

Capítulo 12

**Modelos *screening* e simulação
de sistemas aplicados à avaliação
de risco de contaminação da água
por agrotóxicos em áreas de
cultivo de soja, milho e arroz**

**Estudo de caso nas nascentes do
Rio Araguaia, região de Mineiros, GO,
e na Microbacia do Arroio Jacaguá,
região de Alegrete, RS**

Maria Conceição Peres Young Pessoa

Marco Antonio Ferreira Gomes

Heloisa Ferreira Filizola

Sônia Cláudia do Nascimento de Queiroz

Vera Lúcia Ferracini

Isabel Cristina Sales Fontes Jardim

Introdução

A preocupação com o risco de contaminações indesejáveis dos recursos naturais brasileiros em áreas agrícolas vem se tornando alvo crescente de investigações que fundamentam cada vez mais a proposição de Boas Práticas Agrícolas voltadas para a qualidade ambiental dos sistemas produtivos (PESSOA et al., 2006). Nesse contexto, risco deve ser entendido como a “probabilidade de que uma situação física com potencial de causar danos (perigo) possa acontecer, em qualquer nível, em decorrência da exposição, durante um determinado espaço de tempo, a essa situação” (PESSOA; SRAMIN, 2004). Essas mesmas autoras ressaltam ainda que, “para descrever o processo de avaliação de risco, a Academia Nacional de Ciência dos Estados Unidos (NAS) identificou quatro passos distintos a serem considerados (NEELY, 1994):

- Identificação de perigo: avalia o tipo de consequência causada pelo risco de exposição ao agente.
- Estabelecimento de relações entre a quantidade representativa da presença do agente (concentração ou dose) e a incidência de efeito adverso.
- Avaliação de exposição ao perigo: estuda a frequência e incidência de exposição ao perigo, na presença do agente, em quantidades causadoras de efeitos adversos.
- Caracterização do Risco: estima a incidência de efeitos sob diferentes condições de avaliação de exposição.”

As áreas de recarga do Aquífero Guarani localizadas no Brasil e seus recursos naturais, principalmente águas superficiais e subterrâneas, vêm sendo expostas às aplicações de agrotóxicos utilizados nas diversas culturas.

Na área de afloramento do aquífero localizada no Município de Mineiros, GO, próxima à voçoroca Chitolina, nascentes do Rio Araguaia, predominam os cultivos de soja, milho e milho safrinha, expondo essa área de recarga às aplicações intensivas de agrotóxicos. As características pedomorfoagroclimáticas da área conferem a ela um cenário de vulnerabilidade natural que, quando associado à exposição aos agrotóxicos utilizados, demanda uma avaliação local da tendência potencial de risco de contaminação, tanto para as águas superficiais quanto subterrâneas. Essa tendência, associada às demais informações locais, contribui para a avaliação do risco de contaminação das águas pelos produtos aplicados.

Os produtos aplicados na região de Mineiros, GO, foram avaliados por modelos *screening* e por simulação de sistemas (PESSOA et al., 1997). A avaliação por modelos *screening* foi resultante do trabalho de Pessoa et al. (2004a) que, utilizada para classificar de forma expedita os produtos de maior potencial de lixiviação, permitiu uma análise preliminar do potencial de transporte dos produtos aplicados. Nesse contexto, Pessoa et al. (2004a) utilizaram modelos matemáticos *screening* já consagrados mundialmente: Índice de GUS (GUSTAFSON, 1989), Método de GOSS (GOSS, 1992) e Critérios de Cohen et al. (1995), adotados pela Environmental Protection Agency (EPA).

A movimentação vertical dos principais produtos químicos, aplicados nas culturas de soja, milho e milho, foi avaliada por meio de simulação de sistemas, conforme Pessoa et al. (2005), utilizando o simulador CMLS-94 (HORNSBY; NOFZIEGER, 1994), uma vez que os dados necessários para execução dessa avaliação na área tornaram-se disponíveis também pelas atividades dos projetos da Embrapa Meio Ambiente.

Outra área de afloramento do Guarani igualmente importante para investigação é a localizada na região de Alegrete, RS. Nessa área, registra-se intensa atividade agrícola, predominando a lavoura de arroz irrigado por inundação (tabuleiros inundados), seguida da atividade pecuária com a criação de bovinos e ovinos.

Os produtos aplicados na região de Alegrete, RS, também foram avaliados pelos modelos *screening*, já citados, por Pessoa et al. (2004b), entretanto as avaliações por simulação ainda não foram realizadas por problemas nas coletas dos dados necessários para realizá-las.

Este capítulo visa apresentar as principais considerações sobre os resultados obtidos nesses trabalhos realizados nas áreas de afloramento de Mineiros, GO, e de Alegrete, RS.

Material e métodos

Modelos matemáticos tipo *screening*

O programa Agroscre (Pessoa et al., 2005), desenvolvido em projeto da Embrapa Meio Ambiente, foi utilizado para a avaliação simultânea dos modelos *screening* nas áreas de Mineiros, GO, e de Alegrete, RS, realizada por Pessoa et al. (2004a, b). O programa avalia os métodos de GOSS (GOSS,

1992), Índice de GUS (GUSTAFSON, 1989) e o método de Cohen et al. (1995), utilizado regularmente pelo EPA.

Os parâmetros necessários para a avaliação dos princípios ativos utilizados na região de Alegrete, RS, pelo programa Agroscre, realizada por Pessoa et al. (2004b), foram obtidos em bases de dados de agrotóxicos disponibilizadas em literatura científica nacional e internacional e bases na internet. Neste trabalho, oito produtos foram elencados como de maior uso na região, a saber, byspiribac-sodium, carbofuran, clomazone, fipronil, glyphosate, molinate e quinclorac para a avaliação pretendida que também considerou a pluviosidade local de 1.190 mm/ano e as presenças de solo poroso e de aquífero confinado.

Para Mineiros, GO, as informações necessárias para a avaliação dos princípios ativos chlorimuron-ethyl, lactofen, haloxifop-methyl, isoxaflutole, nicosulfuron, foramsulfuron e iodossulfuron pelo Agroscre, realizada por Pessoa et al. (2004a), foram obtidas em bases de dados de agrotóxicos disponibilizadas na literatura científica nacional e internacional e na internet. O trabalho considerou a pluviosidade local de 1.863 mm/ano e as presenças de solo poroso e de porção do aquífero não confinada.

Simulação CMLS-94 aplicada a Mineiros, GO

As avaliações da movimentação dos agrotóxicos aplicados em milho, milho safrinha e soja em Mineiros, Goiás, utilizando o simulador CMLS-94 – Chemical Movement in Layered Soil, versão 95.09.18 –, foram realizadas por Pessoa et al. (2005).

Os produtos foram avaliados isoladamente, em cenários específicos para cada tipo de solo, a saber, Latossolo Vermelho Distroférico típico (V01) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (V07), conforme detalhadamente apresentados em Pessoa et al. (2005).

Os dados climáticos foram fornecidos pela Estação Climática dos Monges Beneditinos de Mineiros, GO, e inseridos no formato exigido pelo CMLS-94 para avaliações por simulação para um período de três anos consecutivos.

As informações sobre o coeficiente cultural (Kc) de milho/milho safrinha utilizadas foram as disponibilizadas na base do CMLS-94. Para soja, optou-se pela utilização de valores de Kc dessa cultura para ambiente tropical disponibilizados pela FAO.

Foram utilizadas as seguintes datas de plantio das culturas, representativas da situação local da área de estudo: soja – plantio em 30/11; milho – plantio em 30/11; e milho safrinha – plantio em 15/2.

Foram avaliados os principais princípios ativos dos produtos utilizados nas respectivas culturas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Produtos aplicados nas culturas de milho, soja e milho safrinha de Mineiros, GO.

Código produto/ Princípio ativo (dosagem)	Culturas	Tipo	Classe toxicológica
Prod1/dimethylaminesalt (2,5 L ha ⁻¹)	Milho, soja, milho safrinha	Herbicida	I
Prod2/atrazina (2,5 kg ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha	Herbicida	III
Prod3/atrazina (2,5 L ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha	Herbicida	III
Prod11/atrazina (500 g L ⁻¹)	Milho, milho safrinha	Herbicida	III
Prod4/deltamethrin (2,0 L ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha, soja	Inseticida	III
Prod5/deltamethrin (0,30 L ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha, soja	Inseticida	II
Prod6/deltamethrin (0,15 L ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha	Inseticida	IV
Prod7/monocrotophos (1,5 L ha ⁻¹)	Soja	Inseticida/acaricida	I
Prod8/benomyl (0,5 L ha ⁻¹)	Soja	Fungicida	III
Prod9/captan (0,25 L ha ⁻¹)	Milho, milho safrinha	Fungicida (sementes)	III
Prod12/chlorimuron-ethyl (40 g ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	III
Prod13/lactofen (0,3 L ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	I
Prod14/fomesafen (1,0 L ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	I
Prod15/fomesafen (1,0 L ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	II
Prod16/fluazifop-p-buthyl (não informada)	Soja	Herbicida	II
Prod17/glyphosate (3,0 L ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	IV
Prod18/endosulfan (350 g L ⁻¹)	Soja	Inseticida	II
Prod19/endosulfan (250 g L ⁻¹)	Soja	Inseticida	III
Prod20/haloxifop (0,5 L ha ⁻¹)	Soja	Herbicida	II
Prod21/lambda-cyhalothrim (não informada)	Milho, milho safrinha, soja	Inseticida	II
Prod22/sulfosate (não informada)	Milho, milho safrinha, soja	Herbicida	IV

Fonte: Pessoa et al. (2005).

A aplicação dos produtos deu-se nas seguintes datas:

- Herbicidas pré-emergentes em soja e milho: 15 de novembro.
- Herbicidas pré-emergentes em milho safrinha: 1 de fevereiro.
- Inseticidas e fungicidas em soja e milho: 30 de dezembro.
- Inseticida e fungicida em milho safrinha: 15 de março.

Os valores de K_{oc} e de $t \frac{1}{2}$ utilizados nas simulações dos princípios ativos são os apresentados na Tabela 2.

Foram simulados todos os produtos com informações de dosagens disponíveis de forma separadamente para soja, milho safrinha e milho.

As simulações foram realizadas para um período de três anos consecutivos, para todos os cenários de aplicação dos produtos nas três culturas nos solos V01 e V07, em estudo de pior caso. O simulador não avalia reaplicações consecutivas do produto aplicado.

Também foi realizado por Pessoa et al. (2005) um estudo comparativo de um mesmo cenário de milheto, para o período de simulação de um ano, realizado em anos com registros de pluviosidade muito acima do padrão local, de pluviosidade muito abaixo do padrão local e de ano representativo da média de pluviosidade local.

Tabela 2. K_{oc} e $t \frac{1}{2}$ solo utilizados nas simulações.

Princípio ativo	K_{oc}	$t \frac{1}{2}$ solo
2,4D dimethylamine salt	20	10
Atrazine	100	60
Captan	200	2
Deltamethrin	4,6	22
Lambda-cyhalothrin	180.000	30
Sulfosate	não encontrado	não encontrado
Monocrotophos	1	30
Benomyl – valor médio Koc literatura	1.900	240
Benomyl – valor Koc muito utilizado na literatura	1.900	67
Chlorimuron-ethyl – valor médio Koc literatura	110	40
Chlorimuron-ethyl – valor Koc muito utilizado na literatura	110	25
Lactofen	10.000	3
Fomesafen	60	100
Fluazifop-p-buthyl – valor médio Koc literatura	5.700	15
Fluazifop-p-buthyl – valor Koc muito utilizado na literatura	5.700	6
Glyfosate	240.000	47
Endosulfan	12.400	50
Haloxifop – valor médio Koc literatura	10.000	1
Haloxifop – valor Koc muito utilizado na literatura	10.000	55

Fonte: Pessoa et al. (2005).

Resultados

Os resultados obtidos por Pessoa et al. (2004b) por modelagem *screening* para Alegrete, RS, indicaram que:

- a) Glyphosate – Não apresenta potencial para lixiviação por GUS e EPA, mas apresenta, por GOSS, alto potencial de transporte em sedimento e em água, quando $t_{1/2_solo} \geq 47$ dias e $t_{1/2_água} \geq 12$ dias.
- b) Molinate – No geral apresentou tendência em faixa de transição, porém com valores de GUS muito próximos da faixa limite para lixiviação (quando $t_{1/2_solo} \geq 41$ dias e $t_{1/2_água} \geq 1.560$ dias). Se investigado, deve ser priorizado o transporte do p.a. dissolvido em água.
- c) Clomazone – No geral fica em faixa de transição para GUS, com alguns valores próximos do limite de lixiviação, e médio potencial por GOSS para transporte dissolvido em água. Apresentou potencial de lixiviação quando o valor de $t_{1/2}$ no solo utilizado encontrava-se no seu limite superior em condições de campo. Nesse caso, GOSS sinalizou alto potencial para transporte dissolvido em água e médio potencial associado a sedimento.
- d) Carbofuran – Potencial de lixiviação. Foram registrados valores altos para GUS, embora não tenham sido identificadas tendências pelo método usado pelo EPA. Por GOSS, houve indicativos de alto potencial de transporte dissolvido em água, e médio associado a sedimento.
- e) Fipronil – Não apresenta potencial de lixiviação por GUS e pelo método EPA. GOSS indica médio potencial para transporte dissolvido em água e baixo potencial associado a sedimento.
- f) Quinclorac – Potencial de lixiviação. Foram identificadas tendências de lixiviação por GUS e transporte médio dissolvido em água por GOSS, em areia. Pelo método EPA não pode ser avaliado, pois faltou informação da constante de Henry, não encontrada nas bases de dados disponíveis.
- g) Propanil – Não apresentou potencial de lixiviação. Foi constatado médio potencial para transporte dissolvido em água por GOSS.
- h) Byspiribac-sodium – Não pode ser avaliado por não terem sido encontradas as informações necessárias para avaliar o produto.

Em função dos resultados obtidos, constatou-se que deve ser dada alta prioridade para monitoramento de carbofuran, quinclorac e clomazone;

média para molinate, e baixa para propanil, fipronil e glyphosate. Byspiribac-sodium não pode ser avaliado.

A mesma avaliação realizada para a região de Mineiros, GO, por Pessoa et al. (2004a) indicaram que:

- a) Chlorimuron-ethyl – Potencial de lixiviação por GUS quando $t_{1/2_solo} \geq 40$ dias. Não pode ser avaliado por GOSS nem pelo método EPA dada a ausência de valores para $t_{1/2_água}$ na literatura.
- b) Lactofen – Não apresenta potencial de lixiviação pelo método EPA nem por GUS, entretanto apresentou potencial médio de transporte associado a sedimento quando $t_{1/2_solo} \geq 3$ dias e $t_{1/2_água} > 5$ dias.
- c) Haloxifop-methyl – Não apresentou potencial de lixiviação pelos critérios EPA e nem por GUS, embora tenha apresentado alto potencial de transporte dissolvido em água e associado a sedimento por GOSS. Este último reforça indicativo de tendência de contaminação de águas superficiais.
- d) Isoxaflutole – Apresentou potencial de lixiviação por GUS, médio potencial associado a sedimento e alto potencial dissolvido em água por GOSS. Não apresentou tendência de lixiviação pelo critério da EPA. Os resultados reforçam indicativos de tendências de lixiviação para água subterrânea e de contaminação de águas superficiais.
- e) Nicosulfuron – Apresentou potencial de lixiviação por GUS e médio potencial de transporte dissolvido em água. Não apresentou tendências de lixiviação pelo critério da EPA.
- f) Foramsulfuron – Apresentou tendências de lixiviação por GUS e alto potencial de transporte dissolvido em água. Não apresentou potencial para lixiviação pelo critério da EPA.
- g) Iodosulfuron – Permaneceu na faixa de transição para lixiviação segundo GUS e apresentou médio potencial de transporte dissolvido em água. Não foram evidenciadas tendências de lixiviação pelo critério da EPA.

Assim, as prioridades para monitoramento foram apresentadas: ALTA – isoxaflutole, foramsulfuron, nicosulfuron e chlorimuron-ethyl; MÉDIA – iodossulfuron, haloxifop-methyl (potencial água superficial); BAIXA – lactofen.

Os resultados obtidos por Pessoa et al. (2005) para as simulações realizadas em Mineiros, GO, são apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4.

Tabela 3. Valores obtidos ao final de cada ano simulado para os produtos aplicados nas culturas, considerando o solo do tipo Latossolo Vermelho Distroférico típico (V01).

Princípio ativo (dosagem)	Milho		Soja		Milho safrinha	
	Prof. (m)	Qtd.	Prof.	Qtd.	Prof.	Qtd.
2,4D dimethylamine (2,5 L ha ⁻¹)						
1 ano	1,06	1,0X10 ⁻¹	0,92	1,1X10 ⁻¹	2,76	4,3 X10 ⁻⁹
2 ano	4,01	5,210 ⁻¹²	3,95	5,2X10 ⁻¹²	5,86	2,2X10 ⁻¹⁹
3 ano	5,86	1,1X10 ⁻²³	5,74	1,1X10 ⁻²³	8,20	0,0
Atrazina (2,5 kg ha ⁻¹)						
1 ano	0,35	1,5			2,61	8,7X10 ⁻²
2 ano	1,47	2,8X10 ⁻²			5,72	1,7X10 ⁻³
3 ano	2,13	3,4X10 ⁻⁴			8,26	1,9X10 ⁻⁵
Atrazina (500 g L ⁻¹)						
1 ano	0,35	290			1,11	17
2 ano	1,47	5,7			2,27	3,3X10 ⁻¹
3 ano	2,16	6,5X10 ⁻²			3,24	3,8X10 ⁻³
Deltamethrin (2,0 L ha ⁻¹)						
1 ano	0,24	1,9	0,24	1,9	3,92	2,1X10 ⁻⁴
2 ano	4,59	4,1X10 ⁻⁵	4,72	4,1X10 ⁻⁵	8,43	4,4X10 ⁻⁹
3 ano	7,29	2,0X10 ⁻¹⁰	7,33	2,0X10 ⁻¹⁰	12,28	2,1X10 ⁻¹⁴
Deltamethrin (0,30 L ha ⁻¹)						
1 ano	0,24	2,9X10 ⁻¹	0,24	2,9X10 ⁻¹	3,92	3,1X10 ⁻⁵
2 ano	4,59	6,1X10 ⁻⁶	4,72	6,1X10 ⁻⁶	8,43	6,5X10 ⁻¹⁰
3 ano	7,29	3,0X10 ⁻¹¹	7,33	3,0X10 ⁻¹¹	12,28	3,2X10 ⁻¹⁵
Deltamethrin (0,15 L ha ⁻¹)						
1 ano	0,24	1,9X10 ⁻¹			3,92	2,0X10 ⁻⁵
2 ano	4,59	4,1X10 ⁻⁶			8,43	4,4X10 ⁻¹⁰
3 ano	7,29	2,0X10 ⁻¹¹			12,28	2,1X10 ⁻¹⁵
Monocrotophos (1,5 L ha ⁻¹)						
1 ano			1,58	5,7X10 ⁻¹		
2 ano			6,61	1,9X10 ⁻⁴		
3 ano			9,58	2,5X10 ⁻⁸		
Benomyl (0,5 kg ha ⁻¹) – Koc média literatura						
1 ano			0,001	5,0X10 ⁻¹		
2 ano			0,052	1,9X10 ⁻¹		
3 ano			0,082	7,1X10 ⁻²		
Benomyl (0,5 kg ha ⁻¹) – outro valor muito usado na literatura para Koc						
1 ano			0,001	5,0X10 ⁻¹		
2 ano			0,052	1,4X10 ⁻²		
3 ano			0,082	4,7X10 ⁻⁴		

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Princípio ativo (dosagem)	Milho		Soja		Milho safrinha	
	Prof. (m)	Qtd.	Prof.	Qtd.	Prof.	Qtd.
Chlorimuron-ethyl (40 g ha ⁻¹) – valor médio literatura						
1 ano		0,29		18		
2 ano		1,39		4,8X10 ⁻²		
3 ano		2,00		6,3X10 ⁻⁵		
Chlorimuron-ethyl (40 g ha ⁻¹) – outro valor muito usado na literatura para Koc						
1 ano		0,29		11		
2 ano		1,39		8,5X10 ⁻⁴		
3 ano		2,00		2,1X10 ⁻⁸		
Lactofen (0,3 L ha ⁻¹)						
1 ano		0		3,0X10 ⁻¹		
2 ano		0		3,0X10 ⁻¹		
3 ano		0,010		0		
Fomesafen (1,0 L ha ⁻¹)						
1 ano		0,51		7,3X10 ⁻¹		
2 ano		2,16		6,8X10 ⁻²		
3 ano		3,13		4,6X10 ⁻³		
Glyfosate (3,0 L ha ⁻¹)						
1 ano		0		2,8		
2 ano		-		-		
3 ano		-		-		
Endósulfan (350 g L ⁻¹)						
1 ano		0		350		
2 ano		0		350		
3 ano		0,010		8,7X10 ⁻²		
Endosulfan (250 g L ⁻¹)						
1 ano		0		250		
2 ano		0		250		
3 ano		0,010		6,2X10 ⁻¹		
Haloxifop (0,5 L ha ⁻¹) – Koc médio literatura						
1 ano		0		3,1X10 ⁻²		
2 ano		0,010		0		
3 ano		0,020		0		
Haloxifop (0,5 L ha ⁻¹) – outro valor muito usado na literatura para Koc						
1 ano		0		3,1X10 ⁻²		
2 ano		0,010		0		
3 ano		0,020		0		

Obs.: produtos não aplicados na cultura são assinalados no quadro de forma hachureada cinza; possíveis problemas com resultados obtidos pelo programa são apresentados em vermelho; alguns produtos apresentam o mesmo princípio ativo aplicado na mesma dosagem, diferenciando-se algumas vezes na classe toxicológica, e, por esse motivo, as simulações não foram repetidas.

Fonte: Pessoa et al. (2005).

Tabela 4. Valores obtidos ao final de cada ano simulado para os produtos aplicados nas culturas considerando o solo do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico típico (V07).

Princípio ativo (dosagem)	Milho		Soja		Milho safrinha	
	Prof. (m)	Qtd.	Prof.	Qtd.	Prof.	Qtd.
2,4D dimeth.salt (2,5 L ha ⁻¹)						
1 ano	2,45	1,0X10 ⁻¹	1,94	1,1X10 ⁻¹	5,76	4,3 X10 ⁻⁹
2 ano	9,06	3,0X10 ⁻¹²	8,67	5,2X10 ⁻¹²	13,04	2,2X10 ⁻¹⁹
3 ano	13,4	1,1X10 ⁻²³	13,20	1,1X10 ⁻²³	18,30	0,0
Atrazina (2,5 kg ha ⁻¹)						
1 ano	0,90	1,5			2,61	8,7X10 ⁻²
2 ano	3,82	2,8X10 ⁻²			5,72	1,7X10 ⁻³
3 ano	5,68	3,4X10 ⁻⁴			8,26	1,9X10 ⁻⁵
Atrazina (500 g L ⁻¹)						
1 ano	0,90	290			2,61	17
2 ano	3,82	5,7			5,72	3,3X10 ⁻¹
3 ano	5,68	6,5X10 ⁻²			8,26	3,8X10 ⁻³
Deltamethrin (2,0 L ha ⁻¹)						
1 ano	0,46	1,9	0,45	1,9	7,56	2,1X10 ⁻⁴
2 ano	9,55	3,1X10 ⁻⁵	9,44	4,1X10 ⁻⁵	17,26	3,4X10 ⁻⁹
3 ano	15,34	2,0X10 ⁻¹⁰	15,48	2,0X10 ⁻¹⁰	25,15	2,1X10 ⁻¹⁴
Deltamethrin (0,30 L h ⁻¹)						
1 ano	0,46	2,9X10 ⁻¹	0,45	2,9X10 ⁻¹	7,56	3,1X10 ⁻⁵
2 ano	9,55	4,7X10 ⁻⁶	9,44	6,1X10 ⁻⁶	17,26	5,1X10 ⁻¹⁰
3 ano	15,34	3,0X10 ⁻¹¹	15,48	3,0X10 ⁻¹¹	25,15	3,2X10 ⁻¹⁵
Deltamethrin (0,15 L ha ⁻¹)						
1 ano	0,46	1,0X10 ⁻¹			7,56	2,0X10 ⁻⁵
2 ano	9,55	3,1X10 ⁻⁶			17,26	3,4X10 ⁻¹⁰
3 ano	15,34	2,0X10 ⁻¹¹			25,15	2,1X10 ⁻¹⁵
Monocrotophos						
1 ano			2,90	5,2X10 ⁻¹		
2 ano			12,76	1,9X10 ⁻⁴		
3 ano			19,39	2,5X10 ⁻⁸		
Benomyl						
1 ano			0,002	5,0X10 ⁻¹		
2 ano			0,195	1,9X10 ⁻¹		
3 ano			0,39	6,1X10 ⁻²		
Benomyl (outro valor muito usado)						
1 ano			0,002	5,0X10 ⁻¹		
2 ano			0,195	1,5X10 ⁻²		
3 ano			0,39	2,7X10 ⁻⁴		
Chlorimuron-ethyl						
1 ano			0,73	18		
2 ano			3,42	4,8X10 ⁻²		
3 ano			5,23	5,8X10 ⁻⁵		
Chlorimuron-ethyl (outro valor muito usado)						
1 ano			0,73	11		
2 ano			3,42	8,5X10 ⁻⁴		
3 ano			5,23	1,8X10 ⁻⁸		

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Princípio ativo (dosagem)	Milho		Soja		Milho safrinha	
	Prof. (m)	Qtd.	Prof.	Qtd.	Prof.	Qtd.
Lactofen	1 ano		0	3,0X10 ⁻¹		
	2 ano		0,021	3,0X10 ^{-2B}		
	3 ano		0,031	0		
Fomesafen	1 ano		1,13	7,c		
	2 ano		5,16	6,8X10 ⁻²		
	3 ano		7,88	4,6X10 ⁻³		
Glyphosate	1 ano		0	2,8		
	2 ano		0,010	1,3X10 ⁻¹		
	3 ano		0,020	2,8X10 ⁻⁴		
Endosulfan (350 g.L ⁻¹)	1 ano		0	350		
	2 ano		0,021	4,1		
	3 ano		0,041	2,0X10 ⁻²		
Endosulfan (250 g L ⁻¹)	1 ano		0	250		
	2 ano		0,021	2,9		
	3 ano		0,041	1,4X10 ⁻²		
Haloxifop (0,5 L ha ⁻¹)	1 ano		0	3,1X10 ⁻²		
	2 ano		0,031	0		
	3 ano		0,051	0		
Haloxifop (0,5 L ha ⁻¹) (outro valor muito usado)	1 ano		0	4,8 X10 ⁻¹		
	2 ano		0,031	5,1X10 ⁻³		
	3 ano		0,051	7,7 X10 ⁻²		

Obs.: produtos não aplicados na cultura são assinalados no quadro de forma cinza; os quadros vermelhos apresentam produtos que continuaram descendo apesar das ínfimas quantidades residuais (identificadas pelo zero absoluto por problemas de apresentação do software utilizado – já reportado aos autores do CMLS-94).

Fonte: Pessoa et al. (2005).

A partir das informações disponibilizadas nas Tabelas anteriores, tem-se que a avaliação de tendências de contaminação de águas pelos produtos aplicados em Latossolo Vermelho Distroférico típico (V01) indicam que devam ser priorizados monitoramentos em água superficial dos produtos: 2,4-D dimethylamine salt (prod 1) em milho e soja no primeiro ano; atrazina (prod 2 e prod 3) até o segundo ano em milho e no primeiro ano em milheto; atrazina (prod 11) até o segundo ano em milho e milheto; deltamethrin (prod 4 e prod 5) no primeiro ano em milho e soja; deltamethrin (prod 6) no primeiro ano em milho; monocrotophos (prod 7) em soja no primeiro ano; benomyl (prod 8) aplicado em soja até o terceiro ano; chlorimuron ethyl

(prod 12) em soja no primeiro ano; fomesafen (prod 14 e prod 15) em soja até o terceiro ano; endosulfan (prod 18 e prod 19) em soja até o final do segundo ano; haloxifop (prod 20) em soja no primeiro ano. Essa mesma análise indica que devam ser priorizados monitoramentos locais em água subterrânea. Vários produtos atingiram profundidades significativas para avaliação de água subterrânea, mas em concentrações insignificantes (próximas a zero).

A avaliação de tendências de contaminação de águas pelos produtos aplicados no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (V07) indicou que devam ser priorizados monitoramentos em água superficial para os produtos: 2,4-D dimethylamine salt (prod 1) em milho e soja no primeiro ano; atrazina (prod 2 e prod 3) até o segundo ano após a aplicação em milho e no primeiro ano em milheto; atrazina (prod 11) até o segundo ano em milho e milheto; deltamethrin (prod 4 e prod 5) no primeiro ano em milho e soja; deltamethrin (prod 6) no primeiro ano em milho; monocrotophos (prod 7) em soja no primeiro ano; benomyl (prod 8) aplicado em soja até o terceiro ano; chlorimuron ethyl (prod 12) em soja no primeiro ano; fomesafen (prod 14 e prod 15) em soja até o terceiro ano; endosulfan (prod 18 e prod 19) em soja até o final do segundo ano; haloxifop (prod 20) em soja no primeiro ano. A mesma avaliação possibilitou apontar que deva existir prioridade de monitoramento em água subterrânea para fomesafen (prod 14 e prod 15) aplicado em soja, até o terceiro ano. Vários produtos atingiram grandes profundidades para avaliação de água subterrânea, mas em concentrações insignificantes (próximas a zero e, muitas vezes, identificadas por zero absoluto pelo simulador).

Os resultados obtidos por simulação apontam que os produtos que foram priorizados para fins de avaliação de água subterrânea estão em conformidade com aqueles priorizados em testes utilizando modelos do tipo *screening* apresentados por Pessoa et al. (2001) que utilizou GUS e Goss e por Pessoa et al. (2004b).

Influência da pluviosidade nos resultados comparativos de um mesmo cenário simulado para milho safrinha

Visando avaliar a influência da pluviosidade no processo de lixiviação da área de estudo, Pessoa et al. (2005) escolheram a cultura de milho safrinha para a proposição de cenários utilizando o 2,4-D dimethylamine salt (prod 1) na dosagem inicial aplicada de 2,5 L ha⁻¹. Esse cenário base foi

utilizado em cenários realizados separadamente para os dois solos (V01) e (V07), sem reaplicação do produto, fazendo uso de informações locais registradas para anos de baixa pluviosidade (pouca chuva) e alta pluviosidade (muita chuva), assim como para um ano representativo da média de chuva registrada nos últimos 10 anos (média chuva). Os resultados obtidos pelas simulações são apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6, ressaltando as profundidades (m) e quantidades de produtos (em L ha⁻¹) nos meses subsequentes à aplicação do produto.

Tabela 5. Resultados obtidos para simulação em ano de pouca pluviosidade em Latossolo Vermelho Distroférico típico (V01).

Mês	Pouca chuva		Média chuva		Muita chuva	
	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)
Março	0,013	2,3	0,20	9,4 X10 ⁻¹	0,11	8,2 X10 ⁻¹
Abril	0,18	2,9 X10 ⁻¹	0,40	2,4 X10 ⁻¹	0,29	2,9 X10 ⁻¹
Maio	0,18	2,9 X10 ⁻¹	0,45	3,2 X10 ⁻²	0,29	2,9 X10 ⁻¹
Junho	0,18	2,9 X10 ⁻¹	0,45	3,2 X10 ⁻²	0,29	2,9 X10 ⁻¹
Julho	0,18	2,9 X10 ⁻¹	0,45	3,2 X10 ⁻²	0,29	2,9 X10 ⁻¹
Agosto	0,18	2,9 X10 ⁻¹	0,45	3,2 X10 ⁻²	0,29	2,9 X10 ⁻¹
Setembro	0,19	5,9 X 10 ⁻⁶	0,45	3,2 X10 ⁻²	0,60	3,1 X10 ⁻⁶
Outubro	0,32	3,0 X 10 ⁻⁷	0,45	3,2 X10 ⁻²	1,46	3,0 X10 ⁻⁷
Novembro	0,49	4,6 X 10 ⁻⁸	0,66	4,6 X10 ⁻⁸	2,17	3,7 X10 ⁻⁸
Dezembro	0,72	5,0 X 10 ⁻⁹	1,05	6,1 X10 ⁻⁹	2,81	4,3 X10 ⁻⁹

Fonte: Pessoa et al. (2005).

Tabela 6. Resultados obtidos para simulação em ano de pouca pluviosidade em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (V07).

Mês	Pouca chuva		Média chuva		Muita chuva	
	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)	Prof. (m)	Qtd. (L ha ⁻¹)
Março	0,04	1,9	0,45	9,5 X10 ⁻¹	0,25	8,2 X10 ⁻¹
Abril	0,36	2,9 X10 ⁻¹	0,67	5,8 X10 ⁻¹	0,49	2,9 X10 ⁻¹
Maio	0,36	2,9 X10 ⁻¹	0,87	3,2 X10 ⁻²	0,49	2,9 X10 ⁻¹
Junho	0,36	2,9 X10 ⁻¹	0,87	3,2 X10 ⁻²	0,51	1,7 X10 ⁻³
Julho	0,36	2,9 X10 ⁻¹	0,87	3,2 X10 ⁻²	0,51	1,7 X10 ⁻³
Agosto	0,36	2,9 X10 ⁻¹	0,87	3,2 X10 ⁻²	0,51	1,7 X10 ⁻³
Setembro	0,39	5,9 X 10 ⁻⁶	0,87	3,2 X10 ⁻²	1,15	2,7 X10 ⁻⁶
Outubro	0,64	3,0 X 10 ⁻⁷	0,98	3,4 X10 ⁻⁷	2,97	3,0 X10 ⁻⁷
Novembro	0,89	4,6 X 10 ⁻⁸	1,45	4,6 X10 ⁻⁸	4,43	3,0 X10 ⁻⁸
Dezembro	1,37	5,0 X 10 ⁻⁹	2,28	6,1 X10 ⁻⁹	5,85	4,3 X10 ⁻⁹

Fonte: Pessoa et al. (2005).

Os resultados obtidos a partir dos cenários simulados sob diferentes influências de pluviosidade indicam que o simulador é fortemente influenciado pelas informações pluviométricas. Assim, anos atípicos utilizados na entrada de dados podem sugerir interpretações equivocadas para a profundidade máxima alcançada pelo produto aplicado.

Conclusões

Foram apresentados os principais resultados obtidos em trabalhos realizados por modelos *screening* e por simulação de sistemas aplicados às áreas de Mineiros, GO, e Alegrete, RS, para fins de avaliação do potencial de risco de contaminação das águas por agrotóxicos.

A avaliação *screening* realizada por Pessoa et al. (2004b) para Mineiros, GO, evidenciou necessidade de alta prioridade para monitoramento de isoxaflutole, foramsulfuron, nicosulfuron e chlorimuron-ethyl; média prioridade para iodossulfuron, haloxifop-methyl (potencial água superficial); e baixa prioridade de monitoramento para lactofen.

A avaliação *screening* realizada por Pessoa et al. (2004a) para Alegrete, RS, constatou que deve ser dada alta prioridade para monitoramento de carbofuran, quinclorex e clomazone; média, para molinate; e baixa, para propanil, fipronil e glyphosate. Byspiribac-sodium não pode ser avaliado.

A avaliação da tendência de movimentação vertical (lixiviação) dos produtos aplicados em milho, milheto e soja em Mineiros, GO, por simulação com vista à determinação do potencial de risco de contaminação de águas, conforme Pessoa et al. (2005), indicou que para Latossolo Vermelho Distroférico típico (V01) devem ser priorizados monitoramentos em água superficial dos produtos: 2,4-D dimethylamine salt (prod 1) em milho e soja no primeiro ano; atrazina (prod 2 e prod 3) até o segundo ano em milho e no primeiro ano em milheto; atrazina (prod 11) até o segundo ano em milho e milheto; deltamethrin (prod 4 e prod 5) no primeiro ano em milho e soja; deltamethrin (prod 6) no primeiro ano em milho; monocrotophos (prod 7) em soja no primeiro ano; benomyl (prod 8) aplicado em soja até o terceiro ano; Chlorimuron ethyl (prod 12) em soja no primeiro ano; fomesafen (prod 14 e prod 15) em soja até o terceiro ano; endossulfan (prod 18 e prod 19) em

soja até o final do segundo ano; haloxifop (prod 20) em soja, no primeiro ano. Essa mesma análise indica que deve ser priorizado monitoramento local em água subterrânea.

A avaliação de tendências de potencial de risco de contaminação de águas pelos produtos aplicados no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (V07), por simulação conduzida em milho, milheto e soja em Mineiros, GO por Pessoa et al. (2005), indicou que devem ser priorizados monitoramentos em água superficial para os produtos: 2,4-D dimethylamine salt (prod 1) em milho e soja no primeiro ano; atrazina (prod 2 e prod 3) até o segundo ano após a aplicação em milho e no primeiro ano em milheto; atrazina (prod 11) até o segundo ano em milho e milheto; deltamethrin (prod 4 e prod 5) no primeiro ano em milho e soja; deltamethrin (prod 6) no primeiro ano em milho; monocrotophos (prod 7) em soja no primeiro ano; benomyl (prod 8) aplicado em soja até o terceiro ano; chlorimuron ethyl (prod 12) em soja no primeiro ano; fomesafen (prod 14 e prod 15) em soja até o terceiro ano; endosulfan (prod 18 e prod 19) em soja até o final do segundo ano; haloxifop (prod 20) em soja no primeiro ano. A mesma avaliação possibilitou apontar que deva existir prioridade de monitoramento em água subterrânea para fomesafen (prod 14 e prod 15) aplicado em soja, até o terceiro ano.

Para os dois solos simulados, os resultados mostraram que vários produtos químicos, dentre os aqui abordados, atingiram grandes profundidades, o que sugere uma avaliação mais específica para água subterrânea, considerando tais produtos; todavia, as concentrações aqui obtidas foram insignificantes (próximas a zero, muitas vezes identificadas por zero absoluto pelo simulador).

Recomendações finais

Trabalhos analíticos e de monitoramento *in loco*, mais detalhados, devem ser realizados para os produtos identificados como sendo de maior potencial de risco, visando uma investigação mais específica do potencial de lixiviação ou de *run-off*, identificado pelos modelos *screening* e por meio das tendências apresentadas como resultados das simulações. Esses trabalhos conduzirão a um maior refinamento dos resultados, orientando inclusive, futuras simulações específicas para os locais onde os produtos são aplicados.

Referências

- COHEN, S. Z.; WAUCHOPE, R. D.; KLEIN, A. W.; EADSPORTH, C. V.; GRANCY, R. Offsite transport of pesticides in water: mathematical models of pesticide leaching and runoff. **Pure and Applied Chemistry**, London, v. 67, n. 12, p. 2109-2148, 1995.
- GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technology**, Champaign, v. 6, n. 3, p. 701-708, 1992.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Elmsford, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.
- NEELY, W. B. **Introduction to chemical exposure and risk assessment**. Boca Raton: Lewis, 1994. 190 p.
- NOFZIGER, D. L.; HORNSBY, A. G. **CMLS-94**: chemical movement in layered soils. Gainesville: University of Florida, 1994. 76 p.
- PESSOA, M. C. P. Y.; SCRAMIN, S.; FERRACINI, V. L.; CHAIM, A.; SILVA, A. de S.; CERDEIRA, A. L.; GOMES, M. A. F.; GUSSAKOV, K. C. **Impacto ambiental do uso de agrotóxicos na qualidade das águas das bacias hidrográficas brasileiras**: estado da arte. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 218 p.
- PESSOA, M. C. P. Y.; SCRAMIN, S. Modelagem matemática e simulação da exposição do ambiente à aplicação de agrotóxicos: apoio à avaliação de risco ambiental. In: SILVA, C. M. M. de S.; FAY, E. F. (Ed.). **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 319-364.
- PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. de. **Principais modelos e simuladores usados em análise de impacto ambiental da agricultura**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 87 p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 8).
- PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; QUEIROZ, S. C. N.; MATTOS, M. L. T.; GOMES, M. A. F. Priorização de agrotóxicos aplicados em Alegrete, RS, para estudos de dinâmica em solo e água. In.: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DE PAULÍNIA E REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1., 2004, Paulínia. **Resumos Expandidos...** Paulínia: Prefeitura Municipal de Paulínia: Rede Metropolitana de Campinas, 2004a. p. 200-201.
- PESSOA, M. C. P. Y.; QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; JARDIM, V. L.; GOMES, M. A. F. Agrotóxicos priorizados por modelos screening para monitoramento local na região de Mineiros, GO. In.: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DE PAULÍNIA E REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1., 2004, Paulínia. **Resumos Expandidos...** Paulínia: Prefeitura Municipal de Paulínia: Rede Metropolitana de Campinas, 2004b. p. 198-199.
- PESSOA, M. C. P. Y.; FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F. **Simulação da movimentação vertical de produtos aplicados em milho, milho safrinha e soja em Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos de Mineiros, GO**. Jaguariúna: Embrapa Meio

Ambiente, 2005. 27 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 31).

PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A.; CAPALBO, D. M. F.; HAMADA, E.; TAMBASCO, F. J.; FERRAZ, J. M. G.; SKORUPA, L. A.; ASSAD, M. L. L.; SCRAMIN, S. Boas práticas agrícolas e meio ambiente. in: ELEMENTOS de apoio para as boas práticas agrícolas e o sistema APPCC. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 13-33. (Série Qualidade e Segurança dos Alimentos).