1.200 g de solo, marcando os pontos amostrados com estacas de bambu, para que nas

futuras amostragens não se repetissem os mesmos pontos. Desta forma, em função das cinco repetições para cada tratamento, foram coletados 20 pontos por cada época, constituído-se cinco amostras composta, proveniente de quatro subamostras. O número de pontos coletados na área experimental, talvez seja o principal fator de erro, neste tipo de ensaio; desta forma adotou-se a indicação de Hormann et al. (1973), e também os trabalhos já realizados por Blanco 1997a, 1997b e 2000 que para detecção de resíduos no solo, apesar de utilizarem metodologia diferenciada para a detecção do herbicida, um utilizando cromatografia gasosa, e este utilizando bioensaios, ambos ensaios têm a mesma característica, ou seja, determinar a presença de resíduos nos agroecossistemas.

Após a coleta de solo, as amostras foram armazenadas em freezer a -15 °C, de tal forma a paralisar quaisquer processos de dissipação quer seja químico, físico ou microbiológico, assim na época da execução dos bioensaios, estes expressariam através da planta teste, o resíduo do herbicida na época amostrada.

Épocas amostradas

Tabela 2. Épocas amostradas no ensaio com a cultura da cana-de-açúcar.

Amostragem (data)	DAT (dias apos os tratamentos)
30/03/00	0*
04/05/00	35
11/06/00	73
04/07/00	96
01/08/00	124
11/09/00	165
10/10/00	194
13/11/00	228
05/12/00	250
15/01/01	291
13/02/01	320
22/03/01	357
11/04/01	377
23/05/01	419
21/06/01	448
18/07/01	475
09/08/01	497
17/09/01	536
17/10/01	566
21/11/01	601
15/12/01	625
11/01/02	652
04/03/02	704

* duas horas após a aplicação dos tratamentos

5.2. Ensaio 2: Determinação da persistência do herbicida sulfentrazone na cultura da soja e seu efeito em culturas sucedâneas.

5.2.1. Local:

Estação Experimental da Shokuchu do Brasil Agrícola Ltda, atual Agro Cosmos, localizada no município de Engenheiro Coelho, SP, Altitude 645 m, 22° 30' Latitude Sul e 47° 10' Longitude Oeste, em um latossolo vermelho-escuro eutrófico cujas características se encontram na Tabela 3.

Tabela 3. Características físicas e químicas do solo onde foi instalado o experimento na cultura da soja.

Análise granulométrica (%)				Classe e	
Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Sub-classe textural	
46,3	11,8	23,9	17,9	Argiloso/Argiloso	

pH	M.O. g/dm ³	P(res) ppm	mmolc/dm ³ TFSA				Al	S	CTC	V
			K	Ca	Mg	H ⁺				
5,8	43	63	2,5	28	10	33	1	40,5	74,5	54,5

5.2.2. Instalação do ensaio.

Como no ensaio anterior, também, foi instalado em uma área plana sem histórico de aplicação do herbicida sulfentrazone e com pelo menos quatro anos sem aplicação de qualquer herbicida residual. Inicialmente a soja (*Glycine max*), cv. Embrapa 48 foi plantada em solo agrícola convenientemente preparado, onde foram realizadas uma aração e uma gradagem em 13/01/2000, no espaçamento de 0,5 m, 20-25 plantas por metro linear, no plantio adubou-se a área com 385 kg.ha⁻¹ da formulação 4-14-8.

5.2.3. Tratamentos.

Os tratamentos utilizados foram o herbicida sulfentrazone aplicado em uma única época, em pré-emergência da cultura e das plantas infestantes em 13 de janeiro de 2000, utilizando-se o Boral 500 SC como produto comercial, formulado como solução concentrada contendo 500 g de sulfentrazone por litro, nas doses 1,20 e 2,40 L/ha (0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹ de sulfentrazone), mais uma testemunha limpa (capinada). Em todo o período ensaiado a área experimental foi mantida limpa, tanto as parcelas testemunhas, como as tratadas, de tal forma a evitar qualquer influência das plantas daninhas nos resultados, principalmente após o término do efeito residual do herbicida, quando poderia haver a reinfestação das mesmas.

Na aplicação utilizou-se um pulverizador costal, à pressão constante fornecido por CO₂ (35 lb/pol²), munido com barra de quatro bicos 110.01, projetando uma faixa de aplicação de 2,0 m, com de 188 L/ha. As condições edafoclimáticas na aplicação foram: temperatura do ar 30°C, umidade relativa do ar 56%, velocidade média do ar 2,50 m/h e umidade do solo de 10,55% (p/p).

5.2.4. Delineamento e unidade experimental.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco repetições. As parcelas foram constituídas de 5,0 x 16,5 m sendo individualizadas com a construção de aceiros através de um micro-trator, desta forma, não permitindo a

contaminação, entre as parcelas, através do caminhamento da água pelo escoamento superficial, estes, eram sistematicamente refeitos e mantidos livres das plantas daninhas.

5.2.5. Manejo das culturas em sucessão:

Em 01/06/2000 deu-se a colheita manual da cultura soja, nesta época a cultura estava bastante seca, apresentado somente as vagens que foram colhidas e o caule. Posteriormente o solo foi preparado e os aceiros reconstruídos com uma rotativa acoplada a um trator, de forma individualizada, em cada parcela onde originalmente havia a soja, iniciando-se o processo pela testemunha e posteriormente aos tratamentos seguindo a ordem da menor para a maior dose. Sempre após uma série de tratamentos a rotativa era lavada. Em 20/06/2000 foram realizados os plantios das culturas sucedâneas à soja, em faixas com quatro linhas por cultura, de acordo com a seguinte ordem:

Tabela 4: Descrição das culturas sucedâneas à cultura da soja com suas respectivas indicações agronômicas de adubação e plantio.

cultura	cultivar	adubação 4-14-8 kg.ha ⁻¹	plantio sementes/metro linear	% germinação	espaçamento metros
milheto <i>Pennisetum americanum</i>	Italiano	400	0,74*	60	0,80
girassol <i>Helianthus annuus</i>	Uruguay 1	400	8	97	0,80
aveia <i>Avena sativa</i>	branca	400	50	75	0,20
trigo <i>Triticum aestivum</i>	IAC 24	400	50	70	0,20
feijão <i>Phaseolus vulgaris</i>	Carioca	400	15	80	0,50

*g por metro linear.

Devido ao caminhamento do sol, foi deixado um espaçamento entre as culturas sucedâneas, para que não houvesse, em função do seu crescimento diferenciado,

um sombreamento que poderia influenciar no desenvolvimento das mesmas. A ordem de plantio com os respectivos espaçamentos entre as culturas foram: milho - 1,50 m – girassol – 1,50 m – aveia – 1,00 m – trigo – 1,0 – feijão.

Sempre houve a preocupação com o risco da contaminação entre as parcelas pelo herbicida, quer seja pela água, ou no manejo de plantio, adubação, coleta de plantas para avaliações destrutivas e colheita da produção. Além do cordão de contorno para conter a água de escoamento superficial, outras providências na busca da preservação das parcelas foram tomadas, por exemplo, na implantação das culturas sucessoras estas foram individualmente plantadas manualmente, sempre iniciando das parcelas testemunhas para os tratamentos, e ainda mais, na procura de uma maior precisão dos dados, o plantio e qualquer outro procedimento pertinente era realizado ordenadamente por blocos, de tal forma que, na ocorrência de alguma diferença em algum procedimento, mesmo sendo realizado por uma única pessoa por cultura, este efeito dentro dos blocos seria detectado pela análise de variância.

5.2.6. Delineamento experimental

Após a colheita da cultura da soja as culturas em sucessão também seguiram o mesmo esquema de blocos ao acaso com cinco repetições, ocupado às mesmas parcela e os tratamentos onde originariamente havia a cultura da soja.

5.2.7. Método de avaliação:

5.2.7.1. Ação sobre as culturas em sucessão:

A ação fitotóxica do herbicida, nas diferentes doses, sobre a cultura foi avaliada por observações visuais de sintomatologia de injúrias das plantas das parcelas tratadas, em comparação com as plantas desenvolvidas nas parcelas testemunha, por meio da Escala de Notas de Fitotoxicidade (ALAM, 1974), modificada, apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Escala de fitotoxicidade de plantas provocadas por herbicidas, ALAM, 1974 (modificada).

Notas de Fitotoxicidade		Conceito
1		Plantas normais, iguais à testemunha.
2		Plantas com sintomas leves de injúrias
3		Plantas c/ sintomas moderados de injúrias
4		Plantas com sintomas severos de injúrias
5		Plantas mortas

A seletividade dos tratamentos, também foi avaliada pelas características de crescimento e desenvolvimento: produção, contagem do estande aos 15 e 30 dias após o plantio, massa fresca, massa seca, altura, número de perfilhos (gramíneas), número de folhas, número de trifólios (feijão) e área foliar. Todos quando comparados com a testemunha, de tal forma, avaliando se a persistência do herbicida acarretou algum efeito fitotóxicos nas culturas em sucessão. Todos estes dados, a exceção das notas de avaliação visual de fitotoxicidade, onde se utilizou a moda como avaliador, todos os outros, foram avaliados pela análise da variância utilizando o Teste F e quando significativos a 5% ou 1% de

probabilidade para o erro, foi realizados o teste de T para comparação entre as médias a 5% de probabilidade.

Amostragem:

Utilizou-se para a amostragem nas avaliações das características fisiológicas das culturas em sucessão, coletas de plantas cortadas rente ao solo em 0,5 m linear para as culturas de milho, aveia e trigo e 1,0 m linear para as demais culturas (girassol e feijão), de forma aleatória nas linhas de plantio, isto nas cinco repetições, para cada tratamento.

Na avaliação da produção foram colhidas as sementes das duas linhas centrais, por unidade experimental, deixando uma bordadura de 0,5 m. No caso do milho foi avaliada a massa verde, cortando-se as plantas rente ao solo.

Épocas de amostragem

cultura sucedânea	DATA	DAT
milho	16/08/2000	57
girassol	09/08/2000	50
aveia	26/07/2000	36
trigo	04/08/2000	45
feijão	25/07/2000	35

5.2.8. Determinação da Persistência.

No experimento de campo foram retiradas amostras de solo através de trado próprio até a profundidade de 10 cm, para a determinação da persistência.

Para cada parcela experimental foram coletadas cinco amostras, diferenciadas conforme a fase do ensaio:

- Quando a lotação no campo experimental estava com a cultura da soja, dentre as 32 entre linhas amostravam-se 5.
- Quando a lotação era com as culturas em sucessão amostravam-se, também, em 5 pontos por parcela, porém uma amostra na entre linha de cada cultura.
- Na época da colheita de cada cultura em sucessão foram coletados também 5 amostras por parcela, esta vez, porém, apenas nas entre linha da cultura que estava sendo colhida.

Em todos os casos as amostras nas entre linhas constituíram-se, assim, em uma amostra composta por tratamento com cinco repetições, ou seja, cada tratamento era representado por 25 amostragens de solo em cada época de coleta.

Após a coleta de solo, as amostras foram armazenadas em freezer a - 15 °C, até o momento de se fazer TFSA em cada amostra e posteriormente na condução dos bioensaios.

Épocas amostradas

Abrangeram todo o período do ensaio

Tabela 6. Épocas amostradas no ensaio com a cultura de soja.

época	OBSERVAÇÕES	
DAT	Data	
Zero ⁴	13/01/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
33	15/02/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
64	17/03/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
92	14/04/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
120	12/05/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
140	01/06/2000	colheita da soja, amostragem abrangendo todo o ensaio,
159	20/06/2000	logo após o preparo do solo e do plantio das culturas em sucessão
194	25/07/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
223	24/08/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
257	27/09/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
278	18/10/2000	avaliação da produção de aveia, solo coletado nas entre linhas desta cultura
278	18/10/2000	avaliação da produção do feijão, solo coletado nas entre linhas desta cultura desta cultura.
278	18/10/2000	avaliação da produção do milho, solo coletado nas entre linhas desta cultura
286	26/10/2000	avaliação da produção do trigo, solo coletado nas entre linhas desta cultura
286	26/10/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio

continua.

⁴ amostragem logo após à aplicação.

continuação da Tabela 6.

305	16/11/2000	avaliação da produção do girassol, solo coletado nas entre linhas desta cultura
318	29/11/2000	amostragem abrangendo todo o ensaio
353	03/01/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
376	26/01/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
404	23/02/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
439	26/03/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
471	27/04/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
505	31/05/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio
539	04/07/2001	amostragem abrangendo todo o ensaio

5.2.9. Metodologia de bioensaios para a determinação da persistência.

5.2.9.1. Experimento para escolha da planta teste.

Em amostras de solo onde foi desenvolvido o ensaio com a cultura de cana-de-açúcar verificou-se a sensibilidade de duas plantas, indicadas pelo departamento técnico da FMC, no caso, o sorgo (*Sorghum bicolor*) cv AG 2002 e a beterraba (*Beta vulgaris*), cv. Early Wonder, utilizando a metodologia própria para bioensaios; desta forma foi construído um modelo de regressão avaliando um “screening” de doses crescentes do herbicida e seu efeito na redução de massa fresco epígeo de cada planta, crescendo em copos plásticos (300 ml) sem percolação com 250 g de solo, dentro de um fitotron Conviron modelo

PVG386, regulado para 20°C, 70-80% de umidade relativa do ar, fotoperíodo de 16 horas com intensidade luminosa de 35.400 lux.

Para cada dose foram semeadas em cada copo plástico três sementes de cada espécie em 10 repetições nas seguintes concentrações em µg de sulfentrazone/kg de solo: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27, após cinco dias eram desbastados e deixando duas plantas. Decorridos 14 dias no fitotron, as plantas foram cortadas rente ao solo e determinado a massa fresca da parte epígea, comparando-se com a massa da testemunha. Pela modelagem matemática foi possível determinar o índice RD50% de cada serie de plantas, e assim, escolher qual delas deveria ser a planta teste a ser utilizada nos ensaios.

No caso a planta que se mostrou mais sensível foi à beterraba, também foi realizado uma curva padrão com esta planta no solo onde se realizou o ensaio com a cultura da soja e as culturas em sucessão.

5.2.9.2. Determinação da persistência pelos bioensaios.

O solo coletado da área experimental de cada ensaio, foi descongelado e manipulado para obtenção de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), isto em todas amostras compostas proveniente de cada parcela. Para a confecção dos bioensaios foram utilizados três copos plásticos (300 ml) sem percolação com 250 g de solo e plantados três sementes da planta teste sensível ao sulfentrazone, no caso a beterraba (*Beta vulgaris*), ou seja, para cada tratamento em cada época amostrada foram confeccionados quinze copos (três por cinco repetições). Depois de cinco dias eram desbastados deixando duas plantas por copo. Cada copo em função de sua massa foi irrigado diariamente até 80% da capacidade de campo,

colocados em um fitotron da marca CONVIRON modelo PGV 36, regulado para 20°C, 70-80% de umidade relativa e fotoperíodo de dezesseis horas. Decorridos quatorze dias no fitotron, as plantas foram cortadas rente ao solo e verificando-se a massa fresca da parte epígea, comparando com o a massa da testemunha capinada, determinando-se assim, através da análise da variância e pelo teste de médias (**t**) a persistência do herbicida em função das doses ensaiadas.

Foram utilizados dados climáticos das estações meteorológicas da Estação Experimental do Instituto Agronômico de Campinas (experimento1, cana-de-açúcar) e da Shockucho (experimento 2, soja).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

6.1. Determinação da planta teste.

Os resultados do efeito do herbicida sulfentrazone (Boral 500 SC), sobre as plantas de beterraba e sorgo encontram-se na Tabela 7 e Figura 3 e 4.

Tabela 7: Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone na massa fresca epígea (g) de duas plantas de beterraba e sorgo, crescendo durante 14 dias em um fitotron. Dados médios de 10 repetições.

plantas	Sulfentrazone $\mu\text{g.kg}^{-1}$														
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
Sorgo	1,62	1,54	1,45	1,33	1,26	1,17	1,12	1,10	1,06	0,98	0,92	0,76	0,58	0,60	0,53
Beterraba	0,41	0,36	0,37	0,32	0,22	0,13	0,08	0,03	0,008	0,006	--	--	--	--	--

A Tabela 7 mostra os valores pesquisados, para as duas plantas testadas, estes, foram escolhidos de tal forma a se ter uma série representativa de pontos válidos. Desta forma, foi possível estimar o efeito do herbicida através de uma modelagem matemática. Observa-se que a planta de sorgo foi testada para doses maiores do herbicida, pois nestes mesmos valores as plantas de beterraba morriam logo após a germinação.

Observou-se que ambas as espécies foram extremamente sensíveis ao herbicida, visto que, pequenas variações nas doses deste, acarretaram grandes variações na massa, notoriamente na beterraba. Para cada planta foram analisadas as variâncias dos tratamentos e na sua significância, realizada a regressão para a determinação de uma modelagem matemática, explicando assim, a dependência do efeito do aumento da concentração do herbicida na depreciação do desenvolvimento de cada vegetal.

Diversos modelos matemáticos podem ser testados para quantificar e explicar o fenômeno, dentre os quais pode-se citar o exponencial, recíproca, logística, quadrática, cúbica, Gompertz, exponencial quadrática e cúbica, dentre outros. O importante é não analisar somente o aspecto matemático do modelo, como por exemplo, o seu coeficiente de determinação que reflete a qualidade do ajustamento, mas também analisar, a lógica biológica do fenômeno. Desta forma, a escolha do modelo terá maior probabilidade de êxito.

Para Streibig et al. (1988, 1995) quando comparada com outras metodologias para a detecção de resíduos nos agroecossistemas, como a cromatografia, a modelagem matemática proveniente dos estudos com a utilização da metodologia com bioensaios, ainda não está totalmente padronizada. Encontram-se na literatura diversos tipos de modelos para estimar o fenômeno, porém, os mesmos autores indicam o modelo logístico ou log-logístico como o mais apropriado para explicar a dependência do desenvolvimento da planta teste pela variação da dose do herbicida, e principalmente para o cálculo do índice RC 50% (dose do herbicida que reduz em 50% o crescimento da planta), opinião esta comungada por Seefeldt et al. (1995).

Desta forma, foi realizado para cada série de diluição do herbicida, em cada planta, a análise da variância dos tratamentos quantitativos, e na sua significância, a modelagem matemática, tendo como base a função logística (Figuras 4 e 5).

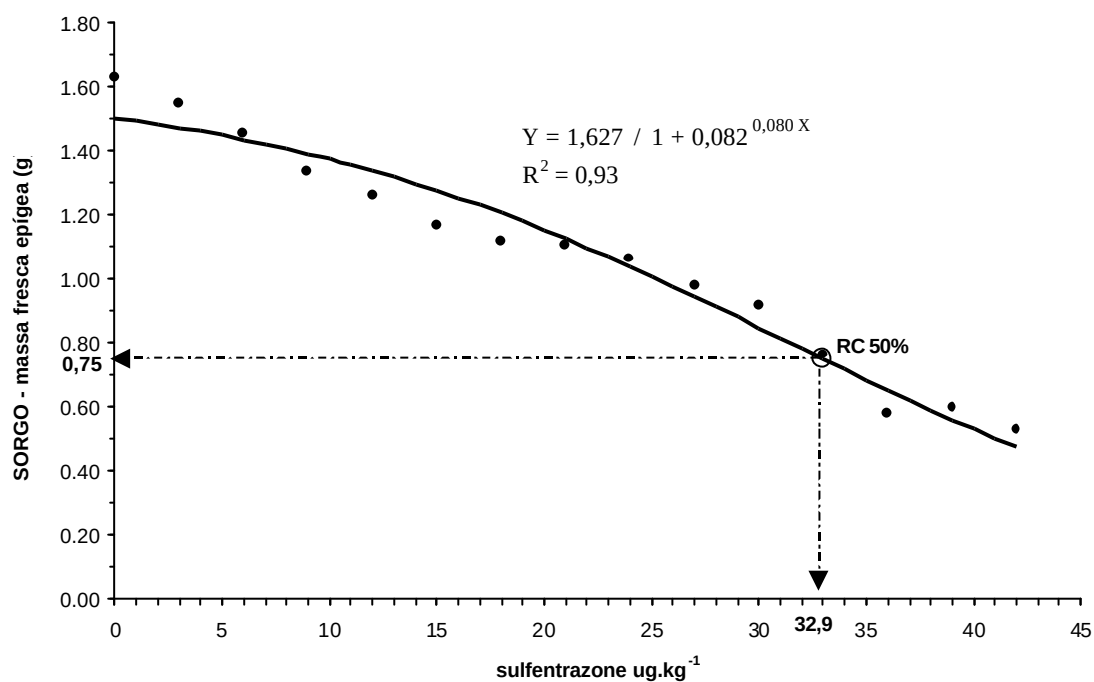


Figura 4. Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone sobre a massa fresca epígea das plantas de sorgo, com a respectiva estimativa e determinação do RC 50%.

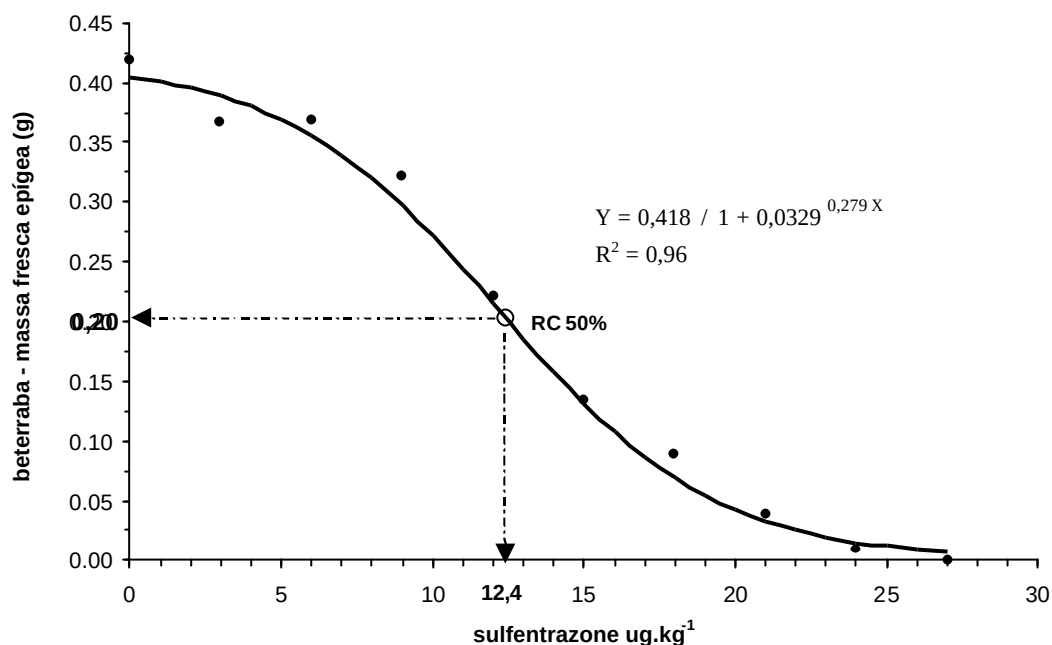


Figura 5. Efeito de doses crescentes do herbicida sulfentrazone sobre a massa fresca epígea das plantas de beterraba, com a respectiva estimativa e determinação do RC 50%.

Observa-se que o modelo logístico se adapta bem para a explicação do fenômeno, quer seja pela sua lógica biológica – diminuição gradativa da massa com o aumento da dose ensaiada, assim como, pela lógica matemática – altos coeficientes de determinação, 0,93 e 0,96, demonstrando desta forma, um excelente ajuste dos dados para o modelo escolhido. Cabe salientar, que para a obtenção dos modelos matemáticos, foram utilizados um número de observações convenientes, em função da amplitude de dados analisados, quinze para o sorgo e dez para a beterraba, com um espaçamento entre eles de 3 μg , colaborando para a boa precisão dos modelos obtidos.

Pelo teste, a beterraba apresentou maior sensibilidade ao herbicida, visto que no sorgo a RC 50% determinada ter sido muito baixa, 32,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, naquela a RD

50% foi menor ainda, sendo estimada em $12,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$, menos da metade do valor observado para o sorgo. Desta forma, a beterraba foi considerada como a planta teste para todos os ensaios biológicos para a determinação da persistência do herbicida sulfentrazone nas culturas aqui estudadas.

Cabe salientar que este baixo nível de detecção é muito expressivo, supondo o RD 50% como o limite de detecção para o teste, e comparando com a metodologia para a detecção deste herbicida indicado pelo EPA (US Environmental Protection Agency), verifica-se que apesar de a metodologia indicada ser a cromatografia, esta apresenta um nível de detecção bem maior, no caso, 1 mg.kg^{-1} .

Outro fator relevante foi à análise da sensibilidade da planta teste, utilizando a metodologia de avaliar a “massa fresca epígea”, e não a “massa seca epígea”. Isto se deve a característica do herbicida, pois, pertencendo a família das aril-triazolinonas, é um dessecante de tecidos. Sendo assim, na indicação da metodologia pela “massa seca epígea” haveria uma supressão das diferenças entre os tratamentos, igualando-os todos com o tratamento testemunha, pois uma folha sadia, quando seca, iguala a sua condição com uma folha afetada por sintomas do herbicida (clorose, necrose e dessecação). Desta forma, quando se utiliza a metodologia de secagem do material vegetal, há uma diminuição da variabilidade entre os tratamentos e, por consequência, uma maior dificuldade de se encontrar diferenças significativas entre eles, quer seja pela análise da variância dos tratamentos (teste F) ou pelo teste de médias.

6.2. Persistência do herbicida sulfentrazone na cultura da cana-de-açúcar.

Os resultados da análise da pesagem da planta teste de tal forma a se avaliar a persistência do herbicida sulfentrazone aplicado como pré-emergente na cultura da cana-de-açúcar, encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8. Resumo das análises de variância e teste de médias (teste *t*) dos bioensaios com a beterraba, realizados em cada época amostrada na cultura de cana-de-açúcar. Dados médios de 15 repetições.

época DAT	massa fresca epígea (g)			resumo das análises estatísticas	
	tratamentos, sulfentrazone kg.ha ⁻¹			F	CV
	0,00	0,60	1,20		
0	0,3666	0,0 *	0,0 *	647,00**	15,22
35	0,3757	0,0 *	0,0 *	994,40**	12,28
73	0,3901	0,0 *	0,0 *	4057,84**	6,08
96	0,3956	0,0 *	0,0 *	971,55**	12,43
124	0,3788	0,0 *	0,0 *	3544,60**	6,51
165	0,3840	0,0 *	0,0 *	2482,13**	7,77
194	0,3936	0,0 *	0,0 *	2043,65**	8,57
228	0,3276	0,0 *	0,0 *	664,79**	15,02
250	0,3583	0,0 *	0,0 *	634,79**	15,37
291	0,3612	0,0 *	0,0 *	1164,08**	11,35
320	0,3745	0,0 *	0,0 *	1496,78**	10,01

continua.

continuação da Tabela 8.

época DAT	massa fresca epígea (g)			resumo das análises estatísticas	
	tratamentos, sulfentrazone kg.ha ⁻¹			F	CV
	0,00	0,60	1,20		
357	0,3872	0,0 *	0,0 *	291,72**	17,93
377	0,3131	0,0474 *	0,0 *	111,71**	29,72
419	0,4464	0,1124 *	0,0 *	131,17**	24,34
448	0,3246	0,0768 *	0,0 *	221,96**	19,03
475	0,3873	0,0812 *	0,0541 *	66,46**	29,13
497	0,3740	0,1358 *	0,0224 *	513,97**	9,98
536	0,3744	0,2277 *	0,0454 *	80,70**	19,00
566	0,3474	0,1907 *	0,0 *	230,93**	14,27
601	0,3408	0,3317 ns	0,1197 *	17,02**	25,67
625	0,3835	0,3615 ns	0,0934 *	223,98**	8,64
652	0,3926	0,3873 ns	0,1341 *	234,32**	7,08
704	0,3162	0,3293 ns	0,1822 *	51,95**	9,15

* significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

ns não significativo a 5% de probabilidade.

Observou pela Tabela 8 que foram realizadas amostragens em 23 épocas, geralmente espaçadas de aproximadamente um mês. As amostragens se prolongaram até 704 dias após a aplicação dos tratamentos. Para cada amostragem foram realizados bioensaios provenientes de uma amostra composta proveniente de 20 pontos de coleta por tratamento, o que elevou a representatividade dos resultados obtidos. Os valores de CV de cada época analisada foram semelhantes a outros ensaios utilizando a mesma metodologia, e desta forma, confirmando que os ensaios tiveram boa condução.

Pela mesma tabela ressalta-se que, em todos os bioensaios provenientes de cada época foram realizadas as análises da variância através de teste com o nível máximo de 5% para a significância. Estas análises demonstraram serem significativas em todos os tratamentos; em função disto, foi realizado o teste *t* entre as médias, para detectar esta diferença. Neste teste sempre foram comparados o tratamento testemunha contrastando com os tratamentos com o herbicida. Para isto, em cada comparação entre as médias, foi testada a significância da hipótese de nulidade (*H*₀).

A mesma tabela apresenta para cada tratamento os valores médios, em gramas da massa fresca epígea da planta teste, proveniente de cada época amostrada. Observa-se que somente aos 377 DAT pela primeira vez nos tratamentos com o herbicida surgiu um valor diferente de zero, com a ocorrência de germinação e desenvolvimento até a avaliação aos 14 dias após o plantio, da planta teste em um dos tratamentos com o herbicida, no caso, de forma lógica, na menor dose (0,6 kg.ha⁻¹), ou seja, até esta época o herbicida foi extremamente fitotóxico à planta teste.

A partir de então, e nas demais amostragens, com a cessação gradativa desde efeito, foi sendo permitida a expressão e o desenvolvimento da planta teste na menor dose; porém, pelos testes de médias realizados, em cada época, foi demonstrado que somente aos 601 DAT, é que este tratamento que recebeu a menor dose do sulfentrazone, não se diferenciou da testemunha, ou seja, a hipótese de nulidade entre as duas médias foi aceita. A partir de então esta hipótese foi aceita para todos os testes de médias realizados quando o contraste abrangia estas duas médias, até o final das amostragens em 704 DAT.

Em função destes dados, pode-se determinar a data de 601 DAT como sendo o limite da persistência do herbicida sulfentrazone, detectado pela sensibilização da planta teste beterraba, quando aplicado na dose de $0,6 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Esta data como limite da persistência do herbicida, é de extrema importância, pois, como a partir desta data houve a suspensão dos efeitos deletérios do herbicida à planta teste, então, pode-se inferir que também, não afetará o desenvolvimento de qualquer outra cultura agrícola, plantada após este período. Desta forma, esta data pode ser considerada como limite para uma indicação agrônômica para o plantio de outras culturas, quando não há estudos específicos, em sucessão a cana-de-açúcar, sem correr riscos de prejuízos causados por fitotoxicidade provocado pelo sulfentrazone, quando aplicado na dose de $0,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ e nas condições ensaiadas.

Para a maior dose estudada ($1,2 \text{ kg.ha}^{-1}$), a expressão de fitotoxicidade foi mais severa e a duração da persistência do herbicida sulfentrazone, como era de se esperar, foi muito mais extensa, a ocorrência de valores válidos na massa fresca epígea, só pôde ser verificada aos 475 DAT, e mesmo assim, com valor médio nas pesagens, próximos a zero ($0,0541 \text{ g}$).

Ainda analisando o comportamento desta dose ($1,2 \text{ kg.ha}^{-1}$), em função das épocas amostradas, aos 475 DAT os valores das pesagens foram baixos, tanto que aos 566 DAT a pesagem foi nula. Somente então, a partir desta data, a planta teste se desenvolveu; porém, em todas as épocas avaliadas e submetidas ao teste de médias, a hipótese de nulidade entre as médias (testemunha e $1,2 \text{ kg.ha}^{-1}$) sempre foi rejeitada, com a probabilidade de 5% para o erro experimental. Assim, o limite final da persistência do herbicida nesta dose, não pode ser determinado, visto que a hipótese de nulidade entre as

médias dos tratamentos foi rejeitada até a última avaliação. Pelos dados analisados a persistência do herbicida sulfentrazone, na dose de $1,2 \text{ kg.ha}^{-1}$, será maior que 704 DAT, nas condições ensaiadas.

A figura 6 apresenta graficamente os mesmos resultados da Tabela 8.

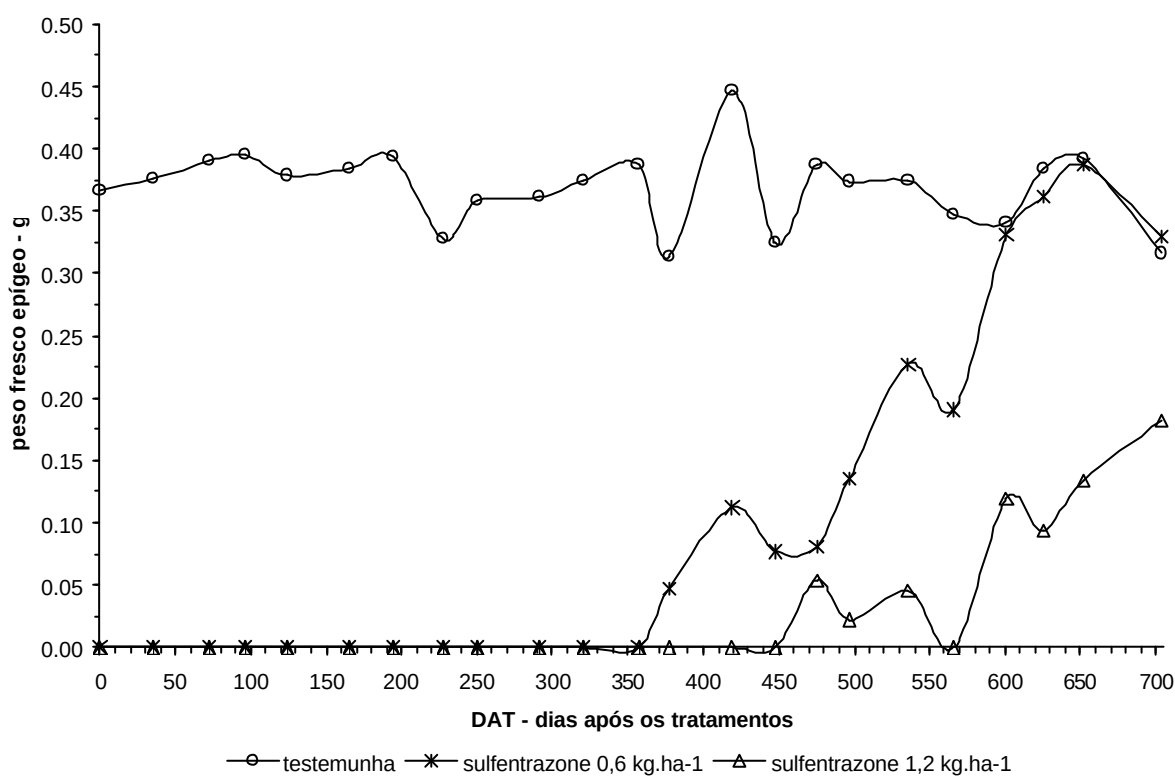


Figura 6: Massa fresca epigea da planta teste beterraba em função das amostragens, ensaio na cultura da cana-de-açúcar.

Nesta Figura, além das observações já descritas anteriormente, é possível visualizar melhor a evolução do processo em função do tempo. Observa-se na avaliação da menor dose, que a partir de 377 DAT, primeira

ocorrência de desenvolvimento da planta teste, as avaliações posteriores parecem seguir um certo padrão, indicando a tendência de que a dissipação do herbicida foi crescente em função do tempo. Para a maior dose, este comportamento parece ter sido verificado apenas após 601 DAT. Vários fatores influenciaram o comportamento do herbicida no solo, tais como as condições climáticas ocorridas no período do ensaio, que pode ser visualizado na Figura 7.

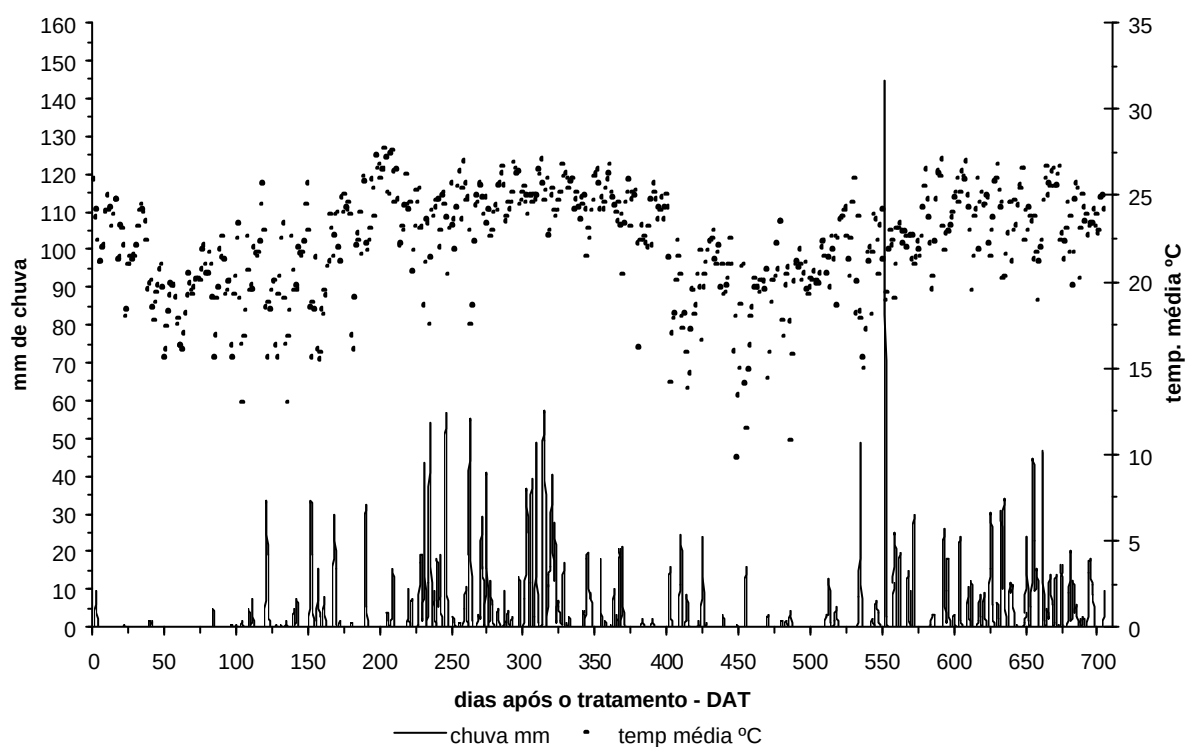


Figura 7. Condições climáticas do ensaio, (mm de chuva e temperatura média), no período de 30/03/00 a 04/03/02

O regime hídrico durante o período do ensaio, foi caracterizado pela alternância entre duas condições distintas, uma apresentando temperaturas médias mais altas e regime hídrico com precipitações mais abundantes e de maior frequência, e outra, de forma

inversa, temperaturas médias mais baixas e com uma menor frequência e volume de chuvas, característica típica de estiagem. Ressalta-se que o regime hídrico, assim como as temperaturas médias, foram normais e típicas para a região onde se realizou o ensaio.

Analisando as características climáticas e as características do solo onde se realizou o ensaio, em conjunto com as características intrínsecas do herbicida, pode-se fazer algumas inferências sobre o comportamento do herbicida sulfentrazone no solo, quando aplicado na cultura da cana-de-açúcar.

Pelas características do solo onde foi instalado o experimento (Tabela 1), em função do seu índice pH e do valor pK do sulfentrazone, observou-se pelo cálculo da % de ionização da molécula (Weber, 1970), que 40,89% do herbicida estaria na forma ionizada, garantindo assim, uma maior porcentagem da forma molecular passível de ser mais facilmente adsorvida pelos colóides do solo, no caso a argila (22,7%) e a matéria orgânica (11 g/dm³). Ainda mais, a aplicação do herbicida foi realizada na condição de menor frequência e volume de chuvas, o que facilitou ainda mais a sorção do herbicida pelos colóides do solo, em função do seu baixo teor de água conforme observações de Briggs (1969, 1976); Weber (1970); Blanco (1979); Walker (1980), Walker & Allen (1984) e Velini (1992). Sendo assim, o herbicida não estaria disponível para a lixiviação e para os processos dissipativos, quer sejam químicos ou biológicos bem como pela comunidade microbiana do solo. Neste período inicial em função do baixo teor de água no solo e menores temperaturas, esta comunidade estaria prejudicada no seu desenvolvimento, e assim, dissiparia em taxas menores o herbicida mesmo que em sua totalidade estivesse disponível na solução do solo, o que não é o caso (Alexander 1965, 1970).

Apesar da particularidade climática do período inicial do ensaio ter favorecido a sorção do herbicida pelos colóides do solo, e as suas conseqüências, como a maior indisponibilidade do mesmo para os processos dissipativos, explicando em parte a sua permanência no solo, esta característica de estiagem não durou por mais de 150 dias, onde a partir de então ocorreu o início das chuvas e o aumento das temperaturas, perdurando esta condição até 450 DAT.

Esta nova característica propiciou um ambiente mais favorável à presença do herbicida na solução do solo, disponibilizando-o para os processos dissipativos. Estes foram expressivos, tanto que, foi neste intervalo que ocorreram as primeiras germinações da planta teste, em 419 DAT e 448 DAT, para a menor dose do herbicida, porém, permanecendo a persistência do herbicida.

Para o término da persistência do herbicida na menor dose, ainda seria necessário mais um período de estiagem, situado entre 450 DAT a 550 DAT, época em que as condições favoráveis à dissipação do herbicida cessariam. Finalmente no próximo intervalo de chuvas e maiores temperaturas entre 550 DAT até 704 DAT, com a renovação das condições favoráveis a sua dissipação, o herbicida não mais persistiu.

A dose maior do herbicida sulfentrazone teve um comportamento diferenciado, pois para a planta teste começar a expressar algum desenvolvimento, foram necessários dois períodos de condições favoráveis à permanência do herbicida na solução do solo, e mesmo assim não foi suficiente para o término da persistência, que durou até o final do ensaio em 704DAT.

Outro fator que influiu na duração da persistência do herbicida conforme Alexander (1965, 1970) e Kaufman & Karney (1970) observaram, foi o baixo teor

de matéria orgânica no solo (11 g/dm^3). Este baixo teor, não favoreceu a comunidade microbiana, mesmo se o herbicida estivesse totalmente disponível na solução do solo, a sua taxa de dissipação tenderia a ser baixa, não por causa da sorção, mas sim devido ao baixo nível populacional dos microrganismos.

Uma informação importante originária destes dados de persistência do herbicida sulfentrazone na cultura da cana-de-açúcar com o plantio e a aplicação do herbicida realizado em março, para regiões edafoclimáticas semelhantes às condições ensaiadas, diz respeito à possível presença de níveis residuais no solo, após o primeiro corte da cana-de-açúcar. No caso de uma nova aplicação com o mesmo herbicida na soca, inicialmente haverá um nível residual maior do que o desejável e indicado pela recomendação agrônômica.

6.3. Persistência do herbicida sulfentrazone na cultura de soja e seu efeito em culturas sucedâneas.

6.3.1. Persistência do herbicida

Os resultados referentes à massa fresca epígea, provenientes das pesagens da planta teste utilizada para avaliar a persistência do herbicida sulfentrazone na forma de Boral 500 SC, aplicado na cultura da soja, com o resumo das análises da variância e o teste **t** para o contraste entre as médias (testemunha contra cada um dos tratamentos), são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Resumo das análises de variância e teste de médias (teste **t**) dos bioensaios com a beterraba, realizados em cada época amostrada na cultura de soja e culturas sucedâneas. Dados médios de 15 repetições.

época DAT	massa fresca epígea (g)			resumo das análises estatísticas	
	tratamentos sulfentrazone kg.ha ⁻¹			F	CV
	0,00	0,60	1,20		
0	0,3585	0,0 *	0,0 *	592,00**	15,92
33	0,3860	0,0 *	0,0 *	293,02**	22,63
64	0,3570	0,0 *	0,0 *	371,47**	20,09
92	0,3686	0,0 *	0,0 *	767,45**	13,98
120	0,4327	0,0 *	0,0 *	1621,35**	9,12
140	0,3726	0,0 *	0,0 *	692,33**	14,72
159	0,3934	0,0 *	0,0 *	1420,32**	10,28
194	0,3758	0,0 *	0,0 *	1470,11**	10,10
223	0,3766	0,0 *	0,0 *	363,44**	20,32
257	0,3527	0,1003 *	0,0 *	690,60**	10,24
278	0,2891	0,0586 *	0,0 *	297,07**	17,11
278a	0,3652	0,0984 *	0,0 *	311,20**	15,50
278b	0,3185	0,0354 *	0,0 *	253,02**	20,80
286	0,3087	0,0896 *	0,0 *	327,01**	14,79
286a	0,4072	0,1047 *	0,0158 *	814,82**	9,29
305	0,3436	0,1042 *	0,0 *	326,41**	14,61

Continua.

Continuação da Tabela da Tabela 9.

época DAT	massa fresca epígea (g) tratamentos sulfentrazone kg.ha ⁻¹			resumo das análises estatísticas	
	0,00	0,60	1,20	F	CV
318	0,4102	0,2287 *	0,0879 *	83,79**	16,29
353	0,4276	0,2362 *	0,1419 *	107,68**	11,67
376	0,3818	0,3444 ns	0,1301 *	109,02**	10,19
404	0,4330	0,3916 ns	0,1861 *	42,38**	13,48
439	0,4785	0,4065 ns	0,2684 *	15,79**	15,63
471	0,4139	0,4070 ns	0,1768 *	32,34**	15,96
505	0,4600	0,4242 ns	0,2186 *	46,00**	11,68
539	0,2795	0,2959 ns	0,1815 *	16,63**	13,45

* significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

ns não significativo a 5% de probabilidade.

Esta tabela indica que foram realizadas 24 amostragens para o monitoramento até 539 DAT do herbicida sulfentrazone nas doses ensaiadas (0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹); em todas elas, a análise da variância dos tratamentos foi significativa, a 1% de probabilidade para o erro experimental com coeficientes de variação compatíveis para este tipo de ensaio.

Em todas as épocas amostradas foram realizados os teste de médias (teste **t**), sempre contrastando o tratamento testemunha contra as doses do herbicida, para tanto, foi testada a hipótese de nulidade entre elas (*H0*) a 5% de probabilidade. Estes testes revelaram que somente na menor dose ocorreram épocas onde foram aceitas a hipótese de

nulidade. Isto ocorreu a partir de 376 DAT, ou seja, a partir desta época não foi detectada diferenças entre as médias contrastadas (testemunha e a menor dose ensaiada).

Como o herbicida sulfentrazone não sensibilizou mais a planta teste a partir de 376 DAT, pode-se definir esta data como o limite final da persistência do herbicida nesta dose.

Para a dose maior observou-se um comportamento diferenciado. Em nenhum momento pelos contrastes do teste de médias, a hipótese de nulidade foi aceita, evidenciando que nesta dose, o limite para se determinar a persistência não foi alcançado, indicando que o mesmo será maior que a amplitude realizada no estudo.

A Figura 8 ilustra os mesmos resultados da Tabela 9, porém na forma de um gráfico, permitindo assim, uma melhor visualização dos dados observados.

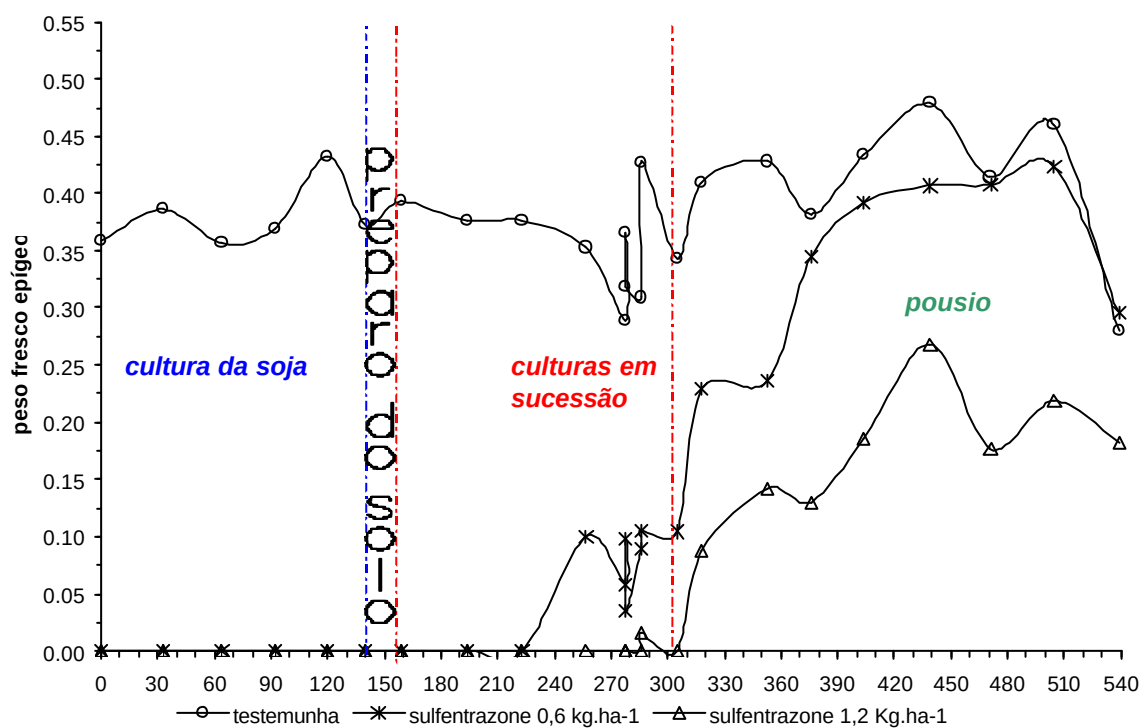


Figura 8: Massa fresca epigea da planta teste beterraba em função das amostragens, ensaio na cultura da soja.

Analisando a Figura 8, é possível visualizar que, quando o ensaio estava lotado com a soja, foram amostrados seis pontos até colheita da cultura, e dos bioensaios provenientes destas amostragens somente houve o crescimento das plantas testes no tratamento testemunha.

Após a colheita da cultura da soja, foi iniciado o preparo da área para o plantio das culturas sucedâneas, aos 194 DAT. Apesar de todos os procedimentos de preparo do solo para o plantio das culturas sucedâneas verificou-se, que este manejo, não influenciou a persistência do herbicida até a esta época, porém, cabe salientar que, devido a grande sensibilidade da planta teste, pode ter ocorrido uma redução do nível residual do herbicida, sem ter sido detectado pela mesma.

É nesta fase que foram realizadas coletas em épocas específicas devido às colheitas das culturas em sucessão, com as amostras sendo feitas somente nas entre linhas da cultura sucedânea na época de cada colheita, como descrito na Tabela 6: aos 278 DAT, colheitas das culturas de aveia, feijão e milho; 286 DAT, colheita da cultura de trigo e 305 DAT, colheita da cultura do girassol.

Este procedimento foi realizado para verificar se na interação com as culturas sucedâneas haveria alguma diferença em relação à persistência do herbicida, por exemplo, a sua diminuição. Isto foi realizado, porém, respeitando a limitação do ensaio, pois era constituído de apenas quatro linhas de plantio por culturas em cada parcela. Os resultados demonstraram que não foram detectados quaisquer efeitos na persistência: aos 278 DAT, nas colheitas das culturas de aveia, feijão e milho, os resultados foram muito semelhantes aos obtidos na mesma época em que se coletaram amostras abrangendo todo o ensaio. Aos 286 DAT na colheita da cultura de trigo, obteve-se também, resultados aos semelhantes da

amostragem proveniente de todo campo experimental na mesma data, e finalmente, aos 305 DAT na colheita da cultura do girassol, os dados do mesmo modo, foram similares aos obtidos em 318 DAT (amostragem em todo campo experimental).

Ainda pode-se observar analisando a Figura 8 que somente na fase (“culturas em sucessão”) ocorreu o desenvolvimento da planta teste nos tratamentos com o herbicida, principalmente na dose menor; porém, em nenhuma das doses foi determinado o final da persistência.

A partir da colheita da última cultura sucedânea, no caso, o girassol em 305 DAT, a área ensaiada foi deixada em pousio. Nesta fase, os dados alcançados indicaram o final da persistência do herbicida, somente na sua menor dose.

Pela análise do solo ensaiado (Tabela 3), observa-se altos teores de matéria orgânica, 43 g/dm³ e argila, 46,3 % o que favoreceria a sorção do herbicida no solo, corroborando para isto o fato de que 85,2 % das moléculas do herbicida estavam na forma molecular, em função da sua constante de ionização e do índice pH do solo (Weber, 1970). Porém, analisando-se a figura 9 observa-se que a aplicação do herbicida foi realizada em pleno verão, caracterizado pelos freqüentes e abundantes índices pluviométricos, além da alta temperatura, típica do mês de janeiro para a região sudeste. Esta situação não beneficia a sorção ao contrário, favorece a permanência do herbicida na solução do solo estando mais passível à lixiviação (Briggs 1969 e 1976; Weber, 1970; Walker & Thopson, 1977).

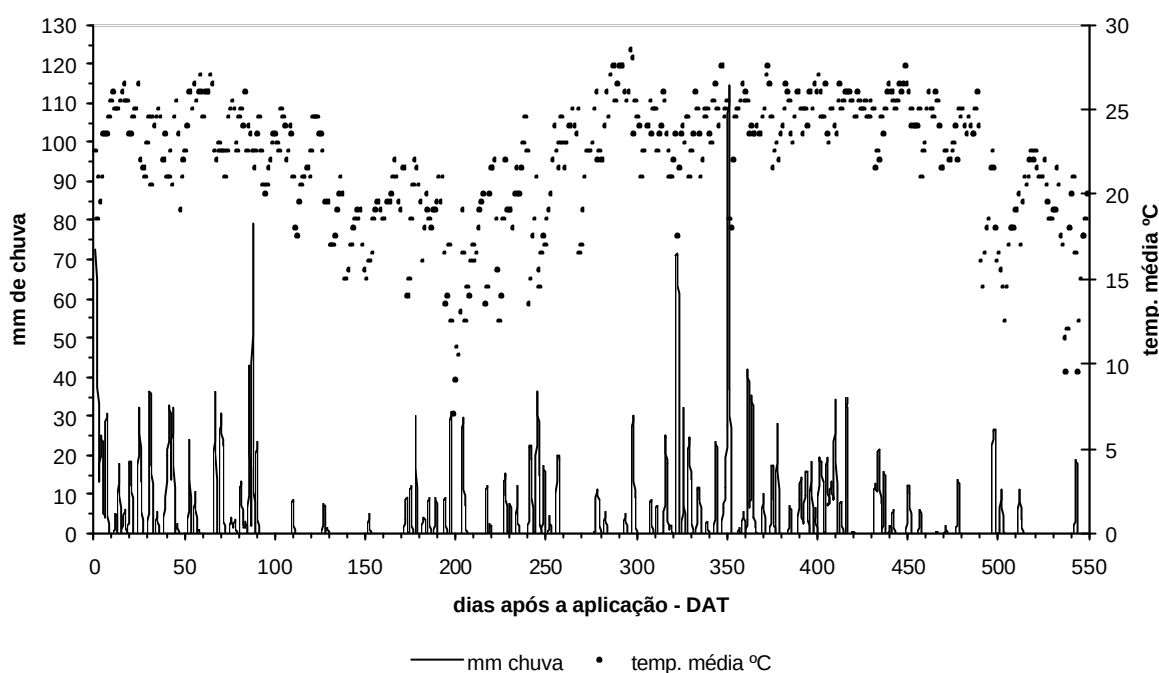


Figura 9. Condições climáticas do ensaio, mm de chuva e temperatura média, durante o período de 13/01/00 a 31/05/01

Esta condição perdurou até 80 DAT, época em que, em função da estiagem, ocorreu uma condição mais favorável à sorção do herbicida persistindo até 240 DAT, quando uma nova condição de chuvas pôde favorecer a permanência do herbicida na solução do solo, desta forma, disponibilizando-o para os processos dissipativos e lixiviação. Como decorrência, foram registrados nesta fase, as primeiras ocorrências de desenvolvimento da planta teste com os bioensaios provenientes dos tratamentos com o herbicida, quer seja na menor dose, em 257 DAT, assim como na maior dose em 286 DAT.

Esta fase de maiores chuvas e temperaturas mais altas perdurou até quase o final do ensaio, aos 500 DAT, condição esta que favoreceu a disponibilização do herbicida para os processos dissipativos e lixiviação. Assim, nesta fase, finalmente foi possível

definir o limite da persistência do sulfentrazone na sua menor dose. A partir desta fase, então, ciclicamente começa uma nova época com seca e temperaturas menores, característica do período final do ensaio que perdurou 539 dias. O tempo de duração desta fase não foi suficiente para que fosse detectado pelos bioensaios o limite da persistência para a aplicação na maior dose, talvez, porque agora, devido à condição de déficit hídrico no solo, a sorção do herbicida foi favorecida e por consequência, também a sua indisponibilidade para os processos de dissipação, conforme descrito por Briggs (1969 e 1976); Weber (1970); Walker & Thopson (1977).

Considerando os dados de persistência obtidos neste experimento torna-se importante observar que após a retirada da soja, ainda há uma concentração do herbicida no solo, acarretando em dois riscos imediatos para as culturas sucedâneas: *primeiro*, ao se utilizar o mesmo herbicida pode acarretar em uma concentração inicial superior a indicada, e assim, afetar a nova cultura; *segundo*: no plantio de culturas sucedâneas sensíveis ao sulfentrazone, estas poderão ser seriamente afetadas, por isso é fundamental a investigação dos possíveis efeitos fitotóxicos do sulfentrazone nas culturas quando em rotação com a soja.

6.3.2. Efeito do herbicida sulfentrazone sobre as culturas sucedâneas .

Para este ensaio foram selecionados as culturas de milho, girassol, feijão, aveia e trigo, talvez as principais culturas que sucedem a soja, e para as quais não se têm informações a respeito do efeito do resíduo no solo do sulfentrazone.

Os resultados das avaliações nas culturas sucedâneas à soja foram individualizados por cultura, e encontra-se nas tabelas a seguir. Estas foram caracterizadas

pela análise da variância de cada característica avaliada, e na sua significância foi realizado o teste de médias (teste **t**), entre as médias da testemunha, contrastando com as médias dos tratamentos.

Ressalta-se que os plantios destas culturas foram realizados em 20/06/2000, após 194 dias da aplicação do herbicida, época em que o sulfentrazone persistia no solo em doses consideráveis, pois na confecção dos bioensaios provenientes desta época, somente ocorreu germinação da planta teste no tratamento testemunha.

6.3.2.1. Cultura do milho cv. italiano.

Tabela 10. Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹) para a cultura do milho. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.

MILHETO	Sulfentrazone kg.ha ⁻¹			CV	F
	0	0,60	1,20		
estande 15 DAP ⁵ (moda) ⁶	1	2	3	--	—
estande 30 DAP (moda)	1	4	4	--	—
perfilho	1,82	1,12* ⁷	1,082*	12,70	32,82**
altura – cm	7,96	3,54*	2,54*	22,65	37,06**
nº de folhas	8,39	4,37*	3,42*	20,29	28,99**
massa fresca – g	3,16	0,54*	0,19*	18,70	16,15**
área foliar – cm ²	76,43	12,35*	2,77*	20,45	13,96**
massa seca – g	0,39	0,07*	0,02*	16,24	15,93**
estande ⁸ – 15 DAP	12,39	12,15	11,82	3,47	2,30 ns
estande – 30 DAP	11,99	9,65*	8,13*	6,10	51,37**
produção - g	8170	5926*	2254*	18,39	44,40**

* significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

ns não significativo a 5% de probabilidade.

⁵ DAP dias após o plantio

⁶ notas de fitotoxicidade considerando-se as cinco repetições

⁷ rejeita-se a hipótese *H*₀ diferença entre as médias diferente de zero a 5% de probabilidade para o erro.

⁸ estande: dados transformados em raiz quadrada de *x* + 1

Pelos resultados, observou-se que tanto nos sintomas visuais de fitotoxicidade, como também, nas análises de todas as características fisiológicas utilizadas para avaliar o desenvolvimento/crescimento da cultura, à exceção da avaliação do estande aos 15 DAP, onde os efeitos dos tratamentos não foram significativos; em qualquer das doses utilizadas, o herbicida sulfentrazone, quando aplicado na cultura da soja persistiu no solo, e este nível residual, prejudicou de forma significativa o desenvolvimento da cultura do milho.

6.3.2.2. Cultura do girassol cv. uruguay.

Tabela 11. Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹) para a cultura do girassol. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.

GIRASSOL	Sulfentrazone kg.ha ⁻¹			CV	F
	0	0,60	1,20		
estande 15 DAP (moda)	1	1	1	--	—
estande 30 DAP (moda)	1	1	1	--	—
altura – cm	25,8	29,7	28,8	14,95	1,16 ns
nº de folhas	14,0	14,8	15,0	12,18	0,47 ns
massa fresca – g	45,3	53,9	48,6	26,11	0,56 ns
área foliar – cm ²	618	713	658	23,42	0,47 ns
massa seca – g	4,6	5,3	5,0	22,89	0,32 ns
estande – 15 DAP	4,55	4,55	4,64	3,38	0,49 ns
estande – 30 DAP	4,40	4,26	4,47	4,93	1,22 ns
produção – g	1510	1610	1380	10,26	2,85 ns

ns não significativo a 5% de probabilidade.

Esta cultura teve um comportamento inverso ao milheto, não sendo observado nenhum sintoma visual de fitotoxicidade em qualquer das doses ensaiadas e em qualquer época avaliada. Nas análises das variâncias dos tratamentos através das características analisadas, não foram detectadas quaisquer significâncias entre os tratamentos pelo teste F. Isto demonstrou que a aplicação do herbicida sulfentrazone, nas doses ensaiadas na cultura da soja, não prejudicou o desenvolvimento da cultura do girassol, mesmo o herbicida persistindo e estando presente na época do cultivo desta cultura.

6.3.2.3. Cultura do feijão cv. carioca.

Tabela 12. Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹) para a cultura de feijão. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.

FEIJÃO	Sulfentrazone kg.ha ⁻¹			CV	F
	0	0,60	1,20		
estande 15 DAP (moda)	1	1	1	--	—
estande 30 DAP (moda)	1	1	2	--	—
altura – cm	6,3	6,7	6,2	7,73	1,23 ns
nº de trifólios	4,4	4,3	4,1	9,49	0,58 ns
massa fresca – g	7,9	7,3	6,3	24,52	1,04 ns
área foliar – cm ²	171	159	138	25,42	0,88 ns
massa seca – g	0,93	0,87	0,77	25,34	0,74 ns
estande – 15 DAP	5,23	5,45	5,38	3,29	2,05 ns
estande – 30 DAP	5,19	5,27	5,34	3,60	0,76 ns
produção - g	998	885	1225	18,76	3,96 ns

ns não significativo a 5% de probabilidade.

A avaliação desta cultura em relação aos possíveis efeitos fitotóxicos provenientes da aplicação do herbicida originalmente na soja, demonstrou ser semelhante à cultura do girassol, ou seja, pela análise da variância das características estudadas, em função dos tratamentos, não foram encontradas quaisquer significâncias, demonstrando que os tratamentos não interferiram no desenvolvimento da cultura.

Porém, na avaliação visual que qualifica o efeito da fitotoxicidade através de notas que caracterizam o sintoma, observa-se que aos 30 DAP na dose de 1,20 kg.ha⁻¹ do herbicida sulfentrazone, houve injúrias diagnosticadas como “leves sintomas de fitotoxicidade”, caracterizados principalmente por uma clorose interveinal com enrugamento foliar e pequenas lesões avermelhadas na folhas cotiledonares. Estes sintomas desapareceram em poucos dias, devido a senescência natural das folhas cotiledonares, inerente ao desenvolvimento da cultura. Desta forma, esta dose quando aplicada na cultura da soja não foi significativamente prejudicial para a cultura do feijão plantada na sua sucessão.

Pela ocorrência aos 30 DAP, na maior dose aplicada, de sintomas visuais de fitotoxicidade com a moda 2, ainda que caracterizado por “*injurias com leves sintomas*”, o agricultor, em função de um intervalo de tempo restrito para a realização do plantio da safra, pode ser levado a retirar a cultura, em função desta fitotoxicidade, temendo que a cultura não se recupere e não produza de forma satisfatória. Então, torna-se necessário um alerta ao agricultor da ocorrência deste sintoma temporário de fitotoxicidade, quando for selecionada a cultura do feijão, como cultura em sucessão à soja.

Destaca-se ainda que, como a dose indicada de aplicação do sulfentrazone para a cultura da soja é de 0,60 kg.ha⁻¹ e o aparecimento do sintoma só foi verificado na dose maior (1,20 kg.ha⁻¹), a indicação da dose para a aplicação na soja é uma

garantia de segurança que o herbicida não causará problemas de injúrias para a cultura do feijão em sucessão.

6.3.2.4. Cultura do trigo cv. IAC - 24

Tabela 13. Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹) para a cultura do trigo. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.

TRIGO	Sulfentrazone kg.ha ⁻¹			CV	F
	0	0,60	1,20		
estande 15 DAP (moda)	1	1	1	--	—
estande 30 DAP (moda)	1	1	2	--	—
perfilho	4,11	3,4*	2,78*	14,11	9,37**
altura - cm	19,06	16,77 ns	13,79*	10,95	10,65**
nº de folhas	17,20	14,88 ns	12,30*	10,81	11,73**
massa fresca – g	5,59	4,26*	2,69*	16,59	22,02**
área foliar – cm ²	119,2	93,43*	67,62*	16,49	14,04**
massa seca – g	0,94	0,75 ns	0,52*	19,67	10,40**
estande – 15 DAP	9,22	8,96	9,33	3,70	1,51 ns
estande – 30 DAP	15,5	14,9	14,6	5,17	2,08 ns
produção - g	448	463	375	15,42	2,50 ns

* significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

ns não significativo a 5% de probabilidade.

Para a cultura do trigo observou-se, que houve uma diferença de comportamento em relação às doses ensaiadas. Nas análises das variâncias das características estudadas, em função dos tratamentos, observou-se que em várias delas foram encontradas

diferenças significativas entre os tratamentos: número de perfilhos, altura, nº de folhas, massa fresca, área foliar e massa seca.

Quando se realizou o teste para a comparação entre as médias, observou-se que na menor dose ($0,60 \text{ kg.ha}^{-1}$), apenas para as características de nº de perfilhos, massa fresca e área foliar, houve diferença significativa em relação à testemunha. Por outro lado, na maior dose ($1,20 \text{ kg.ha}^{-1}$), além destas características, também se diferenciaram da testemunha as características de altura, nº de folhas e massa seca. Ressalta-se, ainda, que, nesta dose aos 30 DAP foram observados leves sintomas de fitotoxicidade na cultura, o que não ocorreu na menor dose ensaiada.

Desta forma, justifica-se caracterizar que a aplicação do herbicida sulfentrazone na dose de $0,60 \text{ kg.ha}^{-1}$ para o controle das plantas daninhas na cultura da soja, não foi prejudicial à cultura do trigo, quando esta sucedeu a soja, nas condições ensaiadas.

6.3.2.5. Cultura da aveia cv. branca

Tabela 14. Resultado das avaliações de cada características, em função dos tratamentos (sulfentrazone 0, 0,60 e 1,20 kg.ha⁻¹) para a cultura da aveia. Resumo das análises de variância e teste de médias. Dados médios.

AVEIA	Sulfentrazone kg.ha ⁻¹			CV	F
	0	0,60	1,20		
estande 15 DAP (moda)	1	1	2	--	–
estande 30 DAP (moda)	1	2	3	--	–
perfilho	3,43	3,21	3,29	18,37	0,17 ns
altura - cm	8,79	7,28*	4,62*	14,35	22,82**
nº de folhas	11,47	10,85	8,77	15,46	3,87 ns
massa fresca – g	3,61	2,36*	1,08*	23,16	26,93**
área foliar – cm ²	87,13	56,32*	23,46*	24,33	27,65**
massa seca – g	0,54	0,36*	0,18*	18,68	36,08**
estande – 15 DAP	8,81	8,72	8,82	9,98	0,02 ns
estande – 30 DAP	13,8	11,9*	11,8*	5,49	13,40**
produção - g	492	512	514	10,61	0,25 ns

* significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

ns não significativo a 5% de probabilidade.

Nesta cultura, as características avaliadas submetidas aos tratamentos com as doses do herbicida tiveram um comportamento semelhante, apresentando sintomas visuais de fitotoxicidade, pronunciadamente na maior dose, sendo que aos 30 DAP a cultura apresentou sintomas moderados de injúrias. Estes sintomas caracterizavam-se pelo aparecimento, geralmente na parte mediana ou no 1/3 inicial do limbo foliar, de uma lesão internerval que geralmente sofria uma constrição com necrose, com posterior queda da parte

lesionada. Esta particularidade do sintoma confere uma aparência de que as plantas tivessem sido cortadas, como por pastejo.

Aliado a isto, à exceção das características: número de folhas, número de perfilhos, contagem de estande aos 15 DAP e produção, em todos as outras, os tratamentos efetuados tiveram efeitos significativos. Para estas características (altura das plantas, massa fresca, massa seca, etande aos 30 DAP e área foliar), as comparações entre as médias dos tratamentos com a aplicação do herbicida contrastando com a testemunha, diferiram significativamente das médias da testemunha, demonstrando que, em um sistema de sucessão de culturas entre a culturas de soja com posterior plantio de aveia, o herbicida sulfentrazone, não deve ser indicado, para a aplicação como pré-emergente na cultura da soja nas dosagens avaliadas.

Cabe salientar que apesar do resultado da análise da variância não ter detectado diferença significativa entre os tratamentos com uso do herbicida na característica produção, ocorreu efeito significativo nas outras características analisadas e nos sintomas de fitotoxicidade, indicando que as doses ensaiadas foram prejudiciais ao desenvolvimento da cultura de aveia. Observou-se no campo experimental que, com o passar do tempo, houve a morte dos primeiros perfilhos emitidos pela planta, e por conseqüência houve a emissão de novos perfilhos, devido à quebra de dormência. Apesar de haver uma compensação da massa vegetal, o que de certa forma, também, beneficiou a produção, houve um atraso considerável no ciclo da cultura, nas parcelas tratadas com o herbicida, o que não é desejável.

6.4. Observações sobre os resultados de persistência.

Pode-se dizer que há uma certa semelhança entre os dois ensaios realizados para a determinação da persistência do herbicida sulfentrazone, já que foram realizados nas mesmas condições climáticas e instalados em épocas também semelhantes, um em janeiro e o outro no final de março de 2000, porém os períodos que determinaram o limite da persistência, foram de certo modo, destoantes, 601 e 376 dias, para os ensaios com a cana-de-açúcar e soja, respectivamente.

Então, entre os dois períodos, existe uma diferença de 225 dias a mais no tempo da duração da persistência do ensaio instalado com a cultura de cana-de-açúcar. Isto pode ter acontecido devido a diversos fatores, listados na sequência.

Época de instalação do ensaio: apesar de terem sido instalados em épocas próximas, estas apresentaram características bem distintas. A soja foi plantada em plena estação chuvosa de verão, enquanto para a cana-de-açúcar o ensaio foi instalado no início do período seco e desta forma, existiu maior tendência do herbicida permanecer adsorvido aos colóides no período inicial do ensaio, de acordo com Briggs (1969, 1976); Weber (1970); Blanco (1979); Walker (1980), Walker et al. (1984) e Velini (1992).

Tipo de solo: os dois solos ensaiados apresentaram diferenças significativas na sua textura e matéria orgânica. Aquele em que se desenvolveu a soja era mais rica em argila e principalmente em matéria orgânica, estas características favoreceram o desenvolvimento da comunidade microbiana que poderia dissipar o herbicida, além de proporcionar maior sorção e menor lixiviação, segundo relatos de Alexander (1965, 1970) e Kaufman & Kaerney (1970).

Sorção e Lixiviação: estes dois fatores podem ter sido influenciados de forma diferente em função do índice pH dos solos ensaiados. Apesar de próximos (soja 5,8 e cana-de-açúcar 6,4), apresentaram características diferentes, pois, o menor índice, teoricamente teve a menor solubilidade e maior Kow e por consequência, a sorção deve ter sido maior e apresentando uma menor lixiviação (Ryley, 1978; Briggs, 1981, Walker, 1987).

Cultura e manejo: culturas diferentes propiciam interações diferentes, como na seleção de estipes de microrganismos distintos em função dos exsudatos das raízes. No manejo da cultura da soja e culturas sucedâneas houve retirada de material vegetal (vagens com sementes) carregando consigo o herbicida, além de revolvimento do solo para o plantio das culturas sucedâneas, situações que não ocorreram no ensaio com a cana-de-açúcar, o que certamente influenciou na persistência do herbicida.

Apesar de todas estas diferenças descritas, as Figuras 10 e 11 demonstram uma semelhança no comportamento da dissipação perante os ciclos das estações climáticas, principalmente no regime hídrico.

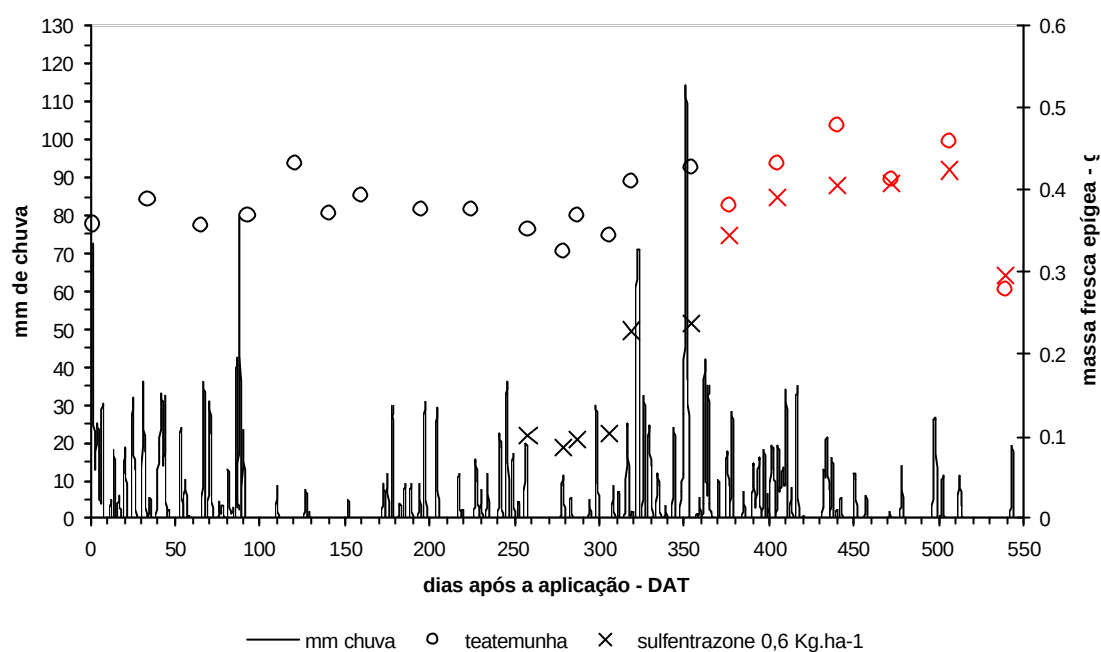


Figura 10. Dissipação do herbicida sulfentrazone na cultura da soja, em função dos ciclos das estações climáticas⁹.

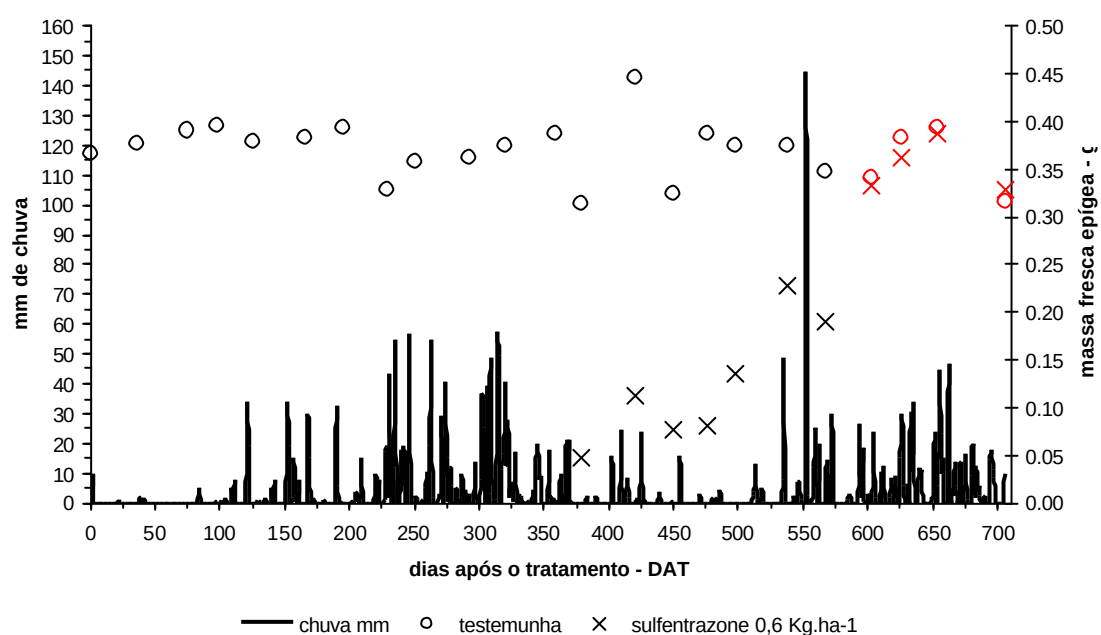


Figura 11. Dissipação do herbicida sulfentrazone na cultura da cana-de-açúcar, em função dos ciclos das estações climáticas.

⁹ nos pontos vermelhos aceita-se a hipótese de nulidade entre as médias.

Apesar de toda diferença entre os dois ensaios, descrita anteriormente, observou-se que em ambos, foram necessários dois ciclos de períodos chuvosos para que houvesse o início da expressão da massa da planta teste, em função da dissipação do herbicida, até culminar com o final da persistência do mesmo.

Nos dois ensaios, somando-se a chuva do início até o término da persistência tem-se para o ensaio com a cana-de-açúcar 1955 mm e para o ensaio com a soja, 1737 mm, encontra-se uma diferença de 218 mm. Baseado neste fato pode-se dizer que a quantidade de chuva necessária para o término da persistência foi semelhante para ambos os ensaios, indicando, assim, uma tendência de haver uma correlação entre a persistência do herbicida e a quantidade de chuva, independentemente das características distintas entre os dois ensaios, como o manejo, as culturas, o tipo de solo e a sua época de instalação.

Citando Walker & Allen (1984), os complexos processos envolvendo o comportamento dos herbicidas nos solos ainda não estão totalmente claros e necessitam, ainda, de muita pesquisa.

Desta forma, a pesquisa aqui proposta e conduzida teve como principal objetivo, ser uma tentativa de acerto, colaborando, assim, no entendimento do comportamento no solo do herbicida sulfentrazone, quando aplicado nas culturas de cana-de-açúcar e soja.

7. CONCLUSÕES

Para as condições em que foram ensaiadas, são validas as conclusões:

A metodologia de bioensaios com uso da planta teste beterraba cv. early wonder, é adequada para a detecção de resíduos do sulfentrazone no solo.

O herbicida sulfentrazone apresenta uma grande persistência no solo, quando aplicado em área total na pré-emergência, nas doses ensaiadas, tanto na cultura da soja cv. Embrapa 48 como na cultura da cana-de-açúcar var. SP801816.

O herbicida sulfentrazone quando aplicado em área total na pré-emergência, nas doses testadas (0,60 e 1,20 e kg.ha^{-1}), na cultura da soja cv. Embrapa 48 prejudica de forma significativa o desenvolvimento das culturas de milheto, cv. Italiano e aveia, cv. Branca, quando estas culturas são plantadas em sucessão a cultura da soja.

O herbicida sulfentrazone quando aplicado em área total na pré-emergência, nas doses de 0,60 e 1,20 e kg.ha^{-1} na cultura da soja cv. Embrapa 48, não

prejudica o desenvolvimento das culturas de girassol, cv. Uruguay 1 e feijão, cv. Carioca quando estas culturas são plantadas em sucessão a cultura da soja

O herbicida sulfentrazone quando aplicado em área total na pré-emergência nas doses de $0,60 \text{ kg.ha}^{-1}$ na cultura da soja, cv. Embrapa 48 não prejudica o desenvolvimento da cultura de trigo, cv. IAC 24, em um sistema de plantio em sucessão a cultura da soja.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. *Introduction to soil microbiology*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 467p.

ALEXANDER, M. Persistence and biological reaction of pesticides in soil. *Soil Sci. Am. Proc.*, v. 29, n 1, p. 1-7, 1965.

ALVES, P. L. C. A., JUNIOR, J. M., NETO, J. F. P. Avaliação das possíveis influências de atributos de solos na eficiência do sulfentrazone no controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) In: CONGRESO ALAM, 14 E CONGRESO ANUAL COMALFI, 29. Catagena, 1999 de Indias.

ANDERSON, P. W. *Weed science: principles*. New York, West Publishing, 1977. 598p.

- ASTOLFI, E., LANDONI, J. H., ALMEIDA, E. *Curso sobre toxicologia de defensivos agrícolas*, 3. ed. São Paulo. ANDEF, 1984. 159p.
- AZZI, G.M. & FERNANDES, J. Competição de ervas daninhas no período inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar. *Bras. Açucareiro*, v.76, n.4, p. 30-32, 1968.
- BAILEY, G. W., WHITE, J. L. Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil. *Residue Rev.*, v. 32, p. 29-92, 1970
- BENETTI, E. Sulfentrazone: novo herbicida com amplo espectro de ação na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 20, 1995, Florianópolis. *Resumos ...*
- BEYER E. M., BROWN, H. M., DUFFY, M. J. Sulfonylurea herbicide soil relations. In: British Crop Protection Conference – Weeds. Proceedings, England, 16-19, v.2, p. 531-40, 1987.
- BLANCO, F. M. G. Controle das plantas daninhas, tiririca (*Cyperus rotundus*) e grama-seda (*Cynodon Dactylon*), em culturas frutíferas. *Reunião Itinerante de Fitossanidade do Instituto Biológico*, 7. Anais, Indaiatuba, SP, 2002.

BLANCO, F. M. G. *Persistência e lixiviação do herbicida ametrina em solo barrento cultivado com cana-de-açúcar*. Botucatu, SP, 1996. 87 p. Tese (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BLANCO, F. M. G., BLANCO, H. G., MACHADO, T. R. Persistência e lixiviação do herbicida simazine em solo barrento cultivado com milho. *Planta Daninha*, v.15: 1997a.

BLANCO, F. M. G., BLANCO, H. G., MINHONI, M. T. A., MACHADO, T. R., VELLINI, E. D. Persistência e lixiviação do herbicida ametrina em solo barrento cultivado com cana-de-açúcar. *Arq. Inst. Biológico*, v.64: 1-9, 1997b.

BLANCO, F. M. G., MACHADO, T. R. Persistence and leaching of atrazine and metolachlor in soil under corn. In: THIRD INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3, 2000,. Fox do Iguassu, 2000, *Abstrats*,...

BLANCO, H. G. & BLANCO, F. M. G. Plantas daninhas e seu controle químico. In: *Problemas fitossanitários em plantas ornamentais*. Campinas, Instituto Biológico: 1997

BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A. Persistência de ametryne, atrazine, simazine e diuron no solo após aplicações anuais, em cultura de cana-de-açúcar. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 24: 1161-68, 1989.

- BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A. Persistência de herbicidas em latossolo vermelho-amarelo em cultura de cana-de-açúcar. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 22, n. 7: 681-7. 1987.
- BLANCO, H. G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle de plantas daninhas. *O Biológico*, v. 38. n. 10, p. 343-50, 1972.
- BLANCO, H. G. Competição de plantas daninhas em culturas brasileiras. In: CREA-SP., *Controle integrado de plantas daninhas*. São Paulo, 1982. p. 43-75
- BLANCO, H. G. Destino, comportamento e resíduos de herbicidas no solo. *O Biológico*, v. 45 n. 11/12 p. 225-48, 1979.
- BLANCO, H. G. BLANCO, H. G. Manejo de plantas daninhas – uma abordagem ecológica. In: Simpósio de Agricultura ecológica, 1. anais, IAC, 1993.
- BLANCO, H. G. Manejo de plantas daninhas – uma abordagem ecológica. *O Biológico*, São Paulo, v. 59, n.2, p.111-116, jul./dez., 1997.
- BLANCO, H. G., BLANCO, F. M. G. Degradação acelerada de linuron no solo em condições de laboratório. *Arq. Inst. Biol.*, v.64: 72-8, 1997.

BLANCO, H. G., MATALLO, M. B., BLANCO, F. M. G. Soil persistence of cyanazine under field condition in humid tropic. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 29, n. 3: 397-400, 1994.

BLANCO, H. G., MATALLO, M. B., OLIVEIRA, D. A., BLANCO, F. M. G. Persistência do herbicida metolachlor em solos franco-argilo-arenosos cultivados com soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 24, n. 9: 1169-1174, 1989.

BLANCO, H. G., NOVO, M. C. S. S., SANTOS, C. A. L., CHIBA, S. Persistência do herbicida metribuzin em solos cultivados com soja. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 18, n. 10: 1073-1084, 1983.

BLANCO, H. G., NOVO, M. C. S. S., COELHO, R. R., CHIBA, S. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. IV. Persistência em latossolo roxo cultivado com soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, SP., 1984. Anais. p.599-606, 1984.

BLANCO, H. G., NOVO, M. C. S. S., COELHO, R. R., OLIVEIRA, D. A. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. II. Persistência em solo barrento cultivado com soja nas condições de Pirassununga, Estado de São Paulo. *O Biológico*, São Paulo, v. 47: 339-345, 1981.

BLANCO, H. G., NOVO, M. C. S. S., COELHO, R. R., OLIVEIRA, D. A. Comportamento do herbicida trifluralin em solo. III. Persistência em solo arenoso cultivado com soja na

região de Pirassununga, Estado de São paulo. *O Biológico*, São Paulo, v.48, p. 217-21, 1982.

BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A., ARAUJO, J. B. M. Período crítico de competição de uma comunidade natural de mato em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *O Biológico*, v. 44, p. 299-305, 1978.

BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A., ARAUJO, J. B. M., GRASSI, N. Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *O Biológico*, v. 38, p. 31-5, 1973.

BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A., MATALLO, M. B. Persistência do herbicida linuron em solos cultivados com soja. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 23, p. 19-25, 1988.

BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A., MATALLO, M. B. Persistência do herbicida oryzalin em solos cultivados com soja. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, Brasília: v. 23, p.1107-13, 1988b.

BLANCO, H. G., SANTOS, A. A. L., OLIVEIRA, D. A., MATALLO, M. B. Persistência do herbicida vernolate em três solos cultivados com soja. *Arqui. Inst. Biol.*, São Paulo, v. 55, n. 1/4, p. 5-10, 1988c.

BLANCO, H.G., BARBOSA, J.C., OLIVEIRA, D.A. Competição de uma comunidade natural de mato em cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*), de ano e meio. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 14. & CONGRESSO DE LA ASOCIATION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 6., 1982,Campinas,. Resumos...

BLANCO, H.G., OLIVEIRA, D.A., ARAÚJO, J.B.M. Competição entre plantas daninhas e a cultura da cana-de-açúcar. I. Período crítico de competição produzido por uma comunidade natural de dicotiledôneas em culturas de ano. *O Biológico*, São Paulo, v. 45, p. 131-40, 1979.

BLANCO, H.G., OLIVEIRA, D.A., COLETI, J.T. Competição entre plantas daninhas e a cultura da cana-de-açúcar. II. Período de competição produzido por uma comunidade natural de mato, com predomínio de gramíneas, em culturas de ano. III. Influência da competição na nutrição da cana-de-açúcar. *O Biológico*, São Paulo, v. 47, p. 77-88, 1981.

BRIGGS, G. G. Degradation in soil.In: Persistence of inseticides and herbicides. The British Crop Council, v. 17, p. 41-54, 1976.

BRIGGS, G. G. Molecular structure of herbicide and their sortion by soil. *Nature*, v. 223, n. 288. 1969.

COLETI, J. T., RODRIGUES, J.C.S., GIACOMINI, G. M. Influência da época de controle da matocompetição na produtividade de cana-de-açúcar, ciclo de 18 meses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 13. Ilheus/Itabuna, 1980. Resumos...

CHRISTOFFOLETI, P. J., CAMPOS, J. A. D., BORGES, A., ORSI JUNIOR, F. Controle da plantas daninha tiririca (*Cyperus rotundus*), na cultura da cana-de-açúcar através de herbicidas aplicados em condições de pré-emergência da cultura e da plantas daninha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 20. Florianópolis, 1995. *Resumos ...*

DAN HESS, F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: *Pesticide interactions in crop production*. CRC Press Inc, 1993, p. 13-34

DURIGAN, J. C., JR. ORSI, F., LEITE, G. J. Controle químico de plantas daninhas com o herbicida sulfentrazone, aplicado em pré-emergência na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 20. Florianópolis, 1995. *Resumos ...*

DURIGAN, J. C., VICTÓRIA FILHO, R., MATUO, T., PITELLI, R. A. Período de matocompetição na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivares Santa Rosa e IAC 2. 1 Efeitos sobre os parâmetros de produção. *Planta Daninha*, v. 6,n. 2, p. 86-100,1983

ESSER. H. O. et al.S-triazines. In: Kearney, P.C., Kaufman D. D. (Ed.) *Herbicides: Chemistry, degradation, and mode of action*. 2 ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1975, v.1, p. 129-208.

FERREIRA, C. R. R. P. T. Defensivos agrícolas: situação de mercado. *Inf. Econ. SP*, v. 30, n. 1, p. 57-60, out. 2000.

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

GUIDE FOR WEED MANAGEMENT IN NEBRASKA. ed. University of nebraska weed science, 140 p, 2000

HANCE, R. J., EMBLING, S. J. Effects of soil water content in soil solution in a pressure membrane apparatus. *Weed Res.*, v.19, p. 201-05, 1979

HANCE, R. J. Adsorption and bioavailability. In: *Environmental chemistry of Herbicides*. vol. 1. R. Grover (ed.), 1988.

HARPER, S. S. Sorption-desorption and herbicide behavior in soil. *Rev. Weed Sci.*, v.6, p. 207-25, 1994

HELLING, C. S. Movement of s-triazines herbicides in soil. *Residue Rev.*, v. 32, p. 175-210, 1970.

HOLM, G. L. , PLUCKNETT, D. L., PANCHO, J. V., HERBERGER, J. P. *World's worst weeds – distribution and biology*. Honolulu, Hawaii, Ed. University press of Hawaii, 1977.

HORMANN, W. D., KARLHUBER, B. RAMSTEINER, K. A. Soil sampling for residue analysis. Proc. E. W. R. C. Symp. Herb. Soil, p. 129-140, 1973.

ISHIKAMA, K., MAKAMURA, T, KUMATSUKA, S. Volatilization of betiocarb herbicide from the aqueous solution and soil. *Journal of Pesticide Science*. v. 2, p. 127-34, 1977.

KAUFMAN, D. D., KEARNEY, P. C. Microbial degradation of s-triazine herbicides. *Residue Rev.*, v. 32, p. 235-66, 1970

KAUFMAN, D. D., KEARNEY, P. C. Microbial transformation in the soil. In: AUDUS, L. J. *Herbicides: Physiology, biochemistry, ecology*. London: Academic Press, 1976.V. 2, p. 29-50.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA - LSPA. IBGE Rio de Janeiro v.14 n.02 p.1-76 Fev.2002.

LORENZI, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas*. 5 ed. Nova Odessa: Ed. Plantarum,1999. 299p

MADHUN, Y. A., FREED, Y. H. Impact of pesticides on the environment. In: CHENG, H. H. (Ed.) *Pesticides in the soil environment: Processes, Impacts, and modeling*. Madison: Soil Science of America, 1990. p. 429-66

MATALLO, M. B., BLANCO, H. G., OLIVEIRA, D. A., TREMOCOLDI, W. A. Persistência do herbicida imazaquin em dois solos do Estado de São Paulo com soja (*Glycine max* (L.) Merrill). ALAM, Buenos Aires, AG, 1944, 1944. Trabajos y Comunicaciones. Tomo 4: 95-109, 1994.

NASH, G. R., Dissipation from soil. In: Grover (ed.) *Enviromental chemistry of Herbicides*. vol. 1. R., p. 137-70, 1988.

NOVO, M. C. S. S., BLANCO, H. G., AMBROSIO, L. A., COELHO, R. R., GIMENEZ, R. B. F., ARCAS, J. B. Determinação de resíduos do herbicida trifluralin em latossolo roxo. *Turrialba*, Costa Rica, v.43, n.1: 66-71, 1993.

OSIPE, R., GARCIA, I., ASSIS, A. M. Eficácia e seletividade do sulfentrazone em pré-emergência, na cultura da soja (*Glycine max*). . In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 20, 1995. Florianópolis, Resumos ...

PESTEMER, W., BUNTE, D., GÜNTHER, P. Persistenz: Der bestimmende faktor für das verhalten und die wirkung von herbiziden in boden. *EWRS Simp. Factors affecting herbicidal activily and selectivity*. p. 281-288, 1988. apud ROSARIO, M. F. M. R. L. Comportamento dos resíduos de atrazina em solos portugueses. Lisboa; 1989. 437 p. Tese (doutorado) - Universidade Tecnica de Lisboa.

- PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. In: *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 1, n. 129, 1985
- REDDY, K. N., LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, and mineralization in soil from two tillage systems. *Weed Science*, v. 46, 1998
- RILEY, D. Physical loss and redistribution of pesticides in the liquid phase. The British Crop Protection Council. v. 17, p. 109-16, 1978.
- RODRIGUES, B. N., ALMEIDA, F. S. *Guia de herbicidas*. 4ª ed. Londrina, PR. 1998.
- ROLIM, J. C., CRISTOFFOLETI, J.C. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 14., & CONGRESSO DE LA ASOCIATION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 6., Campinas, 1982. *Resumos..*
- ROSARIO, M. F. M. R. L. *Comportamento dos resíduos de atrazina em solos portugueses*. Lisboa; 1989. 437 p. Tese (doutorado) - Universidade Tecnica de Lisboa.
- SANTELMANN, P. W. Herbicides bioassay In: TRUELOVE, B., (Ed.) *Research methods in weed science*, 2. ed., Southern Weed Science Society, 1977. p. 79-87.
- SEEFELDT, S. S., JENSEN, J. E., FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*. vol. 9, p, 218-227.

SMITH, A. E. Transformation in soil. In: Enviromental chemistry of Herbicides. vol. 1. R. Grover (ed.), p. 171-200, 1988.

STREIBIG, J. C. et. al. Variability of bioassay with metsulfuron-metil in soil. *Weed Reserch*, v. 35, p. 215-24, 1995

STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. *Weed Reserch*, v. 28, p. 479, 1988

SWAN, C., BEHRENS, R. Phytotoxicity of trifluralin vapors from soil. *Weed Sci.*, v. 20, p. 143-46, 1972.

SWAN, C., BEHRENS, R. Trifluralin vapors emission from soil. *Weed Sci.*, v. 20, p. 147-49, 1972a.

TOMLIN, C. *The Pesticide Manual*. (Ed.10). Croydon: The British Crop Council, 1991. p. 1341.

TSUNECHIRO, A., FERREIRA, C. R. R. P. T. Evolução das vendas de defensivos agrícolas e uso de métodos alternativos e complementares de proteção de culturas no Brasil. *O Biológico*. São Paulo, SP, v. 60, n. 1, p. 35-49, jan/jun., 1998.

- VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: Simpósio Nacional Sobre Manejo Integrado de Plantas Daninhas em Hortaliças. FCA-UNESP, Botucatu, 1992.
- WALKER, A. Evaluation of simulation model for prediction of herbicide movement and persistence in soil. *Weed Res.*, v. 27, p. 143-152, 1987.
- WALKER, A. The fate and significance of herbicide residue in soil. In: Scientific horticulture. v. 34, p. 35-47, 1983
- WALKER, A., ALLEN, J. G. Influence of soil and environmental factors on pesticide. *Soil and Crop Protection Chem.*, v. 27, p. 27, 1984.
- WEBER, J. B. Mechanism of adsorption of s-triazines by clay colloids and factors affecting plant availability. *Residue Rev.*, v. 32, p. 93-130, 1970
- WEBER, J. B., WEED, J. B., WARD, T. M. Adsorption of s-triazines by soil organic matter. *Weed Sci.*, v. 17, p. 417-21, 1969

APÊNDICE

Resumo das análises estatísticas das curvas padrão utilizada para a determinação dos modelos logísticos.

curva padrão sorgo

Análise estatística

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressao	1	13.2903	13.2903	169.778**
Residuo	12	0.9394	0.0783	
Total	13	14.2297		

curva padrão beterraba

Análise estatística

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressao	1	29.6287	29.6287	188.6803**
Residuo	6	0.9422	0.157	
Total	7	30.5709		

FOTOS ILUSTRATIVAS



Atraso no ciclo da cultura da aveia



aveia



Curva padrão e efeito das doses no desenvolvimento da planta teste beterraba.
Ensaio persistência na cultura da soja.

