

## **Dinâmica dos herbicidas no solo e as recomendações em época seca x úmida**

Pedro Jacob Christoffoleti - ESALQ - USP

Vanessa Camponez Cardinalli - Mestranda em Fitotecnia/ESALQ-USP

Saul J. P. de Carvalho – Doutorando em Fitotecnia/ESALQ/USP

Marcelo Nicolai – Doutorando em Fitotecnia/ESALQ/USP

Ana Carolina Ribeiro Dias - Mestrando em Fitotecnia/ESALQ-USP

Os herbicidas pré-emergentes (residuais) representam a principal modalidade de aplicação na cultura da cana-de-açúcar, pois a cultura exige controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição, o qual pode estender-se até 180 dias após o plantio ou 120 dias após o corte das soqueiras. No entanto, existem no mercado diversas opções de herbicidas residuais, e a escolha do produto adequado deve estar fundamentada em critérios técnicos, que levam em consideração fatores ligados aos atributos do solo, condições climáticas e propriedades físico-químicas dos herbicidas.

A eficácia de controle das plantas daninhas, a seletividade para a cultura da cana-de-açúcar e o impacto ambiental decorrentes da utilização destes herbicidas dependerá da interação entre estes fatores. Portanto, para que o produtor de cana-de-açúcar obtenha sucesso nas pulverizações de herbicidas residuais em cana-de-açúcar é necessário o conhecimento sobre a interação destes produtos com o ambiente.

### **O solo e seus atributos que afetam a eficácia dos herbicidas residuais**

Didaticamente, o sistema solo está dividido em três fases: (i) sólida (areia, silte, argila e matéria orgânica), (ii) líquida (água) e (iii) gasosa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ ). No entanto, em termos práticos a proporção entre as fases e a composição de cada uma delas irá variar de um solo para outro afetando diretamente o desempenho de um herbicida aplicado ao solo das lavouras canavieiras.

A fase sólida do solo é responsável pelo processo de retenção ou “captura” do herbicida, impedindo ou dificultando sua disponibilização do herbicida para controle da planta daninha. Este processo de retenção pode ser em parte irreversível (parte do herbicida ficará indisponível para o controle das plantas daninhas - resíduo ligado) e parte poderá voltar a ser disponível para o controle das plantas daninhas através do processo de desorção (remobilização). A retenção do herbicida na fase sólida pode ocorrer tanto pela argila como pela matéria orgânica do solo, porém a fração orgânica é a principal responsável por sua “captura” através do estabelecimento de ligações químicas com as moléculas dos herbicidas. Sob o ponto de vista prática isto quer dizer que solos com teores elevados de matéria orgânica tendem a reter mais o herbicida, exigindo maiores doses para o controle de plantas daninhas e também dificultando a degradação e movimentação dos herbicidas no solo.

É importante ressaltar que os solos brasileiros (solos de regiões tropicais) foram formados em clima quente e sob condições de alta precipitação pluvial e por isso tendem a apresentar baixo teor de matéria orgânica, quando comparado com solos de países de clima temperado como os dos Estados Unidos e da Europa. Este fato deve-se a facilidade de degradação da matéria orgânica pela fauna microbiana em nossos solos. Assim, o baixo teor de matéria orgânica apresentado pela maioria dos solos brasileiros retém menores quantidades de herbicidas de forma irreversível.

Da mesma forma, a textura do solo influencia grandemente o processo de retenção dos herbicidas residuais no solo. Normalmente, solos que apresentam textura argilosa tendem a reter muito mais as moléculas do que solos de textura arenosa, pois os minerais de argila que possuem capacidade sortiva, ao contrário dos solos arenosos, que são compostos basicamente por grãos de sílica (quartzo), não apresentando capacidade de reter moléculas de herbicidas.

Em resumo, a recomendação da dose de um herbicida residual para a cultura da cana-de-açúcar deve estar fundamentada em dois parâmetros edáficos: textura e teor de matéria orgânica. Porém, as recomendações oficiais de variação de doses estão baseadas apenas na textura, ou seja em função de três classes texturais: (i) textura arenosa, (ii) textura média e (iii) textura argilosa, sem no entanto levar em consideração o teor de matéria orgânica no solo. Este fato pode induzir a erros de recomendação, porém como na maioria das vezes solos argilosos contem

maiores teores de matéria orgânica e solos arenosos são pobres em matéria orgânica, existe funcionalidade desta recomendação. Na tabela 1 estão representadas as recomendações de alguns herbicidas aplicados na cultura da cana-de-açúcar de acordo com a textura, indicando a grande variabilidade de doses em função da textura.

Tabela 1. Recomendação de doses de alguns herbicidas residuais utilizados na cultura da cana-de-açúcar em função da textura do solo, retirado de Lorenzi, 2006.

Herbicida - ingrediente ativo (*)	Amplitude de doses do herbicida em função da textura**	
	Ingrediente ativo (kg/ha)	Produto comercial (kg ou L/ha)
Ametryn (500)	2,0 - 4,0	4,0 - 8,0
Clomazone (500)	0,9 - 1,1	1,8 - 2,2
Diuron (500)	2,5 - 4,0	5,0 - 8,0
Diuron (468) + hexazinone (132)	(0,842+0,2376) - (1,404+0,396)	1,8 - 3,0
Imazapic (700)	0,133 - 0,147	0,190 - 0,210
Isoxaflutole (750)	0,187 - 0,262	0,250 - 0,350***
Metribuzin (480)	1,44 - 1,92	3,0 - 4,0
Oxyfluorfen (240)	0,48 - 1,20	2,0 - 5,0
Pendimethalin (500)	1,0 - 1,75	2,0 - 3,5
S-metolachlor (960)	1,44 - 1,92	1,5 - 2,0****
Sulfentrazone (500)	0,8 - 0,9	1,6 - 1,8
Tebuthiuron (500)	0,8 - 1,2	1,6 - 2,4
Trifluralin (600)	1,8 - 3,6	3,0 - 6,0

\* Concentração da formulação em g/L ou g/kg.

\*\* Doses maiores são recomendadas para solos de textura argilosa e doses menores para solos de textura arenosa, sendo que para solos de textura média doses intermediárias.

\*\*\* Soqueiras em época seca

\*\*\*\* As atuais recomendações deste herbicida preconizam doses maiores para a cana-de-açúcar

Outro parâmetro de grande importância, principalmente para herbicidas que apresentam a capacidade de se ionizar, é o pH do solo. Pelo fato dos solos apresentarem em sua grande maioria cargas negativas na superfície de colóides de argila e na matéria orgânica, a forma como a molécula do herbicida se encontra no solo será importante para definir seu destino, ou seja, se ela será ou não retida. No entanto, nas recomendações oficiais este fator de influência na dose do herbicida não é levado em consideração.

A umidade do solo é importante para permitir a absorção pelas plantas daninhas, já que o herbicida, no caso dos pré-emergentes, precisam ser lixiviados até atingir as estruturas da planta responsáveis pela absorção. Essa quantidade de água no solo irá determinar o espaço poroso disponível para a difusão da fase gasosa, que também afeta a taxa de absorção do herbicida pela planta. Já a profundidade de lixiviação do herbicida é dependente do equilíbrio entre a fração do herbicida adsorvida no solo e o herbicida presente na solução do solo. Esse equilíbrio é governado por alguns fatores como solubilidade, capacidade de retenção do herbicida e conteúdo de água no solo. A aplicação em solos com umidade inadequada, pode causar baixa eficiência no controle das plantas daninhas, e por isso precisa ser monitorada e corrigida, se necessário, antes de se realizar uma pulverização.

### **As propriedades físico-químicas dos herbicidas residuais interagem com os atributos do solo e também afetam a eficácia no controle de plantas daninhas**

Os herbicidas apresentam diversas características físico-químicas que devem ser levadas em consideração juntamente com os atributos do solo antes de se realizar uma aplicação no campo. Dentre elas destaca-se a solubilidade do herbicida em água. Se a solubilidade do herbicida em água é moderada/alta, existe uma tendência de permanecer em maior concentração na água do solo (fase líquida) e portanto disponível para a absorção pelas plantas daninhas, degradação química ou biológica (microrganismos do solo), ou ainda pode ser lixiviado a maiores profundidades, quando em períodos mais chuvosos. O ideal é que o herbicida seja solubilizado e lixiviado no perfil do solo onde o banco de sementes das plantas daninhas tenha potencial de

quebra de dormência, mas por outro lado é ideal que esteja acima da região de absorção da maioria das raízes da cana-de-açúcar (fenômeno chamado de seletividade de posição).

Outros parâmetros como volatilidade e foto-degradabilidade das moléculas de herbicidas também são importantes. Situações em que a aplicação é feita em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar devem ser evitadas, principalmente quando herbicidas voláteis e foto-degradáveis são utilizados. Agronomicamente, a volatilização pode ser minimizada com a incorporação mecânica do herbicida ou irrigação logo após sua aplicação, sendo que nas situações onde não é feita a incorporação é recomendável um monitoramento das condições climáticas. A meia-vida ( $t_{1/2}$ ) está relacionada à degradação do herbicida. O conhecimento da meia-vida é importante para prever possíveis problemas em culturas subseqüentes que apresentem sensibilidade a determinado produto.

Portanto, para que um herbicida apresente eficácia adequada nas lavouras de cana-de-açúcar é necessário que este apresente algumas características fundamentais: Ausência de volatilidade e foto-degradabilidade, baixa adsorvidade aos colóides do solo e residual compatível com o período crítico de competição da cultura com as plantas daninhas (>120 dias). Estas características são ainda mais importantes para os herbicidas que são aplicado no período seco do ano. Na tabela 2 estão apresentadas algumas características físico-químicas de herbicidas residuais utilizados em cana-de-açúcar, que podem auxiliar sua recomendação e entendimento da dinâmica destes herbicidas no solo.

Tabela 2. Comparação entre os parâmetros físico-químicos dos herbicidas aplicados em cana-de-açúcar. Retirado de Christoffoleti e Lopez-Ovejero, 2005.

Herbicidas	Parâmetros físico-químicos dos herbicidas utilizados em cana-de-açúcar				
	Solubilidade (mg/L) <sup>1</sup>	pKa <sup>2</sup>	Koc <sup>3</sup>	Adsorção <sup>4</sup>	½ vida (dias) <sup>5</sup>
Ametrina	200	4,1	300	forte	60
Amicarbazone	4.600	0,0	23-37	Fraca	Média
Clomazone	1100	0,0	300	Moderada	Média
2,4-D	600	2,8	Alto	Moderada	10
Diuron	42	0,0	480	Forte	90
Flazasulfuron	0,027 – 2,1	4,37	30-43	Moderada	9 – 120
Glyphosate	15.700	2,6-5,0 e 10,3	24.000	Muito Forte	12 – 25
Hexazinone	33.000	2,2	54	Fraca	120
Imazapic	2.200	3,9	--	Fraca	180
Imazapyr	11.272	1,9 e 3,6	1,02	Fraca	180
Isoxaflutole	6,2	4,3	134	Moderada	38
DKN	326	1,1	17	Fraca	160
Mesotrione	168,7	3,07	19-387	Forte	Curta
Metribuzin	1.100	---	60	Moderada	30 a 60
Oxyfluorfen	0,1	0,0	100.000	Forte	30 a 40
Paraquat	620.000	0,0	--	Muito forte	1.000
Pendimethalin	0,275	0,0	17.200	Forte	90 a 180
Tebuthiuron	2.570	0,0	80	Fraca	1 ano
Trifloxysulfuron	353	4,76	29-574	Forte	Curta
Trifluralina	0,3	0,0	7.000	Forte	45

<sup>1</sup> Solubilidade do herbicida em água, <sup>2</sup> Constante de equilíbrio de ionização de um ácido fraco, que corresponde ao pH onde metade das moléculas estão ionizadas e metade não ionizadas, <sup>3</sup> Coeficiente de partição da molécula baseado no teor de matéria orgânica, que mede a adsorção da molécula, <sup>4</sup> Adsorção à partículas coloidais do solo (argila e matéria orgânica), <sup>5</sup> Tempo de permanência de pelo menos 50% da molécula de herbicida na forma original no solo.

#### Literatura citada no texto:

- Christoffoleti, P.J.; López-Ovejero, R.F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. 1. ed. Piracicaba: Autores, 2005. v. 1. 49 p.
- Lorenzi, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Edição do Autor, Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2006, 239 p.