

EFEITO RESIDUAL DOS HERBICIDAS APLICADOS NA CULTURA DA SOJA NO MILHO SAFRINHA EM SUCESSÃO

Décio Karam (1)

Um dos problemas na agricultura moderna é o resíduo de herbicidas na sucessão de culturas, principalmente a cultura do milho em seqüência à cultura da soja, mais conhecido como cultura do milho safrinha. Nessa sucessão, ocorre em determinadas épocas, problemas de fitotoxicidade a herbicidas, em função de resíduos encontrados no solo, provenientes de aplicações das culturas antecessoras. Essa condição é dependente de fatores ambientais e das características físico-químicas dos herbicidas. Casos de resíduos de aplicações de herbicidas, afetando culturas de sucessão, têm sido relatados em várias regiões do Brasil, principalmente quando ocorre períodos mais secos na cultura antecessora. Dentre os fatores que podem interferir no potencial de resíduo de herbicidas no solo destacam-se: (1) a persistência do herbicida no solo; (2) a precipitação ou umidade do solo disponível para degradação do herbicida; (3) a temperatura do solo; e (4) pH do solo.

Persistência do herbicida no solo

O tempo em que um herbicida permanece ativo no solo é de fundamental importância para a determinação do período de controle das plantas daninhas, bem como na identificação do possível potencial desse resíduo no solo e o risco para as culturas sucessoras. Vários fatores estão relacionados com a degradação dos herbicidas no solo, os quais influenciam diretamente a persistência do produto no ambiente. A degradação de um herbicida é resultante da quebra da molécula química em compostos menores e eventualmente em gás-carbonico e água. Os metabólitos secundários, oriundos da degradação, possuem características físico-químicas diferentes dos produtos principais, podendo apresentar maior fitotoxicidade para as culturas. A persistência dos herbicidas no solo estão relacionadas com a:

(1) Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. E-mail: karam@cnpms.embrapa.br

Decomposição microbiana – os principais agentes microorganismos decompositores de herbicidas são: algas, fungos, actinomicetos e bactérias.

Decomposição química – reações químicas que incluem a hidrogenação (reação com hidrogênio), oxidação (reação com oxigênio) e dissociação (perda de grupos químicos da molécula inicial). Embora seja conhecida a importância dessas reações químicas para degradação do herbicidas, ainda não estão bem caracterizadas no campo.

Adsorção do herbicida aos colóides do solo – os herbicidas podem ser imobilizados pela adsorção nas partículas do solo, tornando-os indisponíveis para a absorção pelas plantas. Essa reação está associada às características do solo, do composto químico e do pH da água, que determinam as reações do herbicida no ambiente. A adsorção do herbicida no solo aumenta com o teor de matéria orgânica, teor de argila e capacidade de troca catiônica do solo e diminui com o aumento do pH e a temperatura do solo. A adsorção também é influenciada pela solubilidade do herbicida; geralmente, quanto menor a solubilidade, mais forte é a adsorção do herbicida nas partículas do solo e da matéria orgânica. A disponibilidade de um herbicida para degradação ou movimentação no solo está associada ao processo sorção-desorção do mesmo no solo.

Lixiviação – é o movimento do herbicida no solo, que pode ocorrer em todas as direções. A grande preocupação com esse processo é a contaminação do lençol freático. A lixiviação está relacionada à solubilidade do herbicida na água, à quantidade de água movimentando no solo e à capacidade de adsorção do herbicida aos colóides do solo.

Volatilização – ocorre quando um herbicida passa da fase líquida para a fase gasosa. A volatilização geralmente ocorre na aplicação, mas pode também ocorrer quando já está depositado na folha ou no solo. A volatilidade de um herbicida é associada ao seu peso molecular. Uma das características do produto para identificação da capacidade de volatilização é sua pressão de vapor. Geralmente, a volatilização de um herbicida aumenta com a elevação da umidade do solo, temperatura do ar e teor de matéria orgânica do solo. A utilização de surfactante ou óleo mineral pode diminuir a volatilização do produto.

Fotodecomposição – é a decomposição do herbicida causada pela radiação solar, que é influenciada pela latitude, estação do ano, hora do dia, poluição do ar, pelas condições climáticas, e outros.

Absorção pelas plantas – a absorção de herbicidas pelas plantas pode ocorrer via foliar ou através das raízes. A absorção via sistema radicular resulta na remoção do herbicida do solo, reduzindo assim sua concentração no solo.

FATORES QUE INTERFEREM NO COMPORTAMENTO DOS HERBICIDAS

Propriedades físico-químicas

O comportamento de um herbicida é diretamente relacionado às suas características físico-químicas e às condições ambientais na época da aplicação. As propriedades físico-químicas do composto, que são independentes da sua forma de aplicação, devem ser consideradas ao selecionar o herbicida a ser utilizado. As características mais importantes a serem observadas antes da aplicação são: solubilidade em água (S_w), pressão de vapor (C_a), coeficiente de repartição carbono orgânico-água (K_{oc}) e meia vida no solo

Solubilidade em água (S_w)

A solubilidade em água determina a facilidade do herbicida em misturar-se à água, formando uma solução. A solubilidade é expressa normalmente em partes por milhão (ppm) variando de herbicida para herbicida. Valores mais altos de solubilidade indicam maior solubilidade em água, conseqüentemente maior disponibilidade na solução do solo para os processos físico-químicos de absorção pelas raízes, adsorção nas partículas do solo, biodegradação, lixiviação e volatilização. A solubilidade de alguns herbicidas registrados para a cultura do milho podem ser observadas na tabela 1.

Pressão de vapor (C_a)

A tendência de uma substância química mudar da fase líquida para a fase gasosa e migrar para a atmosfera é medida através da pressão de vapor. No caso dos herbicidas, a volatilização pode ocorrer direto da solução ou na superfície das plantas. A pressão varia conforme a temperatura e é expressa em milímetros (mm) de mercúrio (Hg) a 25 °C. Quanto menor a pressão de vapor, maior será a tendência de volatilização do herbicida.

Tabela 1. Características físico-químicas de alguns herbicidas usados no sistema milho-feijão.

Herbicida	Solubilidade em água	Pressão de Vapor	K_{oc}	$T_{1/2}$
mg L pH 5,0	mm Hg	mL g ⁻¹	dias	
Pendimethalin	0,28	$9,4 \times 10^{-6}$ (25º)	17.200	44
Trifluralin	0,3	$1,1 \times 10^{-4}$ (25º)	7.000	45
Chlorimuron-ethyl	450	$5,0 \times 10^{-10}$ (25º)	110	
Atrazine	33	$2,9 \times 10^{-7}$ (25º)	100	60
Diclosulan	117	$5,0 \times 10^{-15}$ (25º)	90	56
Flazasulfuron	0,027	$>1,0 \times 10^{-7}$ (25º)	30 - 43	9 - 120
Flumetsulan	5600*	$2,8 \times 10^{-15}$ (25º)	700	30 - 60
Alachlor	2420	$1,6 \times 10^{-5}$ (25º)	124	21
Imazaquin	60	$2,0 \times 10^{-8}$ (45º)	20	90 - 180
2,4D	600	$3,0 \times 10^{-4}$ (30º)	20 - 100	10
s-metolachlor	480	$1,3 \times 10^{-5}$ (25º)	200	36
Fomesafen	600.000	$1,8 \times 10^{-5}$ (20º)	60	100

* pH 7,0

K_{oc} – coeficiente de adsorção do carbono orgânico.

Os herbicidas podem ser divididos em alta, média e baixa volatilidade de acordo com a pressão de vapor (Zimdhal, 1999). Os herbicidas com alta volatilidade precisam ser incorporados ao solo através de implementos agrícolas ou água de irrigação, a fim de evitar a perda na forma de gás. Herbicidas voláteis aplicados em solo seco associado à alta temperatura e baixa umidade do ar podem volatilizar muito rapidamente da superfície do solo (obs: com chuva ou irrigação a umidade na lavoura fica alta). A pressão de vapor de alguns herbicidas registrados para a cultura do milho pode ser verificada na tabela 1.

Coefficiente de repartição carbono orgânico-água (K_{oc})

O coeficiente de repartição carbono orgânico-água é a relação do coeficiente de adsorção do herbicida ao solo (K_d) dividido pelo taxa de carbono orgânico no solo, sendo:

$$K_{oc} = K_d / \text{carbono orgânico no solo}$$

O coeficiente de adsorção (K_d) é a relação do herbicida adsorvido nas partículas do solo (mg kg⁻¹) dividido pelo herbicida dissolvido na solução do solo (µm/L). Esse coeficiente representa a tendência do produto em se fixar na matéria orgânica do solo, embora seja a adsorção às partículas de argila, muito importantes.

K_d = herbicida adsorvido / herbicida na solução do solo

O coeficiente de repartição carbono orgânico-água tem sido utilizado para estimar a adsorção de herbicidas ao solo. Essa adsorção pode ser classificada como *muito forte*, *forte*, *média* ou *leve* (Tabela 1). Herbicidas adsorvidos aos colóides do solo representam maiores riscos de contaminação de águas superficiais em função do escoamento do solo por excesso de água de chuva ou irrigação.

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

A meia vida de um herbicida é quantificado pelo tempo em que a metade do composto é degradado, representando a persistência do herbicida no solo. Entretanto, a meia vida de um herbicida não define sua eficiência no controle de plantas daninhas. O produto pode estar presente no solo, abaixo da zona de absorção radicular, e não ser efetivamente eficiente no controle das plantas daninhas. Agronomicamente, a persistência determina o resíduo dos herbicidas no solo. A meia vida de alguns herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas na cultura do milho pode ser observada na tabela 1. Herbicidas que representam maiores valores de meia vida são compostos de maior risco de fitotoxicidade para as culturas de sucessão.

Umidade do solo e temperatura

O conhecimento do volume de chuva após a aplicação do herbicida, a temperatura e umidade do solo tornam-se importantes para avaliarmos a possibilidade de resíduo no solo. Condições de baixa umidade do solo geralmente reduzem a taxa de degradação do herbicida. A umidade do solo é importante após a aplicação do herbicida, pois essa umidade é responsável pela dissipação do produto no solo. Herbicidas da família das dinitroanilinas degradam mais rapidamente sobre solo saturado. Caso ocorra um período seco, a movimentação do herbicida é reduzida, aumentando sua adsorção nas partículas de argila e matéria orgânica. Por exemplo, imazaquin, herbicida residual recomendado para a cultura da soja, requer um mínimo de umidade no solo para que seja disponibilizado, reduzindo a possibilidade de resíduo no solo para o plantio de culturas subseqüentes. A temperatura do solo é também importante para a degradação do herbicida. Temperaturas baixas diminuem a taxa de degradação do herbicida, o que pode ser verificado pelos valores da meia vida dos produtos aplicados em solos de climas temperados, que são geralmente maiores do que aqueles observados em aplicações em solos de climas tropicais.

pH do solo

O pH do solo afeta a persistência e a degradação de vários herbicidas. Alguns herbicidas são mais persistentes em condições de pH do solo $> 7,0$, a exemplo das triazinas. No entanto, as sulfoniluréias têm taxa de degradação diminuída quando o pH do solo é superior a 6,8. A persistência pode ser aumentada quando a aplicação ocorre em solos com pH abaixo de 5,9, a exemplo do herbicida clomazone.

COMO EVITAR PROBLEMAS COM RESÍDUOS DE HERBICIDAS NO SOLO

Verifique as recomendações dos herbicidas, principalmente quando houver períodos de seca. No rótulo dos produtos estão descritos os períodos de carência para plantio de culturas de sucessão. Por exemplo, a cultura do milho não deve ser plantada em sucessão à aplicação de imazaquin antes de 300 dias após a aplicação. Para a sucessão à cultura da soja, deve-se observar o período de 60 dias após a aplicação de chlorimuron-ethyl para o plantio da cultura do milho. A cultura do milho não deve ser plantada em sucessão à cultura da soja aplicada com o herbicida diclosulan.

Selecionar herbicidas que tenham baixo potencial de fitotoxicidade para a cultura do milho, em sucessão com meia vida curta no solo. Evitar utilizar herbicidas que possam interagir ou acrescentar com resíduos dos herbicidas aplicados em anos anteriores.