



Risco de Contaminação de Organismos do Solo em Função da Deriva Depositada das Aplicações de Herbicidas nas Culturas do Feijão e da Soja⁽¹⁾.

Mateus Aparecido Vitorino Gonçalves de Oliveira⁽²⁾; Mariana Rodrigues Bueno⁽³⁾; Rafael Marcão Tavares⁽⁴⁾; João Eduardo Ribeiro da Silva⁽⁵⁾; Guilherme Sousa Alves⁽⁵⁾; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho extraído da Tese de doutorado da segunda autora intitulada: Deriva e análise de risco das aplicações de fungicidas, herbicidas e inseticidas nas culturas do feijão e da soja.

⁽²⁾ Graduando em Agronomia pelo Centro Universitário do Triângulo – Unitri/Uberlândia, mateus_engagronomica@hotmail.com; ⁽³⁾ Doutoranda em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia – UFU; Uberlândia, MG; marianarb_agro@yahoo.com.br; ⁽⁴⁾ Mestrando em Agronomia ICIAG-UFU; ⁽⁵⁾ Doutorandos em Agronomia ICIAG-UFU; ⁽⁶⁾ Eng^o. Agr^o. Prof. Dr. ICIAG – UFU.

RESUMO: O cálculo do índice de risco ambiental, por meio de organismos indicadores como as minhocas, pode ser um indicativo de possível contaminação do solo decorrente das perdas por deriva que acontecem durante as aplicações de herbicidas. Assim, o objetivo do trabalho foi calcular o índice de risco de contaminação ambiental decorrente da exposição de organismos do solo à deriva de aplicações terrestres de herbicidas recomendados para as culturas do feijão e da soja, além de estabelecer zonas de segurança para esses produtos. Foi calculado o índice de risco para minhocas (indicador de contaminação do solo) de acordo com as metodologias propostas pelas metodologias POCER e para quatro tipos de pontas de pulverização: jato plano standard XR (gotas finas) e com indução de ar AIXR (gotas grossas), jato plano defletor standard TT (gotas médias) e com indução de ar TTI (gotas extremamente grossas). Conclui-se que a aplicação dos herbicidas estudados, para as culturas do feijão e da soja, causa baixo risco de contaminação por deriva para minhocas, independente da ponta de aplicação, conseqüentemente, tem baixo risco de contaminação para o solo.

Termos de indexação: curvas de deriva, pontas de pulverização, tecnologia de aplicação.

INTRODUÇÃO

Os produtos fitossanitários possuem papel importante na agricultura devido à necessidade crescente de maiores rendimentos e produção intensiva de alimentos de forma sustentável. No entanto, a dependência do tratamento químico e o uso extensivo subsequente destes compostos podem representar uma ameaça para os ecossistemas aquáticos e terrestres (Kasiotis et al., 2014). A deriva proveniente da aplicação de produtos fitossanitários é uma das principais fontes

de contaminação ambiental na agricultura (Vercruysse & Steurbaut, 2002; Kruijne et al., 2011).

Uma das formas de se conhecer melhor o problema da deriva é através do estabelecimento de modelos de previsão de deriva (Lebeau et al., 2011), ou curvas de deriva (funções). A partir dessas curvas, é possível calcular o índice de risco de contaminação de outras áreas, do solo, de animais e de pessoas, cujas partículas derivadas da aplicação de produtos fitossanitários podem causar.

Os índices de risco decorrente da deriva das pulverizações podem ser calculados por várias metodologias, como o POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) (Risco ocupacional e ambiental da aplicação de produtos fitossanitários) (Vercruysse & Steurbaut, 2002) e o HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk) (Indicadores de risco ambiental relacionados ao uso de produtos fitossanitários) (Kruijne et al., 2011), no qual o risco é calculado por meio de vários indicadores. As minhocas, por exemplo, são indicadores terrestres de possível contaminação do solo, uma vez que, estão indiretamente expostas à deriva depositada no solo decorrente das aplicações de herbicidas.

Através desses índices é possível estabelecer zonas de segurança (*Buffer Zones*), as quais são faixas adjacentes com ou sem vegetação, que não podem receber a aplicação de produtos fitossanitários a fim de proteger determinada área sensível. A largura dessas zonas é baseada nas distâncias onde os índices de risco aceitáveis são obtidos (De Schampheleire et al., 2007). O índice aceitável deve ser menor que 1 ($RI < 1$); caso esse índice seja maior ou igual a 1, existe risco potencial de contaminação (Vercruysse & Steurbaut, 2002; Kruijne et al., 2011).

Assim, o trabalho objetivou calcular o índice de risco de contaminação ambiental decorrente da exposição de organismos do solo à deriva de aplicações terrestres de herbicidas recomendados para as culturas do feijão e da soja, além de



estabelecer zonas de segurança para esses produtos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os índices de risco foram calculados de acordo com as modelagens propostas pela metodologia POCER e HAIR. Esses índices foram baseados nos depósitos de deriva (%drift) em função da distância da área aplicada em metros (z), os quais foram obtidos por meio de curvas de deriva geradas pelos autores deste trabalho para cada ponta de pulverização (tamanho de gota), para as culturas do feijão e da soja cultivadas na região de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (Tabela 1).

Os herbicidas cujos índices de risco foram calculados foram selecionados baseado em um levantamento realizado com consultores técnicos e produtores da região sobre os produtos mais utilizados nas culturas em questão. Selecionados os produtos, foram realizadas consultas ao site AGROFIT (Mapa, 2014) para verificar se todos possuíam registro para aplicação no Brasil. E por fim, foram realizadas consultas à base de dados da Comissão Europeia (DG SANCO, 2014) e aos registros da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA, 2014) para obtenção dos dados toxicológicos de cada produto, pois, a maioria das bulas dos produtos comercializados no Brasil não possuem todas as informações necessárias para os cálculos de risco (Tabela 2).

Tabela 2. Dados ecotoxicológicos dos herbicidas recomendados para as culturas do feijão e da soja no Brasil, utilizados para o cálculo do índice de risco de contaminação ambiental.

Ingrediente Ativo	Dose* (kg ou L i.a. ha ⁻¹)	LC ₅₀ Minhocas (mg kg solo ⁻¹)	N. Aplicação /Ano
2,4 D Amina ¹	1,08	350	1
bentazona	0,72	870	1
fluazifop-P butyl	0,20	500	1
flumioxazina	0,025 ^F /0,05 ^S	982	1
glifosato	2,52	480	1-3
alhaloxifope-R ester methy	0,05 ^F / 0,062 ^S	672	1
imazamoxi ²	0,028	901	1
paraquat	0,60	1000	1-2
s-metolaclor	1,20 ^F / 1,92 ^S	570	1
trifluralina	2,40	500	1

^{1,2} ingrediente ativo recomendado apenas para a cultura da soja e do feijão respectivamente. ^F Cultura do Feijão; ^S Cultura da Soja.

Foi calculado o índice de risco para organismos terrestres, especificamente para minhocas ($RI_{Minhocas}$) (Equação 1 e 2), pois as gotas podem se depositar no solo em função da deriva e contaminar o solo e os seres que vivem nele (Verduyck; Steurbaut; 2002; DE Schampheleire et al., 2007).

$$PEC_{Solo} = \frac{(AR \times \%drift \times n \times (1-f))}{(d_{Solo} \times \rho_{Solo})} \quad \text{Equação 1}$$

$$RI_{Minhocas} = \frac{PEC_{Solo} \times 10}{LC_{50 \text{ Minhocas}}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

PEC_{Solo} : concentração ambiental previsível no solo (mg kg⁻¹ de solo)

AR: dose do produto aplicado (kg i.a ha⁻¹)

%drift: porcentagem de deriva depositada (%)

f: fração de ingrediente ativo depositado que é interceptado pela cultura (admita-se o pior cenário, que é uma área sem cultivo. Valor = 0)

d: profundidade de solo onde a deriva é depositada (0,05 m)

ρ : densidade do solo (adota-se o valor de 1300 kg m³ para a região) (RESENDE et al., 2012)

$RI_{Minhocas}$: Índice de risco ambiental para minhocas.

LC₅₀: concentração letal do produto que provoca a morte de 50% da população de minhocas (mg kg⁻¹ de solo)

Para o cálculo dos índices de risco para minhocas foi adotada a distância de 2,5 m a favor do vento, a partir da borda da área pulverizada.

As zonas de segurança (ZS) foram calculadas apenas para os ingredientes ativos com índice de risco maior ou igual a um ($RI \geq 1$). Essas estimativas foram realizadas na própria planilha de cálculos utilizada para determinar o índice de risco. Quando um produto apresentava risco, aumentava-se a distância entre o alvo e a área aplicada, e conseqüentemente o percentual de deriva depositada e o índice de risco de contaminação para cada indicador diminuía. A distância capaz de proporcionar um índice menor que um ($RI < 1$) foi considerada a distância mínima da zona de segurança para cada ingrediente ativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições experimentais dessa pesquisa, os ingredientes ativos listados na Tabela 3 causaram baixo risco de contaminação para minhocas ($RI_M < 1$), caso esses organismos estejam localizados numa distância igual ou superior a 2,5 m da área de cultivo, independente da ponta de aplicação utilizada. Assim, caso haja deriva durante as aplicações, a zona de segurança para esses produtos é de 2,5 m de distância da área alvo de



aplicação, para que o risco de contaminação potencial do solo seja baixo.

Apesar do risco ser baixo para todas as pontas de aplicação, inclusive as pontas de produção de gotas finas (XR) e médias (TT), a escolha da ponta de pulverização envolve vários outros fatores (ambientais, técnicos, tipo de cultura, alvo de aplicação) e, portanto, não pode ser baseada apenas em análises de risco.

A aplicação de paraquat em pastagens na Bélgica também proporcionou baixo risco de contaminação para minhocas (De Schampheleire et al., 2007), corroborando com os resultados apresentados no presente trabalho.

O herbicida 2,4-D amina é um herbicida de grande uso na agricultura brasileira. Com o uso extensivo e muitas vezes inadequado, tornou-se um problema, principalmente devido à contaminação do solo e de água subterrânea (Fu et al., 2009). Contudo, nesse estudo, esse ingrediente ativo não apresentou risco para os indicadores terrestres (minhocas) independente do tamanho de gota utilizado na aplicação. O ingrediente 2,4 D também não apresentou risco de contaminação para minhocas na cultura do trigo na Turquia (Yarpuz-Bozdogan, 2009).

Com relação ao herbicida glifosato, o qual é um dos produtos mais utilizados do mundo, inclusive no Brasil, o presente trabalho observou um baixo risco de contaminação para minhocas relacionadas à deriva de aplicações desse herbicida para as duas culturas, para todas as pontas avaliadas. Um estudo de avaliação de risco de herbicidas na cultura do milho transgênico também não observou risco de contaminação por glifosato para organismos aquáticos, abelhas, minhocas e para espectadores (Devos et al., 2008).

É importante ressaltar que, neste estudo foi avaliado o potencial de contaminação indireto do solo decorrente das perdas por deriva depositada, baseado em indicadores terrestres (minhocas). Existem também outras fontes de contaminação e perdas durante as aplicações, como a lixiviação e a erosão, para as quais também é possível calcular o risco de cada ingrediente ativo.

CONCLUSÕES

A deriva da aplicação dos herbicidas estudados, para as culturas do feijão e da soja, causa baixo risco de contaminação para minhocas, independente da ponta de aplicação utilizada, conseqüentemente, tem baixo índice de contaminação para o solo.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG pelo apoio a pesquisa no Estado de Minas Gerais e a Universidade Federal de Uberlândia pela referência em ensino, pesquisa e extensão.

REFERÊNCIAS

DE SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; SONCKC, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. *Crop Protection*, v. 26, n. 4, p. 602-11, 2007.

DEVOS, Y.; COUGNON, M.; VERGUCHT, S.; BULCKE, R.; HAESAERT, G.; STEURBAUT, W.; REHEUL, D. Environmental impact of herbicide regimes used with genetically modified herbicide-resistant maize. *Transgenic Research*, v. 17, n. 6, p. 1059-1077, 2008.

DG SANCO. EU Pesticides Database. Disponível em: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=active_substance_selection. Acesso em 13, outubro 2014.

EFSA. European Food Safety Authority. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/publications/efsajournal.htm>. Acesso de 02 a 06 de dezembro, 2014.

FU, F.; XIAO, L.; WANG, W.; XU, X.; XU, L.; QI, G.; CHEN, G. Study on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2-methyl-4-chloro-phenoxyacetic sodium (MCPA sodium) in natural agriculture-soils of Fuzhou, China using capillary electrophoresis. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.407, n.6, p. 1998-2003, 2009.

KASIOTIS, K. M.; GLASS, C. R.; TSAKIRAKIS, A. N.; MACHERA, K. Spray drift reduction under Southern European conditions: A pilot study in the Ecopest Project in Greece. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, n. 479-480, p. 132-137, 2014.

KRUIJNE, R.; DENEER, J. W.; LAHR, J.; VLAMING, J. HAIR 2010 Documentation: Calculating risk indicators related to agricultural use of pesticides within the European Union. Wageningen, Alterra, Alterra-report 2113.1, 2011, 202 p.

MAPA. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 25, janeiro 2014.

LEBEAU, F.; VERSTRAETE, C.; STAINIER, M.; DESTAIN, F. RTDrift: a real time model for estimating spray drift from ground applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.77, n. 2, p.161- 174, 2011.

VERCRUYSSSE, F.; STEURBAUT, W. POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. *Crop Protection*, London, v. 21 p. 307-315, 2002.

YARPUZ-BOZDOGAN, N. Assessing the environment and human health risk of herbicide application in wheat cultivation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, Helsinki, v.7, n. 3-4, p. 775 -781, 2009.



Tabela 1. Modelos de curva de deriva exponencial de quatro parâmetros estimados em Percentil 90 (P90) para as culturas do feijão e da soja, cultivadas no Brasil.

Ponta ¹	Feijão		Soja	
	Equação ²	R ²	Equação	R ²
XR	$\hat{Y} = 30,7647e^{-0,4949x} + 1,8278e^{-0,0347x}$	99,66	$\hat{Y} = 19,2760e^{-0,7277x} + 0,2732e^{-0,0353x}$	99,89
TT	$\hat{Y} = 20,2565e^{-0,5923x} + 0,6914e^{-0,0077x}$	99,97	$\hat{Y} = 12,5031e^{-0,6532x} + 0,2362e^{-0,0353x}$	99,91
AIXR	$\hat{Y} = 7,5039e^{-0,5222x} + 0,5485e^{-0,0046x}$	99,84	$\hat{Y} = 4,2753e^{-0,6477x} + 0,2092e^{-0,0305x}$	99,53
TTI ³	$\hat{Y} = 6,7700e^{-0,5943x} + 0,5482e^{-0,0047x}$	99,90	-	-

¹Os tamanhos de gotas de cada ponta estão de acordo com as normas da ASAE e o catálogo do fabricante Teejet[®], a 3 bar (300 kPa) de pressão: XR= gotas finas; TT= gotas médias; AIXR= gotas grossas e TTI = gotas extremamente grossas. ²Modelos significativos de acordo com o teste de F a 0,05 de significância. ³Não houve ajuste de modelo de deriva para a ponta TTI, na cultura da soja.

Tabela 3. Índice de risco e zona de segurança para minhocas em função da deriva, decorrente da aplicação de herbicidas recomendados para o controle de plantas infestantes na cultura do feijão.

Ingrediente Ativo	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI _M	ZS _{RI=1}	RI _M	ZS _{RI=1}	RI _M	ZS _{RI=1}	RI _M	ZS _{RI=1}
bentazona	0,0014	-	0,0007	-	0,0003	-	0,0003	-
fluazifop-P-butyl	0,0007	-	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-
flumioxazina	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
glifosato	0,0086	-	0,0043	-	0,0021	-	0,0017	-
haloxifope-R ester methy	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
imazamoxi	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	0,0010	-	0,0005	-	0,0002	-	0,0002	-
s-metolaclor	0,0034	-	0,0017	-	0,0008	-	0,0007	-
trifluralina	0,0078	-	0,0039	-	0,0019	-	0,0015	-

RI_M: Indicador de risco para minhocas a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS_{RI=1}: Zona de segurança para minhocas considerando um risco igual a um.

Tabela 4. Índice de risco e zona de segurança para minhocas em função da deriva decorrente da aplicação de herbicidas recomendados para o controle de plantas infestantes na cultura da soja.

Ingrediente Ativo	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)	
	RI _M	ZS _{RI=1}	RI _M	ZS _{RI=1}	RI _M	ZS _{RI=1}
2,4 D amina	0,0016	-	0,0013	-	0,0005	-
bentazona	0,0004	-	0,0003	-	0,0001	-
fluazifop-P-butyl	0,0002	-	0,0002	-	0,0001	-
flumioxazina	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
glifosato	0,0027	-	0,0021	-	0,0008	-
haloxifope-R ester methy	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-
s-metolaclor	0,0017	-	0,0014	-	0,0005	-
trifluralina	0,0025	-	0,0020	-	0,0008	-

RI_M: Indicador de risco para minhocas a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS_{RI=1}: Zona de segurança para minhocas considerando um risco igual a um.