

## Efeito residual de herbicidas no solo (“*Carryover*”)<sup>1</sup>

### Residual effect of herbicides in soil (*Carryover*)

Maurício Antonio Cuzato Mancuso<sup>2</sup>, Eduardo Negrisoli<sup>2</sup>, Lucas Perim<sup>2</sup>

**Resumo** - Com a finalidade de reunir os principais trabalhos relacionados com o efeito residual (“*carryover*”) de alguns herbicidas em diferentes culturas agrícolas, foi realizada a presente revisão bibliográfica. Para tanto, foram abordados alguns temas relevantes para se entender a dinâmica dos herbicidas no solo, como por exemplo constante de equilíbrio de ionização (pKa/pKb), coeficiente de partição octanol-água (Kow), solubilidade, pressão de vapor, constante da Lei de Henry (H), meia-vida e a interação entre essas propriedades. Diante desses pontos, foi realizada a revisão sobre o efeito residual de diversos herbicidas: imazaquin, imazethapyr, sulfentrazone, nicosulfuron, fomesafen, entre outros, comentando os danos causados nas culturas agrícolas e no ambiente. Também foi discutido a respeito da fitorremediação, técnica de descontaminação do solo por meio do uso de algumas espécies de plantas. Para a utilização dos herbicidas de maneira racional, é de suma importância ficar atento à escolha dos produtos para mistura, adequar a dosagem ao tipo de solo e clima, assim como entender o motivo dos problemas ocorridos e falhas de controle, a fim de reduzir o risco do impacto ambiental que o efeito residual ou *carryover* possa vir causar.

**Palavras-chave:** plantas daninhas; atividade residual; fitorremediação.

**Abstract** - The present review aimed to collect information from main studies about carryover effect of some herbicides in different crops. Therefore, some relevant subjects were discussed to better understand herbicide dynamics in soil such as the ionization equilibrium constant (pKa/pKb), octanol/water partition coefficient (Kow), solubility, vapor pressure, Henry's constant (H), half-life and the interaction among these properties. From these points, it was developed the review about the residual effects of several herbicides such as imazaquin, imazethapyr, sulfentrazone, nicosulfuron, fomesafen and other, besides pointing out damages to crops and natural environment. Phytoremediation was also discussed, as a technique of soil decontamination through cropping some plant species. For rational herbicide utilization, it is extremely important to choose appropriate products for mixtures, apply suitable doses depending on soil type and climate, as well as understand the causes of problems and control failures in order to reduce the risk of environmental impact caused by residual effects or carryover.

**Key-words:** weeds; soil residual activity; phytoremediation.

---

<sup>1</sup> Recebido para a publicação em 20/04/2011 e na forma revisada em 15/08/2011.

<sup>2</sup> UNESP–Universidade Júlio de Mesquita – Campus Botucatu, email:<macmancuso@fca.unesp.br>

## Introdução

O crescimento da população tem forçado o aumento na produção de alimentos nos últimos anos. A abertura de novas fronteiras agrícolas, a intensificação do uso do solo, a utilização de fertilizantes, de variedades melhoradas, a adoção de plantios adensados, o uso de agroquímicos, e, recentemente, a introdução de plantas transgênicas, além de

outras, são tecnologias utilizadas visando à maior produção de alimentos.

A utilização de herbicidas tem contribuído de maneira substancial para a expansão e o desenvolvimento da agricultura brasileira. Entre as classes de defensivos, o maior dispêndio financeiro fica por conta dos herbicidas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dispêndio (US\$ Milhão) de Defensivos Agrícolas por Classes no Brasil: 2003-2007.

| CLASSES     | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Herbicidas  | 1.523,7 | 1.830,7 | 1.735,8 | 1.674,3 | 2.304,1 |
| Fungicidas  | 713,5   | 1.388,2 | 1.089,5 | 917,4   | 1.264,4 |
| Inseticidas | 725,2   | 1.066,6 | 1.180,7 | 1.128,9 | 1.537,4 |
| Acaricidas  | 80,0    | 78,0    | 82,8    | 70,4    | 92,1    |
| Outros*     | 93,8    | 131,5   | 155,0   | 128,8   | 174,0   |
| Total       | 3.136,3 | 4.494,9 | 4.234,7 | 3.919,8 | 5.372,0 |

\* Outros = antibrotantes, reguladores de crescimento, óleo mineral e espalhante adesivo.

**Fonte:** Elaborada a partir de dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), diversos anos. Acessado no site da Associação Brasileira de Marketing Rural e Agronegócios em 26/10/2009.

O solo é o destino final dos produtos químicos usados na agricultura, sejam eles aplicados diretamente no solo ou aplicados na parte aérea das plantas. Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam seu destino no ambiente.

Devido à necessidade de uso racional dos insumos agrícolas para minimizar os impactos ambientais da agricultura, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de compreender o comportamento de herbicidas no solo. No entanto, pouco se sabe a respeito do comportamento desses pesticidas em solos tropicais. A correlação entre as características inerentes a esses solos, como a presença de cargas dependentes de pH, a predominância de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, além da grande importância da matéria orgânica na CTC total, definem a dinâmica desses produtos no solo, sendo que o destino de herbicidas no ambiente é

escassamente abordada em trabalhos publicados até o momento.

Verifica-se que os sistemas adotados em parte por alguns produtores encontram-se baseados simplesmente no controle químico com herbicidas preestabelecidos, não considerando as condições específicas locais, como solo, clima, cultivar ou mesmo o sistema rotacional de cultivo utilizado. Logo, um dos grandes problemas constatados nos diversos cultivos tem sido a intoxicação das plantas causada por herbicidas utilizados durante o ciclo da cultura ou, ainda, por aqueles pulverizados em culturas antecessoras e que possuem efeito residual no solo, comprometendo, portanto, a produtividade. Assim, a compreensão da dinâmica dos herbicidas no solo em função das características do clima, do solo e do próprio herbicida é fundamental para a adoção do manejo integrado de plantas daninhas no cultivo da safra e nas culturas em sucessão.

Uma das principais dúvidas das pessoas envolvidas com a recomendação e aplicação de herbicidas é sobre a dinâmica dos produtos no solo, e os fatores que afetam esta dinâmica (Christoffoleti & López-Ovejero, 2005).

Diante do exposto, objetivou-se, mediante a presente revisão bibliográfica, reunir os principais trabalhos relacionados com o efeito residual (*carryover*) de alguns herbicidas, em diferentes culturas agrícolas, bem como relatar os processos e propriedades envolvidos (constante de equilíbrio de ionização ( $pK_a/pK_b$ ), coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), solubilidade, pressão de vapor, constante da Lei de Henry ( $H$ ), meia-vida e a interação entre essas) e a abordagem de uma solução: a fitorremediação.

### Dinâmica dos herbicidas no solo

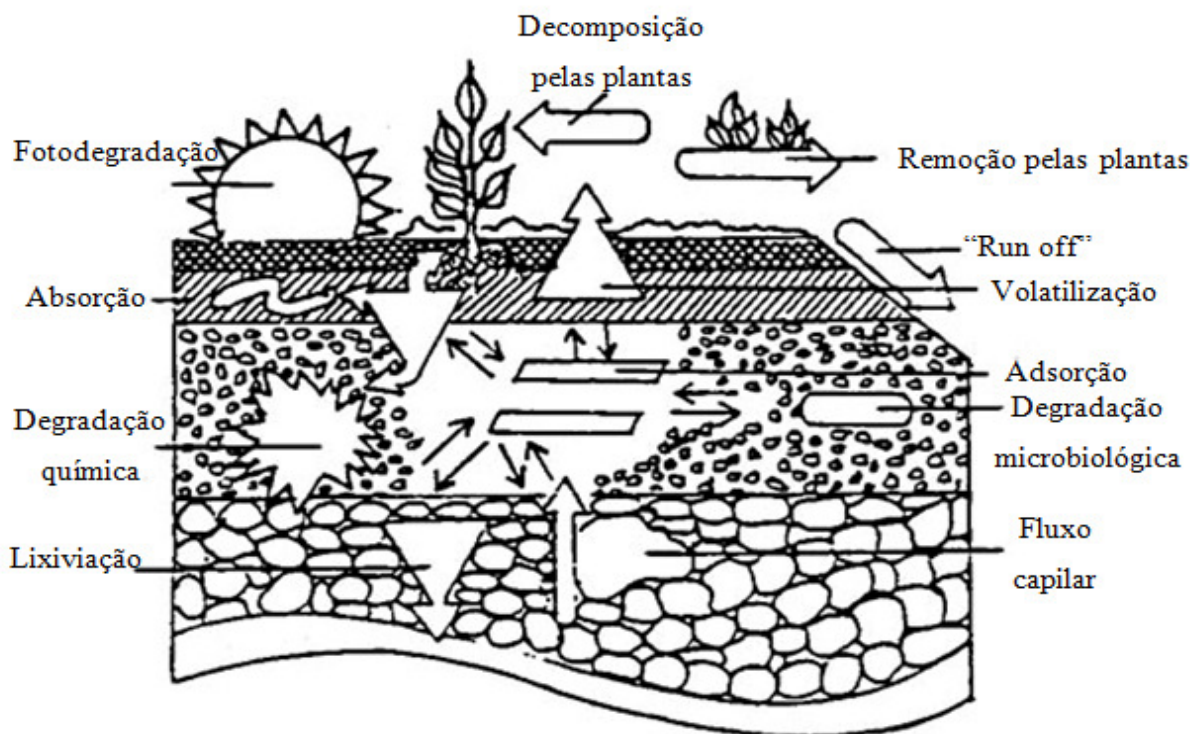
Antes de falar propriamente de efeito residual ou *carryover*, é necessário esclarecer

alguns pontos, que serão abordados neste e nos tópicos a seguir.

Partindo da idéia que o efeito residual de herbicidas está intimamente ligado à dinâmica destes no solo, faz-se necessário entender como esses se dissipam no ambiente, bem como os processos envolvidos.

O processo de dissipação de herbicidas no ambiente está relacionado com as propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, com as condições climáticas, com o manejo e com o sistema de cultivo utilizado (Clay, 1993; Niekamp & Johnson, 2001).

Entre os processos envolvidos após a aplicação dos herbicidas está a retenção (sorção (adsorção e absorção)), transformação (degradação química e/ou biológica), transporte (deriva, volatilização, lixiviação e escoamento superficial) e a interação entre todos esses processos (Figura 1).



**Figura 1.** Destino dos pesticidas aplicados na agricultura. Appleby & Dawson (1994).

Muito do herbicida aplicado é perdido absorvido pelas plantas-alvo. nesses processos (Tabela 2), sendo pouco

**Tabela 2.** Perdas totais máximas de herbicidas.

| Processos                | Perdas totais máximas (%) |
|--------------------------|---------------------------|
| Volatilização            | 10 a 90 (40 a 80)*        |
| Lixiviação               | 0 a 4 (1)                 |
| Escorrimento superficial | 0 a 10 (5)                |
| Absorção pelas plantas   | 1 a 10 (2 a 5)            |

Oliveira Jr. (2002), Plimmer (1992). \*Valores entre parênteses representam a média.

Para minimizar as perdas ou mesmo o efeito residual danoso dos herbicidas no ambiente, é necessário estudar as propriedades físico-químicas desses.

O conhecimento das principais propriedades físico-químicas das moléculas de herbicidas é muito utilizado no estudo de seu comportamento no ambiente, o que permite uso mais racional dos mesmos (Oliveira, 2001).

### Constante de equilíbrio de ionização (pKa/pKb)

Relaciona-se com a possibilidade de ionização das moléculas em soluções com diferentes valores de pH (Oliveira, 2001).

Segundo o mesmo autor, herbicidas ácidos são aqueles cujas formas moleculares (neutras) são capazes de doar um próton e formar íons carregados negativamente. Quanto maior for o valor do pKa do herbicida, mais fraca é a sua força ácida, logo menor a chance do herbicida ficar aniônico. Para esses herbicidas, se o pH da solução do solo for igual ao pKa do herbicida, as concentrações das formas não dissociada (molecular) e dissociada (ionizada, nesse caso aniônica) são iguais. Se o pH da solução do solo for menor que o pKa do herbicida, a concentração da forma não dissociada será maior que a da forma dissociada ou aniônica.

O herbicida ficando na forma original (neutra) terá comportamento semelhante às substâncias não iônicas. Por outro lado, se o pH

da solução solo for maior que o pKa do herbicida, a concentração da forma não dissociada (molecular) será menor que a da forma aniônica. Isso ocorre principalmente com uma ou mais unidades de pH acima do valor do pKa do herbicida ácido. O herbicida ficando na forma aniônica terá mais chances de ser transportado livremente através da solução do solo, a não ser que ele forme reações de complexação.

Também segundo Oliveira (2001), herbicidas básicos são aqueles cujas formas neutras (moleculares) são capazes de receber prótons e formar íons carregados positivamente. Para os herbicidas básicos, quanto maior for o valor de pKb do herbicida (ou menor valor de pKa), mais fraca é a sua força básica, isto é, menor a chance do herbicida ficar catiônico. Se o pH da solução for igual ao pKa do herbicida a concentração das formas não dissociada (molecular ou neutra) e associada (catiônica ou protonada) são iguais.

Por outro lado, se o pH da solução do solo for menor que o pKa do herbicida, a concentração da forma catiônica (protonada) será maior do que a forma neutra. Isto ocorre principalmente com uma ou mais unidades de pH abaixo do valor do pKa do herbicida básico. Nestas condições, o herbicida tem grandes probabilidades de ficar adsorvido aos componentes do solo e não ser transportado para outras partes do ambiente. Mas, se o pH da

solução for maior que o pKa do herbicida básico, a concentração da forma neutra será maior que da forma protonada ou catiônica. Os herbicidas que não doam e nem recebem prótons em solução são considerados não iônicos, permanecendo em sua forma molecular em solução. Na Tabela 3 estão alguns exemplos de herbicidas, classificados segundo sua categoria química.

**Tabela 3.** Categoria química dos herbicidas.

| Categoria Química    | Grupo Químico                                 | Sorção           |
|----------------------|---|------------------|
| Não iônicos          | Dinitroanilinas (trifluralina, pendimethalin) | Moderada a alta  |
|                      | Tiocarbamatos (MSMA)                          | Baixa a moderada |
|                      | Cloroacetamidas (alachlor, metolachlor)       | Baixa            |
|                      | Uréias substituídas (diuron, tebuthiuron)     | Baixa a Alta     |
|                      | Isoxazolidinona (isoxaflutole, clomazone)     | Baixa            |
| Ácidos (aniônicos)   | Fenoxis/benzóicos/picolínicos (2,4-D)         | Muito Baixa      |
|                      | Imidazlinonas (imazapic, imazapyr)            | Muito Baixa      |
|                      | Sulfoniluréias (trifloxysulfuron)             | Muito Baixa      |
|                      | Glyphosate                                    | Muito Alta       |
| Básicos (catiônicos) | Aril triazolinonas (sulfentrazone)            | Baixa            |
| Fortemente Básicos   | Triazinas (ametrina, hexazinona)              | Baixa a alta     |
|                      | Dipiridiluns (paraquat)                       | Muito Alta       |

Christoffoleti & López-Ovejero (2005).

### Coefficiente de partição octanol-água (Kow)

Refere-se à medida da intensidade da afinidade da molécula pela fase polar (representada pela água) e apolar (representada pelo 1-octanol). É uma medida da lipofilicidade da molécula. Valores de Kow são adimensionais, sendo expressos normalmente na forma logarítmica (log Kow) e é constante para certa molécula a uma dada temperatura

(Tabela 4) (Oliveira, 2001). Quanto maior o Kow, maior a adsorção e maior a persistência do herbicida no solo, favorecendo assim a ocorrência do efeito residual ou *carryover*. Em contrapartida, quanto menor o Kow, maior a solubilidade do herbicida e menor sua sorção no solo, facilitando assim a movimentação desses em direção à região de germinação das plantas daninhas.

**Tabela 4.** Valores de Kow e lipofilicidade.

| Log Kow | Kow        | Lipofilicidade            |
|---------|------------|---------------------------|
| <0,1    | <1         | Hidrofílico               |
| 0,1 a 1 | 1 a 10     | Medianamente lipossolúvel |
| 1 a 2   | 10 a 100   | Lipofílico                |
| 2 a 3   | 100 a 1000 | Muito Lipofílico          |
| >3      | >1000      | Extremamente lipofílico   |

Vidal (2002).

### Solubilidade em água

Esta propriedade indica a quantidade máxima de uma molécula que se dissolve em

água pura a uma determinada temperatura. A solubilidade em água pode ser considerada como a partição de uma molécula entre ela

mesma e a água. Quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos a substância possuir (mais polar), maior será sua afinidade pela água, logo, maior sua solubilidade. Seu valor é expresso em miligramas do herbicida por litro de água (normalmente a 25°C) (Oliveira, 2001).

As moléculas na fase líquida tendem a escapar desta fase e passar para a fase gasosa (volatilização). É dividida em quatro classes, conforme exposto na Tabela 5. Quanto maior a pressão de vapor, maior a volatilização do herbicida.

### Pressão de vapor (P)

**Tabela 5.** Classificação dos herbicidas em relação à Pressão de Vapor.

| Classe | Categoria          | P.V. (mmHg)         |
|--------|--------------------|---------------------|
| 1      | Não Volátil        | $< 10^{-8}$         |
| 2      | Pouco Volátil      | $10^{-7} - 10^{-5}$ |
| 3      | Mediamente Volátil | $10^{-4} - 10^{-3}$ |
| 4      | Muito Volátil      | $> 10^{-2}$         |

Alves (2008).

### Constante da lei de Henry (H)

É um coeficiente de partição entre o ar e a água (solução do solo). Sua determinação é importante para os herbicidas na fase líquida do solo, podendo ser utilizado na indicação do potencial de volatilização de determinados herbicidas. Valores elevados de H são indicativos de herbicidas altamente voláteis (Procópio et al., 2001).

### Meia vida ( $T_{1/2}$ )

O tempo necessário para que ocorra a dissipação de 50% da quantidade inicial aplicada do herbicida (Procópio et al., 2001).

### Interação das propriedades

Assim como os herbicidas apresentam suas propriedades físico-químicas, o solo tem diversas características que influenciam na dinâmica dos herbicidas no solo. Entre elas, pode-se citar a textura, mineralogia, matéria orgânica, pH, capacidade de retenção de água (umidade), potencial redox (Eh) e atividade microbiológica. Esses interagem entre si, além de interagirem com as propriedades de cada herbicida.

### Umidade

A baixa umidade do solo no momento da aplicação do herbicida também pode afetar o processo de sorção deste. Conforme Procópio et al. (2001) teores menores de água no solo favorecem a ligação das moléculas do herbicida à fase sólida, reduzindo a sua mobilidade no perfil do solo.

### Herbicida ideal

O herbicida ideal seria aquele que efetuasse o controle de plantas daninhas com a maior eficiência possível e logo depois se dissipasse sem deixar vestígios e sem ocasionar nenhum dano ao ambiente, cumprindo assim também o seu segundo objetivo (Oliveira Jr., 2001).

Devido à elevada utilização de herbicidas nos cultivos agrícolas brasileiros, tem-se observado maior preocupação quanto à contaminação do ambiente e à utilização racional dos recursos hídricos e do solo. Entre os efeitos diretos percebidos pelos produtores estão os sintomas de intoxicação e a redução de produtividade das culturas, ocasionados por herbicidas de ação residual. Sua permanência e degradação no solo são processos chave na

determinação do seu efeito residual, sendo fundamentais para avaliar a eficiência de controle das plantas daninhas (Hinz, 2001).

### Carryover

Os herbicidas residuais são aqueles que apresentam um maior período de atividade. Entretanto, esses herbicidas podem apresentar um efeito residual (*carryover*), que pode acarretar impacto ambiental negativo. Segundo Oliveira (2001), efeito residual é a habilidade que um herbicida tem para reter a integridade de sua molécula e, conseqüentemente, suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente.

O potencial de *carryover* depende do herbicida utilizado, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação de herbicidas. O planejamento da sucessão de culturas deve ser criterioso para evitar este problema, sendo que a situação ideal deve ser o controle com efeito residual até o “fechamento” da cultura.

Johnson & Talbert (1996), ao avaliarem o efeito residual de imazaquin, demonstraram que resíduos desse herbicida no solo causaram toxicidade às culturas de melão, pepino, girassol e mostarda, até quando semeadas aos 112 dias após aplicação. Em trabalhos realizados durante três anos consecutivos, Walsh et al. (1993) também avaliaram os efeitos residuais no solo de imazaquin, utilizado na cultura da soja, sobre as culturas sucessivas de trigo, milho, sorgo e algodão. Constataram que o herbicida, na maior dosagem, causou injúria em algodão, sem, no entanto, afetar a produtividade. Renner et al. (1988) também detectaram prejuízos para o crescimento e produtividade da cultura do milho plantada após a aplicação de imazaquin em soja.

Quando o imazaquin é aplicado no solo, existe a recomendação, em países de clima temperado, de que o período de tempo entre a aplicação e o plantio de culturas subsequentes

varie de 11 (sorgo, tabaco, feijão, soja) até 26 meses (beterraba açucareira) (Bhalla et al., 1991). Danos ao milho semeado um ano após a aplicação de imazaquin têm sido observados, em alguns casos inclusive com redução na produtividade, em experimentos com condições semelhantes: em Belleville, IL (EUA) onde o solo apresentava 10% argila, 13,8% areia, 76,2% silte e 1,5% de M.O. (Krausz et al., 1994), e outro, realizado por Curran et al. (1991), em Monmouth, IL, sendo o solo do local franco (siltoso). O clima, de acordo com Köppen, é classificado como continental úmido (Dfa) para ambas as cidades.

Já Oliveira et al. (1996) comenta que o consecutivo incremento da área de plantio do chamado “milho safrinha”, após o cultivo de verão, torna-se de grande importância investigar a possibilidade de aparecimento de *carryover* dos herbicidas aplicados na cultura da soja, como é o caso do imazaquin. Diante disso, Rodrigues & Almeida (1998) recomendam um intervalo de 300 dias entre a aplicação do imazaquin e a semeadura do milho em rotação.

O herbicida imazethapyr, do grupo das imidazomionas (mesmo grupo do imazaquin), tem a persistência influenciada por propriedades do solo como o pH, a textura (Loux & Reese, 1992, 1993), a umidade (Baughman & Shaw, 1996) e o teor de matéria orgânica (Stougaard et al., 1990). O imazethapyr pode prejudicar o girassol semeado em sucessão à cultura da soja. Outros cultivos como pepino, espinafre, brássicas e beterraba são também sensíveis ao resíduo desse produto (Jourdan & Ayeni, 1998). De acordo com Rodrigues & Almeida (1998), não é recomendado cultivar o milho em sucessão à soja onde foi aplicado imazethapyr.

Brighenti et al. (2002), trabalhando com aplicação dos herbicidas citados acima (imazaquin e imazethapyr), na cultura do girassol, obtiveram os resultados apresentados na Tabela 6. Os autores constataram que houve

redução na população de plantas de girassol aos 60 dias após a aplicação (DAA) do imazaquin. Quanto ao imazethapyr, houve redução na população de plantas de girassol na semeadura realizada aos 45 DAA. Entretanto, aos 75 DAA o resíduo deste herbicida não mais afetou esta característica.

**Tabela 6.** População de plantas (PP), peso de mil aquênios (1000 Aq), teor de óleo (TÓ), rendimento de óleo (Ó) e produtividade (Gr.) da cultura do girassol, em função da aplicação dos herbicidas, em duas épocas de semeadura do girassol. Montividiu, GO, 1999/2000.

| DAA                          | Herbicida                              | PP<br>(x10 <sup>3</sup> ) ha <sup>-1</sup> | 1000 Aq<br>(g) | TÓ<br>(%) | Ó<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Gr.<br>(Kg ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------|--|--|----------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------|
| Semeadura em 14 de Janeiro   |  |  |                |           |                             |                               |
| 60                           | Testemunha                             | 37,1A                                      | 62,3a          | 44,5a     | 962,1a                      | 2.159,5a                      |
| 60                           | Imazaquin<br>(150 g ha <sup>-1</sup> ) | 26,9b                                      | 62,2a          | 42,7b     | 526,2c                      | 1.232,5c                      |
| 45                           | Imazethapyr<br>(70g ha <sup>-1</sup> ) | 29,8b                                      | 64,0a          | 43,8ab    | 763,7b                      | 1.740,9b                      |
| Semeadura em 14 de fevereiro |  |  |                |           |                             |                               |
| 90                           | Testemunha                             | 46,8a                                      | 63,8a          | 42,1a     | 909,4a                      | 2.157,2a                      |
| 90                           | Imazaquin<br>(150 g ha <sup>-1</sup> ) | 45,5a                                      | 67,0a          | 41,6a     | 949,1a                      | 2.279,1a                      |
| 75                           | Imazethapyr<br>(70g ha <sup>-1</sup> ) | 49,6a                                      | 63,5a          | 42,5a     | 979,0a                      | 2.298,6a                      |
| CV %                         |  | 9,5  | 4,5            | 1,6       | 11,2                        | 11,0                          |

Em cada coluna e para cada data de semeadura, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (DAA = Dias após aplicação). (Brighenti et al., 2002).

O resíduo do imazaquin reduziu o teor de óleo somente na primeira época de semeadura do girassol. O rendimento de óleo e a produtividade do girassol foram reduzidos, em razão dos herbicidas imazaquin e imazethapyr na primeira época de semeadura. Com isso, os autores concluem que o girassol, semeado aos 90 e 75 após a aplicação desses herbicidas na soja, não apresenta sintomas de fitotoxicidade.

Com relação ao fomesafen, herbicida amplamente utilizado na cultura do feijão, há necessidade de cuidados para as culturas em

sucessão, pois seu efeito residual no solo afeta culturas sensíveis como o milho e sorgo, necessitando de intervalo mínimo de 90 a 210 dias após aplicação, conforme resultados constatados por Jakelaitis et al. (2006).

O fomesafen, quando misturado comercialmente com o fluzifop-p-butil, apresenta um longo efeito residual no solo (Cobucci et al., 1998), sendo o que plantio posterior de culturas sensíveis, como o milho e o sorgo, apresenta necessidade de intervalo mínimo de 150 dias após aplicação, podendo variar conforme o clima e a textura do solo (Rodrigues & Almeida, 2005). Alguns



experimentos foram realizados por Silva et al. (2007) em plantas-teste e dois tipos de solo utilizando esse produto, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores médios da matéria seca da parte aérea e das raízes de plantas-testes cultivadas em amostras de solos do tipo ARGISSOLO AMARELO (com e sem aplicação de fluazifop-p-butyl + fomesafen – PAH e PA, respectivamente) e LATOSSOLO AMARELO (com e sem aplicação do herbicida – LA e LAH, respectivamente).

| Plantas teste | Matéria Seca da Parte Aérea (g) |        |        |        | Matéria Seca das Raízes (g) |        |        |        |
|---------------|---------------------------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|
|               | PA                              | PAH    | LA     | LAH    | PA                          | PAH    | LA     | LAH    |
| Abóbora       | 2,96 a*                         | 2,54 a | 1,52 b | 1,77 b | 0,62 a                      | 0,51 a | 0,43 a | 0,50 a |
| Pepino        | 1,79 a                          | 2,11 a | 1,28 b | 1,18 b | 0,58 a                      | 0,61 a | 0,50 a | 0,36 b |
| Milho         | 1,78 a                          | 2,07 a | 1,34 b | 1,24 b | 1,07 a                      | 1,14 a | 1,13 a | 1,15 a |
| Maracujá      | 2,92 ab                         | 3,46 a | 2,43 b | 2,74 b | 1,06 b                      | 0,90 b | 1,12 a | 0,76 b |

\*Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. (Silva et al., 2007).

Os autores observaram, a partir dos resultados obtidos na Tabela 7, que as plantas cultivadas no Latossolo Amarelo apresentaram menor valor de matéria seca da parte aérea, se comparadas com as cultivadas em Argissolo Amarelo. As médias da matéria seca das raízes nas culturas de abóbora, pepino e milho não apresentaram diferença significativa entre os solos avaliados, assim como entre as áreas que receberam a aplicação da mistura comercial ou as isentas desta. Contudo, quando se comparou o Latossolo Amarelo, coletado da área sem aplicação do herbicida, com o coletado da área que recebeu a mistura comercial, verificou-se redução de 38% da matéria seca das raízes de mudas de maracujá, o que não se constatou para o solo do tipo Argissolo Amarelo, sendo este o resultado mais extremo.

Diversos experimentos demonstram que o trifluralin pode permanecer no solo até a estação seguinte de cultivo, em concentrações capazes de causar danos a culturas susceptíveis como milho (Fink, 1972 e Oliveira et al., 1996), sorgo (Abernathy & Keeling, 1979), arroz (Brewer et al., 1982) e trigo (Corbin et al., 1994).

Em relação ao diclosulam, recomenda-se um período mínimo de dezoito meses entre

sua aplicação e a semeadura do girassol em sucessão (EMBRAPA, 1999). Brighenti et al. (2002) constataram que o diclosulam causa redução total do estande de girassol aos 75 e 90 dias após a aplicação. Já Dan et al. (2010) observaram que, após a aplicação desse mesmo herbicida, as folhas das plantas de sorgo apresentaram clorose internerval que evoluíram para pequenas manchas na forma de estrias, sendo esses efeitos mais evidentes aos 28 DAE. Além disso, a aplicação do herbicida também causou redução de peso das plantas avaliadas aos 30 DAE.

Resíduos no solo do picloram podem resultar em sintomas de intoxicação à soja e feijão, cultivados em sucessão, após a renovação da pastagem (Carmo et al., 2008).

Carvalho et al. (2010), trabalhando com a avaliação do efeito residual dos herbicidas nicosulfuron isolado e nicosulfuron + atrazine nas culturas da soja, feijão, algodão, pepino, girassol e arroz, constataram diversos problemas de fitotoxicidade. Os autores observaram que todas as culturas estudadas sofreram algum tipo de efeito causado pelos herbicidas até 15 dias após a semeadura, diminuindo gradualmente aos 30 e 45 dias após a semeadura. É importante salientar que todos os sintomas de fitotoxicidade já eram esperados

devido a não seletividade dos herbicidas utilizados às culturas estudadas. Através dos resultados, os autores definiram períodos “seguros” para se realizar a semeadura dessas culturas: feijão, pepino e girassol podem ser semeados 30 dias após a aplicação dos herbicidas estudados; a soja de 15 a 30 dias após a aplicação; o algodão 60 dias após a aplicação de nicosulfuron e 45 dias após a aplicação de nicosulfuron + atrazine; e o arroz 60 dias após aplicação dos herbicidas em questão.

Em um estudo sobre a atividade residual de herbicidas utilizados no controle de plantas daninhas na cultura da soja para avaliar seus efeitos no sorgo granífero cultivado em sucessão, Dan et al. (2010) encontraram que os resíduos do herbicida flumioxazin conferiram os menores níveis intoxicação ao sorgo. Já os resíduos do herbicida sulfentrazone, nesse mesmo trabalho, causaram clorose nas plantas de sorgo aos 7 dias após a emergência (DAE), tendo os sintomas progredido e causando necrosamento nas folhas jovens aos 15 DAE. Outro resultado interessante do trabalho diz

respeito à elevada redução no acúmulo de matéria seca da parte aérea em relação à testemunha (52,3%), em consequência do efeito residual de sulfentrazone, até mesmo quando o sorgo foi semeado 115 dias após a aplicação do herbicida. Além disso, os efeitos negativos causados pelo sulfentrazone no acúmulo de fotoassimilados refletiram na produtividade da cultura do sorgo, proporcionando uma redução de aproximadamente 1.000 kg ha<sup>-1</sup>.

### Fitorremediação

A fitorremediação vem sendo difundida como alternativa de grande interesse, por apresentar possibilidade de remediação *in situ* de contaminantes inorgânicos e orgânicos no solo e na água (Susarla et al., 2002), ser de baixo custo (Newman et al., 1998) e, ainda, porque as plantas despoluidoras, não raro, resultam em benefícios adicionais além da própria remediação, principalmente quando são leguminosas (Pires et al., 2006).

**Tabela 6.** Fitotoxicidade de espécies vegetais cultivadas em solo contaminado com diferentes doses de picloram, 84 dias após a aplicação. Rio Verde (GO), 2006.

| Espécie vegetal                         | Dosagens de picloram (g ha <sup>-1</sup> ) |             |             |             |             | M           |
|---|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | 0  | 80          | 160         | 320         | 640         |             |
|   | Fito-intoxicação (%)                       |             |             |             |             |             |
| <i>B. brizantha</i> (cv. Marandu)       | 0,0a                                       | 15,7d       | 63,0b       | 81,8a       | 89,5a       | 50,0        |
| <i>B. decumbens</i>                     | 0,0a                                       | 3,3e        | 20,0d       | 45,7c       | 67,8b       | 27,3        |
| <i>B. ruziziensis</i>                   | 0,0a                                       | 4,7e        | 23,0d       | 41,3c       | 85,5a       | 30,9        |
| <i>P. maximum</i> (cv. Mombaça)         | 0,0a                                       | 11,7d       | 36,3c       | 50,3c       | 88,3a       | 37,3        |
| <i>P. maximum</i> (cv. Tanzânia)        | 0,0a                                       | 7,7d        | 25,3d       | 60,3b       | 80,5a       | 34,8        |
| <i>E. coracana</i>                      | 0,0a                                       | 0,0f        | 19,0d       | 44,3c       | 47,7c       | 22,2        |
| <i>P. glaucum</i> (milheto cv. ADR-300) | 0,0a                                       | 6,0e        | 30,3c       | 48,5c       | 53,3c       | 27,6        |
| <i>P. atratum</i> (capim-pojuca)        | 0,0a                                       | 11,0d       | 39,5c       | 78,0a       | 97,0a       | 45,1        |
| <i>Z. mays</i> (híbrido Coodetec 208)   | 0,0a                                       | 2,0e        | 8,7e        | 19,3d       | 22,0d       | 10,4        |
| <i>C. ensiformis</i> (feijão-de-porco)  | 0,0a                                       | 39,3b       | 95,3a       | 100,0a      | 100,0 a     | 66,9        |
| <i>S. aterrimum</i> (mucuna-preta)      | 0,0a                                       | 90,3a       | 100,0a      | 100,0a      | 100,0a      | 78,1        |
| <b>MÉDIA</b>                            | <b>0,0</b>                                 | <b>13,5</b> | <b>34,6</b> | <b>55,3</b> | <b>74,6</b> | <b>35,6</b> |

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. (M = média). (Carmo et al., 2008).

Diversos exemplos de eficiência da fitorremediação de herbicidas, principalmente atrazina, foram obtidos empregando-se a planta daninha *Kochia scoparia* (Anderson et al., 1994; Perkovich et al., 1996; Kruger et al., 1997; Arthur et al., 2000). Todavia, essa espécie apresenta restrições por ser de difícil controle (Anderson et al., 1994), representando sério risco a sua introdução em uma nova área. Em razão disso, é desejável a seleção de espécies que, além de fitorremediarem o contaminante, também sejam de fácil controle posterior, como ocorre com algumas espécies utilizadas para adubação verde.

Existem outros exemplos de plantas que podem ser utilizadas como fitorremediadoras. Após etapas de seleção, *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta) e *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) foram capazes de reduzir os níveis do herbicida trifloxysulfuron-sódio no solo (Santos et al., 2004; Procópio et al., 2005a,b, 2006, 2007).

Para reduzir a fitotoxicidade do herbicida picloram, Carmo et al. (1998) utilizaram diversas espécies de plantas (Tabela 8). Constataram que o milho híbrido Coodetec 208 apresentou menores sintomas de fitotoxicidade, enquanto que a mucuna-preta foi a espécie mais afetada.

### Considerações finais

Para compreender o comportamento dos herbicidas no solo e utilizá-los de maneira racional, é de fundamental importância a escolha dos produtos e suas respectivas dosagens para mistura ou aplicação isolada, tomando-se o devido cuidado quanto ao tipo de solo e clima nos quais serão utilizados, assim como entender o motivo dos problemas ocorridos e prevenir falhas de controle, a fim de reduzir o risco do impacto ambiental que o efeito residual (*carryover*) possa vir a causar, além de minimizar problemas de fitotoxicidade e perdas em culturas subsequentes. Apesar

dessas precauções, existem métodos eficazes na recuperação de solos contaminados, como é o caso da fitorremediação.

### Referências

ABERNATHY, J.R.; KEELING, J.W. Efficacy and rotational crop response to levels and dates of dinitroaniline herbicide applications. **Weed Science**, v.27, n.3, p.312-317, 1979.

ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes períodos de seca na soqueira de cana-de-açúcar**. 2008. 126p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

ANDERSON, T.A.; KRUGER, E.L.; COATS, J.R. Enhanced degradation of a mixture of three herbicides in the rhizosphere of a herbicide tolerant plant. **Chemosphere**, v.28, n.8, p.1551-1557, 1994.

APPLEBY, A.P.; DAWSON, J.H. Microbial and non-microbial breakdown of herbicides in soil. In: Intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soils. West Lafayette, Indiana, USA. West Lafayette: Purdue University. **Departments of Horticulture, Agronomy, Botany and Plant Pathology, and Forestry and Natural Resources**. p.446-462, 1994.

ARTHUR, E.L. et al. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide-contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.119, n.1-4, p.75-90, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MARKETING RURAL & AGRONEGÓCIOS - ABMR&A. **“Safrá 2008-2009: Tendências e Desafios - Defensivos Agrícolas.”** Disponível em: < <http://www.abmr.com.br>>. Acesso em 26 out. 2009.

- BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v. 44, n.2, p.380-382, 1996.
- BHALLA, P. et al. Imazaquin herbicide. In: SHANER, D.L.; O'CONNOR, S.L. (ed.). **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p.237-245.
- BREWER, F.; LAVY, T.L.; TALBERT, R.E. Effect of three dinitroaniline herbicides on rice (*Oryza sativa*) growth. **Weed Science**, v. 30, n.2, p.153-158, 1982.
- BRIGHENTI, A.M. et al. Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, p.559-565, 2002.
- CARMO, M.L. et al. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, 26, n.2, p. 301-313, 2008.
- CARVALHO, F.T.; MORETTI, T.B.; SOUZA, P.A. Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.9, n.1, p. 26-34, 2010.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPES-OVEJERO, R.F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: BASF, 2005. 49p.
- CLAY, D.V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, 1993. p.153-172.
- COBUCCI, T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**, v.46, n.2, p.258-263, 1998.
- CORBIN JR, B.R. et al. Dissipation of fluometuron and trifluralin residues after long-term use. **Weed Science**, v.42, n.3, p.438-445, 1994.
- CURRAN, W.S.; KNAKE, E.L.; LIEBL, R.L. Corn (*Zea mays*) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v.5, n.3, p.539-544, 1991.
- DAN, H.A. et al. Residual activity of herbicides used in soybean on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, v.28, n.spe., p.1087-1095, 2010.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. Londrina: EMBRAPA, 1999. 226p. (Documentos, 132).
- FINK, R.J. Effects of tillage method and incorporation on trifluralin carryover injury. **Agronomy Journal**, v.64, n.1, p.75-77, 1972.
- HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, v.99, n.3-4, p.225-243, 2001.
- JAKELAITIS, A. et al. Atividade Residual no Solo da Mistura Comercial dos Herbicidas Fluazifop-P-Butil e Fomesafen Utilizados no Cultivo Convencional e Direto do Feijoeiro, **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.533-540, 2006.
- JOHNSON, D.H.; TALBERT, R.E. Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to mazaquin and imazethapyr soil residues. **Weed Science**, v.44, n.1, p.156-161, 1996.
- JOURDAN, S. W.; AYENI, A. O. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. **Weed Science**, v.46, n.5, p.608-613, 1998.
- KRAUSZ, R.F.; KAPUSTA, G.; MATTHEWS, J.L. Soybean (*Glycine max*) and rotational crop response to PPI chlorimuron, clomazone, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v.8, n.2, p.224-230, 1994.
- KRUGER, E.L. et al. Atrazine degradation in pesticide-contaminated soils: phytoremediation potential. In: KRUGER, E.L.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. (eds.). **Phytoremediation of soil and water contaminants**. Washington:

- American Chemical Society, 1997. p.54-64. (ACS Symposium Series).
- LAW, S.E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal of Electrostatics**, v.51, n.1, p.25-42, 2001.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and *carryover* of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, n.2, p.452-458, 1993.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v.40, n.3, p.490-496, 1992.
- NEWMAN, L.A. et al. Phytoremediation of organic contaminants: A review of phytoremediation research at the University of Washington. **Journal of Soil Contamination**, v.7, n.4, p.531-542, 1998.
- NIEKAMP, J.W.; JOHNSON, W.G. Weed management with sulfentrazone and flumioxazin in no-tillage soybean (*Glycine max*). **Crop Protection**, v.20, n.3, p.215-220, 2001.
- OLIVEIRA JR, R.S. Comportamento de herbicidas em solos do Brasil. In: REUNIÃO DE PESQUISADORES EM CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NOS CERRADOS, 14, 2002, Goiânia, GO. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p.27-57.
- OLIVEIRA JR, R.S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 2, p.9-13, 2001.
- OLIVEIRA, M.F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, Porto Alegre, RS, 2001. 362p.
- OLIVEIRA, V.R. et al. Efeito do herbicida trifluralin sobre a germinação de sementes e o índice mitótico em raízes de milho (*Zea mays* L.). **Revista Unimar**, v.18, n.2, p.537-544, 1996.
- PERKOVICH, B.S. et al. Enhanced mineralization of [<sup>14</sup>C] atrazine in *Kochia scoparia* rhizosferic soil from a pesticidecontaminated site. **Pesticide Science**, v.46, n.2, p.391-396, 1996.
- PIRES, F.R. et al. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebutiuron. **Caatinga**, v.19, n.1, p.92-97, 2006.
- PLIMMER, J.R. Dissipation of pesticides in the environment. In: SCHNOOR, J.L. (ed.). **Fate of pesticides and chemicals in the environment**. John Wiley & Sons, New York, p.79-90, 1992.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron-sodium after *Stizolobium aterrimum* and *Canavalia ensiformis* cultivation. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.87-96, 2007.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.719-724, 2005a.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.444-449, 2006.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v.23, n.1, p. 9-16, 2005b.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Sorção do herbicida atrazine em complexos organominerais. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.391-400, 2001.
- RENNER, K.A.; MEGGIT, W.F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and

phytotoxicity to corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v.36, n.1, p.78- 83, 1988.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas**. 5. ed., Londrina: Edição dos Autores, 2005. 591 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas**. 4. ed., Londrina: Edição dos Autores, 1998. 648p.

SANTOS, J.B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.223-330, 2004.

SILVA, C.M.M.; FREITAS, S.P.; ROSA, R.C.C. Efeito residual da aplicação de fluazifop-p-butil + fomesafen em solos com plantas-teste. **Ciência Rural**, v.37, n.5, p.1450-1452, 2007.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, n.1, p.67-73, 1990.

SUSARLA, S.; MEDINA, V.F.; McCUTCHEON, S.C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, v.18, n.5, p.647-658, 2002.

VIDAL, R.A. **Ação dos herbicidas**. Porto Alegre: Edição do Autor, 2002. 89p.

WALSH, J.D.; DEFELICE, M.S.; SIMS, B.D. Soybean (*Glycine max*) herbicide *carryover* to grain and fiber crops. **Weed Technology**, v.7, n.3, p.625-632, 1993.