

Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes métodos de aplicação¹

Pesticide drift simulation under different application methods

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha²

Resumo - A deriva dos agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura tradicional, independente do método de aplicação. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distância potencial de deriva de diferentes formas de aplicação de agrotóxicos, em diversas condições operacionais. Foi utilizado o programa computacional Driftsim para simular o efeito dos métodos de aplicação (aplicação convencional, aplicação aérea e quimigação) e da velocidade do vento (1; 3 e 5 m s⁻¹) na distância de deriva das gotas geradas. Empregaram-se, na simulação, dois espectros de gotas para cada método de aplicação. De acordo com os resultados, pode-se concluir que a aplicação de agrotóxico via água de irrigação proporcionou menor risco de deriva do que a aplicação convencional, e essa, menor do que a aplicação aérea. O espectro de gotas e a velocidade do vento foram os fatores que mais influenciaram a deriva, e a adequação entre esses dois fatores mostrou-se primordial para garantir a segurança da aplicação, principalmente aérea e convencional. A simulação computacional permitiu prever o risco de deriva em diversas condições operacionais.

Palavras-chave - Tecnologia de aplicação. Pulverização. Driftsim.

Abstract - Pesticide spray drift is a major problem in agriculture today, regardless of the application method. This work aimed to evaluate the potential drift distance of spray droplets delivered by different application methods, under different spray conditions. A computer program (Driftsim) was used to simulate the effect of the application methods (conventional application, aerial application and chemigation) and the wind velocities (1; 3 and 5 m s⁻¹) on drift distances. Two droplet spectrums were used in the simulation, for each application method. The results showed that the pesticide application through irrigation water provided lesser drift risk than the conventional application, and this one lesser than the aerial. The droplet spectrum and the wind velocity were the major factors that influenced drift, and the relation between those two factors was primordial to guarantee the application safety, mainly in aerial and conventional. The simulation allowed to predict the drift risk in several operational conditions.

Key words - Application technology. Spray. Driftsim.

* Autor para correspondência

¹ Recebido para publicação em 18/10/2007; aprovado em 24/07/2008

² Eng. Agrícola, D. Sc., bolsista PET/CAPES, Prof. do Instituto de Ciências Agrárias, ICIAG/UFU, Caixa Postal, 593, CEP: 38 400-902, Uberlândia, MG. Fone (34) 3218 2226, jpcunha@iciag.ufu.br

Introdução

Os agrotóxicos podem ser aplicados nas lavouras por meio de pulverizadores terrestres, aeronaves agrícolas, ou ainda por meio da água de irrigação. Essas três formas de aplicação podem representar risco ao ambiente quando mal manejadas. A deriva dos agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura tradicional. Eliminar completamente o problema é praticamente impossível, no entanto, ele pode ser minimizado empregando-se equipamentos corretos, com tecnologia adequada (HEWITT, 2000).

Há a idéia errônea de que a deriva aumenta quando o agrotóxico é usado em grandes volumes de água, como na quimigação (VIEIRA, 1994). No entanto, a forma de pulverização do jato e o vento são os fatores que mais influenciam esse processo.

Quando a calda é lançada no ar sob a forma de gotas, com determinada velocidade inicial, sua trajetória inevitavelmente será influenciada pelas condições ambientais (MOKEBA et al., 1997). A movimentação dependerá das forças de arraste que atuarão na aceleração ou desaceleração das gotas. Assim que é liberada, a gota é acelerada pela força de gravidade até que esta seja, então, contrabalanceada pelas forças aerodinâmicas de arraste, fazendo com que a queda ocorra a uma velocidade constante, chamada terminal. Essa velocidade terminal depende fundamentalmente do diâmetro e densidade da gota e da viscosidade e densidade do ar, e determinará o tempo em que a gota estará sujeita às forças horizontais e de evaporação (MATTHEWS, 2000).

Alguns estudos de campo já foram realizados objetivando avaliar a distância de deriva das aplicações de agrotóxicos, contudo, eles têm como limitação a impossibilidade de controlar e variar as condições ambientais. Além disso, a interferência das condições locais de terreno e vegetação também contribui para que ocorra uma alta variabilidade entre repetições, dificultando a análise desse tipo de experimento (ZHU et al., 1994).

A simulação computacional, nesse caso, tem se mostrado de grande importância para avaliar o efeito relativo dos vários fatores que influenciam o fenômeno da deriva (HOLTERMAN et al., 1997). Comercialmente, existem alguns programas com essa finalidade. Entre eles, destaca-se o Driftsim, que interpola valores de uma extensa base de dados de distância de deriva calculada pelo programa Fluent® (Fluent Inc.). Trata-se de um software, baseado em dinâmica dos fluidos computacional, específico para avaliação do risco de deriva a partir de informações da forma de pulverização e das condições climáticas do ambiente (ZHU et al., 1995).

Reichard et al. (1992b) compararam a simulação da deriva utilizando o programa Fluent® com avaliações em túnel de vento, e concluíram que a simulação da distância de deriva foi bastante precisa. Os autores, em outro trabalho de simulação computacional de deriva em aplicação convencional, concluíram que a perda de produto por arrastamento aumenta com o acréscimo na velocidade do vento e na altura de queda, mas diminui com o incremento da velocidade inicial e tamanho da gota (REICHARD et al., 1992a).

Com relação à quimigação, existe pouca informação a respeito de deriva. Mantovani e Ramos (1994) afirmam que na irrigação por aspersão, as perdas por evaporação e deriva podem variar de valores quase nulos, em irrigações noturnas, até 35% do total aplicado, em irrigações diurnas sob condições de ventos muito fortes (velocidade maior que 4 m s⁻¹).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distância potencial de deriva das aplicações de agrotóxicos convencional, aérea e via água de irrigação, em diferentes condições operacionais.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. Realizou-se um estudo teórico da distância horizontal percorrida por gotas de tamanho conhecido, para avaliar o potencial de deriva das aplicações de agrotóxicos em diversas condições operacionais. Foram consideradas aplicações terrestres, por meio de pulverização convencional e água de irrigação, e aplicações aéreas, por meio de aeronave agrícola de asa fixa.

Foi utilizado o programa computacional Driftsim (v. 1.12.04, 2004) para avaliar o efeito dos métodos de aplicação e da velocidade do vento na distância de deriva das gotas geradas. As variáveis consideradas foram: método de aplicação (aplicação convencional, aplicação aérea e quimigação) e velocidade do vento (1; 3 e 5 m s⁻¹). A temperatura e a umidade do ar consideradas para as simulações foram 28 °C e 65%, respectivamente. O detalhamento do programa é apresentado por Zhu et al. (2005).

Para cada método de aplicação, foram considerados dois espectros de gotas. Na aplicação convencional, considerou-se a pulverização feita por uma ponta de jato plano standard API 110-02 (Albuz Ceramiques), a 300 kPa de pressão (Simulação A), e por uma ponta anti-deriva de pré-orifício ADI 110-02 (Albuz Ceramiques), a 300 kPa de pressão (Simulação B). O espectro de gotas nessas duas condições foi obtido por Cunha et al. (2003). Na aplicação aérea, considerou-se a pulverização feita por uma aeronave

de asa fixa, à velocidade de vôo de 193 km h⁻¹ e pressão de 300 kPa, utilizando bico CP-03 (CP Products Company), com tamanho de ponta de 3,175 mm e ângulo de deflexão de 90° (Simulação C), e bico de jato plano 8008, com ângulo do bico de 0° (Simulação D). O espectro de gotas nessas condições foi obtido por Kirk (2004). Na quimigação, considerou-se uma aplicação feita via pivô-central, com aspersores Rain Bird 30 (Rain Bird Corporation), posicionados a 2 m de altura, com bico de 4 mm e ângulo de trajetória de 25°, utilizando uma pressão de 303 kPa (Simulação E) e 496 kPa (Simulação F). O espectro de gotas nessas condições foi determinado por Kincaid et al. (1996).

A velocidade inicial de queda das gotas, para as aplicações utilizando pontas de pulverização de agrotóxicos, foi calculada utilizando o módulo do programa Driftsim específico para essa finalidade. Para a aplicação via água de irrigação, utilizou-se a equação para cálculo de velocidade apresentada por Kincaid (1996):

$$V = (2 P_n)^{0,5} \quad (1)$$

onde,

V - velocidade de emissão da gota pelo aspersor, m s⁻¹

P_n - pressão do líquido, kPa.

Com relação ao espectro de gotas, os parâmetros seguintes foram tomados: D_{v0,1} (diâmetro de gota - µm - tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor), D_{v0,5} (diâmetro de gota tal - µm - que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica - DMV), D_{v0,9} (diâmetro de gota - µm - tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor)

e SPAN (amplitude relativa). Essa foi determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$SPAN = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}} \quad (2)$$

Os parâmetros utilizados em cada simulação encontram-se na Tabela 1. Após a entrada dos dados de espectro de gotas, velocidade inicial da gota, condições ambientais (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) e altura de queda, o programa calculou, para cada condição simulada, a percentagem de volume em nove classes de tamanho de gotas, de acordo com a amplitude do espectro, utilizando o método log-normal e, em seguida, a distância de deriva das gotas médias de cada classe.

Resultados e discussão

Nas Tabelas 2 a 7 são apresentados os resultados da distância horizontal teórica percorrida por gotas em nove classes de tamanho, determinados em função do espectro de gotas, para cada condição de aplicação simulada. Além da distância de deriva, o programa determinou a probabilidade de evaporação completa das gotas em função das condições ambientais de entrada.

De forma geral, durante as simulações, o tamanho das gotas e a velocidade do vento foram os fatores que mais influenciaram a distância de deriva. A redução no tamanho das gotas diminui a velocidade de queda, aumentando o tempo gasto para que elas se depositem no alvo e, por conseguinte, tornando-as mais susceptíveis à evaporação e à mudança de trajetória. As gotas pequenas apresentam maior relação superfície/peso e menor velocidade terminal, o que aumenta sua distância de deriva.

Analisando as Tabelas 2 e 3, é possível perceber que a utilização das pontas anti-deriva proporcionou

Tabela 1 - Parâmetros utilizados nas simulações de deriva para cada tipo de aplicação

| Parâmetro | Aplicação convencional | | Aplicação aérea | | Quimigação | |
|---|------------------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| | Simulação A | Simulação B | Simulação C | Simulação D | Simulação E | Simulação F |
| Alt. de queda (m) | 0,50 | 0,50 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Vel. inicial da gota (m s ⁻¹) | 20,90 | 20,90 | 20,90 | 20,90 | 24,60 | 31,50 |
| Pressão (kPa) | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 303,00 | 496,00 |
| Dv0,1 (µm) | 64,00 | 101,00 | 109,00 | 178,00 | 540,00 | 453,00 |
| Dv0,5 (µm) | 134,00 | 298,00 | 274,00 | 346,00 | 1.570,00 | 1.160,00 |
| Dv0,9 (µm) | 280,00 | 429,00 | 358,00 | 563,00 | 2.980,00 | 2.020,00 |
| Span | 1,61 | 1,10 | 0,91 | 1,11 | 1,55 | 1,35 |

uma redução do percentual de gotas de menor diâmetro, diminuindo o potencial de deriva das aplicações. Utilizando-se pontas standard, 10% do volume evapora antes de atingir o alvo, indicando uma perda grande de produto. Com as pontas anti-deriva, essa perda é reduzida para 3%. Empregando-se gotas de tamanho superior a 100 μm e velocidade do vento inferior a 3 m s^{-1} , é possível trabalhar com distância de deriva bastante reduzida, em geral menor que 1 m.

Para a situação mais crítica, sem a ocorrência de evaporação total das gotas, a distância de deriva estendeu-se até aproximadamente 6 m. Este resultado está de acordo com Snoo e Wit (1998). Os autores, avaliando a eficiência

de zonas de segurança (“buffer zones”) na redução da contaminação causada pelo arrastamento das gotas, concluíram que o estabelecimento de zonas de segurança de 6 m reduz drasticamente o problema da deriva. Eles também concluíram que os fatores que mais influenciaram a intensidade da deriva foram as pontas de pulverização e a velocidade do vento.

Com relação às Tabelas 4 e 5, apesar do espectro de gotas não diferir muito da aplicação convencional, a maior altura de lançamento na aplicação aérea conferiu maior distância de deriva. Utilizando o bico CP-03, 10% do volume evapora antes de atingir o alvo. Os maiores valores de distância de deriva foram obtidos com esse

Tabela 2 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação convencional, utilizando pontas de jato plano standard API a 300 kPa de pressão (Simulação A)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|--------|--------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 16-48 | 1 | 3,49* | 6,04* | 8,45* |
| 2 | 48-80 | 9 | 6,08* | 14,70* | 23,09* |
| 3 | 80-126 | 22 | 1,25 | 3,74 | 6,25 |
| 4 | 126-157 | 21 | 0,44 | 1,33 | 2,22 |
| 5 | 157-187 | 13 | 0,18 | 0,52 | 0,89 |
| 6 | 187-218 | 10 | 0,07 | 0,19 | 0,33 |
| 7 | 218-249 | 7 | 0,04 | 0,11 | 0,19 |
| 8 | 249-280 | 5 | 0,03 | 0,08 | 0,13 |
| 9 | 280-311 | 12 | 0,02 | 0,06 | 0,10 |

* As gotas evaporam completamente antes da deposição, de acordo com a simulação

Tabela 3 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação convencional, utilizando pontas de jato plano anti-deriva ADI a 300 kPa de pressão (Simulação B)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|--------|--------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 25-76 | 3 | 5,19* | 11,12* | 16,88* |
| 2 | 76-126 | 7 | 1,30 | 3,89 | 6,49 |
| 3 | 126-195 | 10 | 0,25 | 0,74 | 1,25 |
| 4 | 195-242 | 11 | 0,05 | 0,14 | 0,24 |
| 5 | 242-288 | 10 | 0,03 | 0,08 | 0,12 |
| 6 | 288-335 | 12 | 0,02 | 0,05 | 0,09 |
| 7 | 335-382 | 13 | 0,01 | 0,04 | 0,06 |
| 8 | 382-429 | 15 | 0,01 | 0,03 | 0,05 |
| 9 | 429-470 | 19 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |

* As gotas evaporam completamente antes da deposição, de acordo com a simulação

Tabela 4 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação aérea, utilizando bico CP-03 a 300 kPa de pressão (Simulação C)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|--------|--------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 27-82 | 3 | 5,74* | 12,61* | 19,61* |
| 2 | 82-136 | 7 | 10,13* | 27,97* | 45,79* |
| 3 | 136-180 | 9 | 3,52 | 10,54 | 17,60 |
| 4 | 180-216 | 9 | 2,25 | 6,72 | 11,23 |
| 5 | 216-251 | 9 | 1,66 | 4,96 | 8,31 |
| 6 | 251-287 | 11 | 1,26 | 3,77 | 6,32 |
| 7 | 287-322 | 14 | 0,96 | 2,89 | 4,85 |
| 8 | 322-358 | 18 | 0,75 | 2,24 | 3,76 |
| 9 | 358-394 | 20 | 0,58 | 1,73 | 2,92 |

* As gotas evaporam completamente antes da deposição, de acordo com a simulação

Tabela 5 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação aérea, utilizando bico de jato plano com ponta 8008 a 300 kPa de pressão (Simulação D)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|--------|--------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 45-134 | 1 | 10,83* | 28,03* | 45,47* |
| 2 | 134-223 | 9 | 2,76 | 8,27 | 13,82 |
| 3 | 223-288 | 17 | 1,40 | 4,19 | 7,02 |
| 4 | 288-343 | 16 | 0,90 | 2,69 | 4,52 |
| 5 | 343-398 | 14 | 0,60 | 1,80 | 3,04 |
| 6 | 398-453 | 12 | 0,40 | 1,21 | 2,05 |
| 7 | 453-508 | 10 | 0,27 | 0,83 | 1,42 |
| 8 | 508-563 | 8 | 0,20 | 0,60 | 1,02 |
| 9 | 563-618 | 13 | 0,15 | 0,45 | 0,77 |

* As gotas evaporam completamente antes da deposição, de acordo com a simulação

bico, podendo atingir nas condições extremas simuladas, sem evaporação completa da gota, aproximadamente 18 m. Empregando o bico 8008, que apresentou nas condições avaliadas um DMV superior ao CP-3, notou-se redução na evaporação das gotas e na distância de deriva, demonstrando a importância de se avaliar o espectro de gotas e a velocidade do vento antes de iniciar uma aplicação aérea.

Em condições de campo, a distância de deriva pode ser superior aos valores calculados se, durante a trajetória, a gota tiver seu diâmetro diminuído, pelo processo de evaporação/turbulência, por exemplo. Deve-se levar em consideração também que, na ocorrência de fatores que

dificultem a deposição do produto (altas temperaturas, inversão térmica e estabilidade do ar), gotas muito pequenas podem sofrer deriva a grandes distâncias mesmo sob a ação de ventos relativamente fracos, o que é muito difícil de ser previsto devido a complexidade dos fatores ambientais envolvidos.

Esses resultados vão de encontro aos observados por Marrs et al. (1992), que verificaram que, apesar da maior intensidade de deriva na aplicação aérea ocorrer até 35 m de distância da área-alvo, efeitos da mudança de trajetória das gotas foram sentidos a distâncias superiores a 100 m, sugerindo que o comprimento da zona de segurança deve ser maior que 160 m. No entanto, ainda

são necessários mais estudos, que levem em consideração as propriedades físico-químicas da calda e as diferentes condições climáticas, para permitir estabelecer as zonas de segurança com maior precisão. Nota-se, neste trabalho, que a deriva está interligada com a evaporação e, portanto, os dois fenômenos devem ser analisados em conjunto.

Uma das causas da deriva nas aplicações aéreas está ligada à amplitude relativa do espectro de gotas, em geral alta para pontas de pulverização. A utilização de atomizadores rotativos pode reduzir essa amplitude, resultando, mediante uma correta seleção do tamanho das gotas, em menor porção de volume com gotas de pequeno diâmetro, inferior a 150 μm . Nas Tabelas 6 e 7, é mostrada a distância de deriva para a quimigação. Apesar de a distância de lançamento ser superior à aplicação convencional, o maior tamanho das gotas geradas faz com

que haja menor risco de deriva e evaporação. O incremento da pressão de operação aumentou a distância de deriva, no entanto, a porção de volume com deriva superior a 1 m foi próxima a 2%, indicando um baixo risco de contaminação de áreas vizinhas. Mantovani e Ramos (1994) também mostram que a utilização de maiores pressões na irrigação por aspersão pode ocasionar fracionamento excessivo do jato, implicando um maior potencial de evaporação e arraste das gotículas que saem do aspersor.

Um dos problemas apresentados pela quimigação é que a amplitude (Span) do espectro de gotas foi relativamente alta, o que demonstra uma desuniformidade do tamanho das gotas geradas pelos aspersores em comparação às pontas tradicionais. Dessa forma, apesar do valor do DMV ser alto (1160 e 1570 μm), parte da aplicação se perde por arrastamento com velocidades

Tabela 6 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação via pivô-central, utilizando aspersor Rain Bird 30 a 303 kPa de pressão (Simulação E)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|------|------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 135-405 | 2 | 1,17 | 3,50 | 5,87 |
| 2 | 405-675 | 8 | 0,16 | 0,47 | 0,81 |
| 3 | 675-1237 | 16 | 0,04 | 0,14 | 0,23 |
| 4 | 1237-1586 | 18 | 0,03 | 0,08 | 0,13 |
| 5 | 1586-1934 | 13 | 0,02 | 0,06 | 0,10 |
| 6 | 1934-2283 | 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 2283-2631 | 10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 2631-2980 | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 2980-3329 | 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabela 7 - Efeito do tamanho de gota e da velocidade do vento na distância de deriva da aplicação via pivô-central, utilizando aspersor Rain Bird 30 a 496 kPa de pressão (Simulação F)

| Classe de tamanho | Faixa de diâmetro (μm) | Porção de volume (%) | Distância de deriva (m) | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|---|------|------|
| | | | Velocidade do vento (m s^{-1}) | | |
| | | | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 113-340 | 2 | 1,67 | 5,00 | 8,37 |
| 2 | 340-566 | 8 | 0,27 | 0,81 | 1,38 |
| 3 | 566-901 | 15 | 0,08 | 0,22 | 0,38 |
| 4 | 901-1125 | 17 | 0,04 | 0,13 | 0,21 |
| 5 | 1125-1348 | 13 | 0,03 | 0,10 | 0,16 |
| 6 | 1348-1572 | 12 | 0,03 | 0,07 | 0,13 |
| 7 | 1572-1796 | 11 | 0,02 | 0,06 | 0,11 |
| 8 | 1796-2020 | 9 | 0,02 | 0,05 | 0,09 |
| 9 | 2020-2244 | 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

de vento elevadas, em virtude das gotas de pequeno diâmetro. Além disso, outra parte também pode ser perdida por escorrimento, em virtude das gotas muito grossas. Assim, apesar do menor risco de deriva, deve-se analisar previamente a deposição no dossel das culturas promovida pela quimigação.

De acordo com Moreira e Stone (1994), quando a velocidade do vento varia de 0 a 2,2 m s⁻¹, a uniformidade de distribuição de água na irrigação não é influenciada, e velocidades de até 3,6 m s⁻¹ podem ser toleradas. Além desse limite, a distribuição de água é prejudicada.

Conclusões

Nas condições simuladas, a aplicação de agrotóxico via água de irrigação proporcionou menor risco de deriva do que a aplicação convencional, e essa, menor do que a aplicação aérea. O espectro de gotas e a velocidade do vento foram os fatores que mais influenciaram a deriva, e a adequação entre esses dois fatores mostrou-se primordial para garantir a segurança da aplicação, principalmente aérea e convencional. A simulação computacional permite prever o risco de deriva em diversas condições operacionais, constituindo-se uma ferramenta importante para prever o comprimento ideal de zonas de segurança.

Agradecimentos

Ao pesquisador do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos Dr. Heping Zhu, pela doação do software Driftsim à Universidade Federal de Uberlândia.

Referências

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxico em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 02, p. 325-332, 2003.

HEWITT, A. J. Spray drift: impact of requirements to protect the environment. **Crop Protection**, v. 19, n. 08, p. 623-627, 2000.

HOLTERMAN, H. J. et al. Modeling spray drift from boom sprayers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 19, n. 01, p. 01-22, 1997.

KINCAID, D. C. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 03, p. 847-853, 1996.

KINCAID, D. C.; SOLOMON, K. H.; OLIPHANT, J. C. Drop size distributions for irrigations sprinklers. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 03, p. 839-845, 1996.

KIRK, I. W. **Aerial Applicators Spray Nozzle Handbook**. Texas: USDA-ARS, 2004. 242 p.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. p. 129-158.

MARRS, R. H. et al. Aerial application of asulam: a bioassay technique for assessing buffer zones to protect sensitive sites in upland Britain. **Biological Conservation**, v. 59, n. 01, p. 19-23, 1992.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. London: Blackwell, 2000. 448 p.

MOKEBA, M. L. et al. Simulating the dynamics of spray droplets in the atmosphere using ballistic and random-walk models combined. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 68, n. 4, p. 923-933, 1997.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F. Calibração. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. p. 159-182.

REICHARD, D. L. et al. Computer simulation of variables that influence spray drift. **Transactions of the ASAE**, v. 05, n. 05, p. 1401-1407, 1992a.

REICHARD, D. L. et al. Wind tunnel evaluation of a computer program to model spray drift. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 03, p. 755-758, 1992b.

SNOO, G. R.; WIT, P. J. Buffer zones for reducing pesticide drift to ditches and risks to aquatic organisms. **Ecotoxicology and Environment Safety**, v. 41, n. 01, p. 112-118, 1998.

VIEIRA, R. F. Introdução à quimigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. p. 13-40.

ZHU, H.; FOX, R. D.; OZKAN, H. E. **A windows version of Driftsim for estimating drift distances of droplets**. St. Joseph: ASAE, 2005. 10 p.

ZHU, H. et al. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, v. 37, n. 05, p. 1401-1407, 1994.

ZHU, H. et al. Driftsim, a program to estimate drift distances of spray droplets. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 11, n. 03, p. 365-369, 1995.