

# SIMULAÇÃO DA DERIVA DE AGROTÓXICOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE PULVERIZAÇÃO

## Pesticide drift simulation under different spray conditions

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha<sup>1</sup>

### RESUMO

A deriva nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura. Entre os fatores que a influenciam, o tamanho das gotas pulverizadas e a velocidade do vento têm-se mostrado primordiais. Objetivou-se, no presente trabalho, determinar a distância horizontal teórica percorrida por gotas de tamanho conhecido, submetidas a diferentes alturas de lançamento e velocidades do vento. Utilizando-se de equações clássicas da mecânica dos fluidos e da metodologia de superfície de resposta, determinou-se a distância que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de alturas variadas, em função do tamanho das gotas pulverizadas, da densidade do líquido e da velocidade horizontal. A análise dos dados permitiu estimar a distância horizontal percorrida por gotas de pulverização, em diversas condições de lançamento, estando os resultados simulados altamente correlacionados com o diâmetro das gotas e com a velocidade de deslocamento horizontal. Nas condições avaliadas, a distância horizontal máxima percorrida pelas gotas foi inferior a 40 m.

**Termos para indexação:** Tecnologia de aplicação, pulverizador, tamanho de gotas, pontas de pulverização.

### ABSTRACT

Pesticide spray drift is a major problem in agriculture today. Among the factors affecting drift, droplet size and wind velocity are of paramount importance. Thus, this work aimed to evaluate the theoretical horizontal distance traveled by droplets of known size, subjected to different discharge heights and wind velocities. Using traditional equations of Fluid Mechanics and response surface methodology, the distance traveled by droplets discharged from different heights was determined by droplet size, liquid density and wind velocity. Data analysis allowed to simulate the horizontal distance traveled by droplets in several discharge conditions. Drift has shown to be highly related to droplet diameter and wind velocity. In the simulated conditions, the maximum horizontal distance traveled by droplets was less than 40 m.

**Index terms:** Application technology, sprayer, droplet size, spray nozzles.

(Recebido em 22 de junho de 2006 e aprovado em 19 de abril de 2007)

### INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, há na sociedade consenso de que os agrotóxicos são prejudiciais ao homem, em razão das notícias de contaminação ambiental. O seu uso, no entanto, tem contribuído com a prática agrícola, permitindo o cultivo em larga escala. Sua utilização deve ser feita de maneira racional, dentro do contexto mais amplo da proteção integrada de plantas. Evita-se, assim, a contaminação do solo e da água, os danos à saúde humana e animal e o aparecimento de pragas, doenças e plantas daninhas mais resistentes.

Na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e pouca à técnica de aplicação. Não basta conhecer o produto a ser aplicado, mas fundamental também é conhecer a forma de aplicação. É preciso garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas.

O objetivo da tecnologia de aplicação de agrotóxicos é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando o mínimo possível o ambiente (MATTHEWS, 2002). Muitas vezes, entretanto, parte do produto aplicado se perde para o ambiente, principalmente por deriva. Além do prejuízo resultante da perda de agrotóxico e dos danos que podem ser causados em culturas adjacentes, a deriva assume grande importância por causa da conscientização da população, nos últimos anos, em relação à saúde e ao ambiente (GIL & SINFORT, 2005).

A deriva de agrotóxicos continua sendo um dos maiores problemas da agricultura moderna (SUMNER & SUMNER, 1999; TSAI et al., 2005). O desvio da trajetória que impede as gotas produzidas de atingirem seu alvo está relacionado, principalmente, ao tamanho das gotas e

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola, Doutor – Instituto de Ciências Agrárias/ICIAg – Universidade Federal de Uberlândia/UFU – Campus Umuarama – Cx. P. 593 – 38400-902 – Uberlândia, MG – jpcunha@iciag.ufu.br

às condições ambientais. De acordo com as condições locais de aplicação, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho, garantindo, ao mesmo tempo, eficácia biológica e segurança ambiental. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY et al., 2000; SUMNER, 1997; WOLF, 2000). De acordo com Zhu et al. (1994), gotas com diâmetro acima de 500  $\mu\text{m}$  têm pouco problema de deriva e gotas abaixo de 50  $\mu\text{m}$ , em geral, evaporam antes de atingir o solo.

A escolha e o uso adequado de pontas de pulverização constituem passos importantes para a melhoria das condições de precisão e segurança na aplicação de agrotóxicos (WOMAC et al., 1997). Segundo Johnson & Swetnam (1996), a seleção apropriada das pontas é essencial para a correta aplicação, sendo o fator principal determinante da quantidade aplicada por área, da uniformidade de aplicação, da cobertura obtida e do risco potencial de deriva. No entanto, fatores como altura de lançamento da gota em relação ao alvo, densidade do líquido pulverizado e temperatura do ar também influenciam a deriva, e precisam ser considerados nos programas de redução de deriva.

Em alguns países, uma das soluções encontradas para reduzir esse problema foi o estabelecimento das chamadas zonas de segurança ("buffer zones") (SNOO, 1999). Trata-se de uma faixa de vegetação que não pode receber a aplicação de agrotóxico para proteger uma determinada área sensível como, por exemplo, um curso de água. A extensão dessa faixa, no entanto, é variável e depende das condições das aplicações. Portanto, fazem-se necessários estudos que simulem a distância horizontal que uma gota pode percorrer em diversas condições operacionais de lançamento, para subsidiar o estabelecimento da extensão correta dessas zonas de segurança.

Objetivou-se no presente trabalho determinar a distância horizontal teórica percorrida por gotas de tamanho conhecido, submetidas, durante a pulverização, a diferentes alturas de lançamento e velocidades do vento.

## MATERIALE MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. Realizou-se um estudo teórico da distância horizontal percorrida por uma gota de tamanho conhecido, para avaliar o

potencial de deriva das aplicações de agrotóxicos em diversas condições, seguindo a metodologia apresentada por Cunha (2003). Utilizando-se, inicialmente, de equações clássicas da Mecânica dos Fluidos, determinou-se a distância que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de determinada altura, em função do tamanho das gotas pulverizadas, da densidade do líquido e da velocidade horizontal.

A distância percorrida por uma gota de diâmetro  $d_g$ , durante sua trajetória no ar, sem assistência mecânica de ar junto ao seu lançamento, pode ser estimada a partir da sua velocidade de queda ou terminal,  $v_t$ , e da velocidade horizontal,  $v_h$ , a ela imprimida pelos ventos e/ou ponta de pulverização. Apesar da velocidade inicial das gotas poder ser maior que a sua velocidade terminal, em geral, para as gotas com maior problema de deriva (diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$ ), essas velocidades se igualam muito rapidamente em virtude da resistência do ar (MATTHEWS, 2000).

Considerando, então, tempos de aceleração pequenos, admite-se que a gota desloca-se com velocidade constante tanto na vertical quanto na horizontal. Nesse caso, as duas velocidades são dadas por:

$$v_t = \frac{Y}{t} \quad (1)$$

$$v_h = \frac{X}{t} \quad (2)$$

em que,  $v_t$ : velocidade terminal,  $\text{m s}^{-1}$ ;  $v_h$ : velocidade horizontal,  $\text{m s}^{-1}$ ;  $Y$ : distância percorrida na vertical,  $\text{m}$ ;  $X$ : distância percorrida na horizontal,  $\text{m}$ ; e  $t$ : tempo em que a gota permanece suspensa no ar,  $\text{s}$ .

A distância percorrida pela gota pode, dessa forma, ser expressa por:

$$X = Y \frac{v_h}{v_t} \quad (3)$$

Torna-se, portanto, necessário estimar a distância percorrida na vertical, a velocidade horizontal e a velocidade terminal para obter a distância percorrida na horizontal. A distância percorrida na vertical e a velocidade horizontal dependem das condições locais de pulverização, da posição do bico e dos ventos. A velocidade terminal ( $v_t$ ) pode ser estimada a partir de um balanço de forças na gota: peso menos o empuxo é igual à força de arraste.

$$(\rho_G - \rho_f)g \frac{\pi d_G^3}{6} = \frac{C_D \rho_f v_t^2}{2} \frac{\pi d_G^2}{4} \quad (4)$$

em que,  $\rho_G$ : densidade da gota,  $\text{kg m}^{-3}$ ;  $\rho_f$ : densidade do ar,  $\text{kg m}^{-3}$ ;  $d_G$ : diâmetro da gota, m;  $g$ : aceleração da gravidade,  $\text{m s}^{-2}$ ; e  $C_D$ : coeficiente de arraste.

O coeficiente de arraste depende do regime de escoamento que pode ser expresso em termos do número de Reynolds da gota ( $\text{Re}_G$ ), dado por (BIRD et al., 1960):

$$\text{Re}_G = \frac{\rho_f d_G v_t}{\mu} \quad (5)$$

em que,  $\text{Re}_G$ : número de Reynolds; e  $\mu$ : viscosidade absoluta do ar,  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

O coeficiente de arraste ( $C_D$ ) adotado foi obtido utilizando-se a expressão sugerida por Bird et al. (1960):

$$C_D = \frac{18,5}{\text{Re}_G^{3/5}} \quad (6)$$

Substituindo-se a Equação (6) na Equação (4), obtém-se para a velocidade terminal a seguinte expressão:

$$v_t = \left[ \frac{0,072^5 (\rho_G - \rho_f)^5 g^5 d_G^8}{\rho_f^2 \mu^3} \right]^{1/7} \quad (7)$$

Observa-se que a velocidade terminal, nesse caso, é proporcional a  $d_G^{8/7}$ , ou seja, uma dependência próxima da linear. Assim, utilizando-se as Equações (3) e (7) e assumindo os valores presentes na Tabela 1, calculou-se a distância teórica percorrida por uma gota na faixa de diâmetro entre 40 e 600  $\mu\text{m}$ , para condições de velocidade de vento variando de 1,0 a 5,0  $\text{m s}^{-1}$ . Essa distância permite avaliar o risco potencial de deriva das aplicações de

agrotóxicos pulverizados hidráulicamente, considerando-se diferentes condições de operação do pulverizador. A altura de queda utilizada foi de 0,3; 0,5 e 0,8 m.

Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta para estudar o comportamento da distância horizontal percorrida pelas gotas em função do seu diâmetro e da velocidade de deslocamento horizontal. Além da simplificação das propriedades físicas das gotas e do ar, o modelo também não considerou o fenômeno de evaporação, que pode alterar o tamanho das gotas. De acordo com Zhu et al. (1994), determinar a distância de deriva de forma exata é um processo muito difícil, em virtude da complexidade dos muitos fatores que a influenciam.

A densidade do líquido de pulverização ( $\rho_G$ ) considerado foi de 1.000  $\text{kg m}^{-3}$ . A água pura apresenta uma densidade próxima a esse valor (*Densidade aparente da água a 20°C* = 997,15  $\text{kg m}^{-3}$ ), no entanto, com a adição de agroquímicos, principalmente adjuvantes, esse valor pode ser alterado. Adjuvantes à base de óleo vegetal, em geral, apresentam densidade inferior a da água, próxima a 920  $\text{kg m}^{-3}$ , enquanto alguns adjuvantes complexos de múltiplas funções apresentam densidade pouco superior, próxima a 1.100  $\text{kg m}^{-3}$ . Contudo, em virtude das quantidades adicionadas de adjuvantes serem pequenas comparativamente à água, a alteração do valor global da densidade da calda é quase sempre pequena.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se na Figura 1 o modelo de superfície de resposta ajustado para a Equação 3, em função do diâmetro da gota e da velocidade de deslocamento horizontal, considerando a altura de lançamento da gota de 0,3; 0,5 e 0,8 m. Para melhor estudar o comportamento da distância horizontal percorrida pelas gotas, foram feitos cortes no modelo de superfície de resposta ajustado para as diferentes alturas de lançamento, que apresentam-se na Figura 2.

Observa-se que os maiores valores de distância horizontal percorrida ocorreram para as gotas de menor diâmetro, nas maiores velocidades de deslocamento horizontal e em maiores alturas de lançamento. As gotas

Tabela 1 - Valores admitidos para os cálculos da distância horizontal teórica percorrida por gotas de diâmetro conhecido, a 20°C.

Parâmetro	Valor
Densidade da gota, $\rho_G$	1,0 x 10 <sup>3</sup> $\text{kg m}^{-3}$
Densidade do ar, $\rho_f$	1,2 $\text{kg m}^{-3}$
Viscosidade do ar, $\mu$	1,8 x 10 <sup>-5</sup> $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
Gravidade, $g$	9,8 $\text{m s}^{-2}$

de menor diâmetro possuem menor peso e, por isso, estão mais sujeitas à ação do vento, pois o tamanho da gota influencia diretamente sua velocidade terminal (Equação 7). Na prática, o conhecimento dessa relação é importante para prever o risco de deriva, principalmente quando for

preciso estabelecer zonas de segurança. As superfícies de resposta geradas permitem, inclusive, estimar o comprimento dessas zonas. Também permitem selecionar o tamanho de gota, ideal para cada situação de trabalho, incluindo a altura de pulverização e a velocidade do vento.

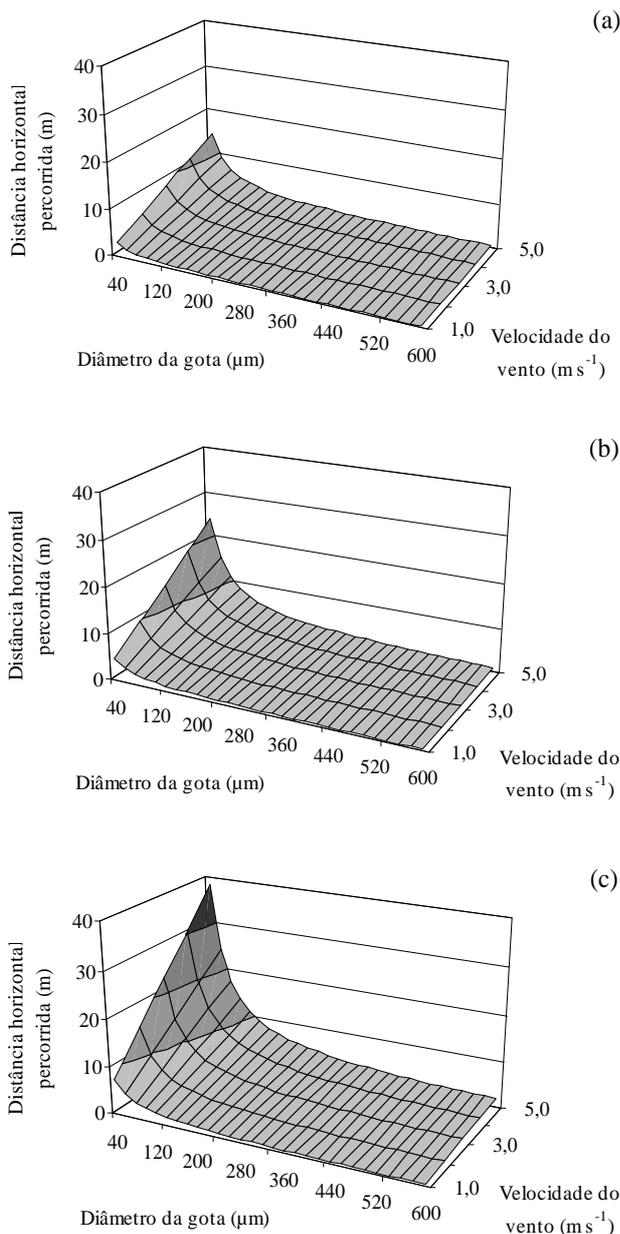


Figura 1 – Superfície de resposta do modelo ajustado para a distância horizontal teórica percorrida por uma gota, em função do seu diâmetro e da velocidade do vento, considerando-se uma altura de lançamento de 0,3 (a), 0,5 (b) e 0,8 m (c).

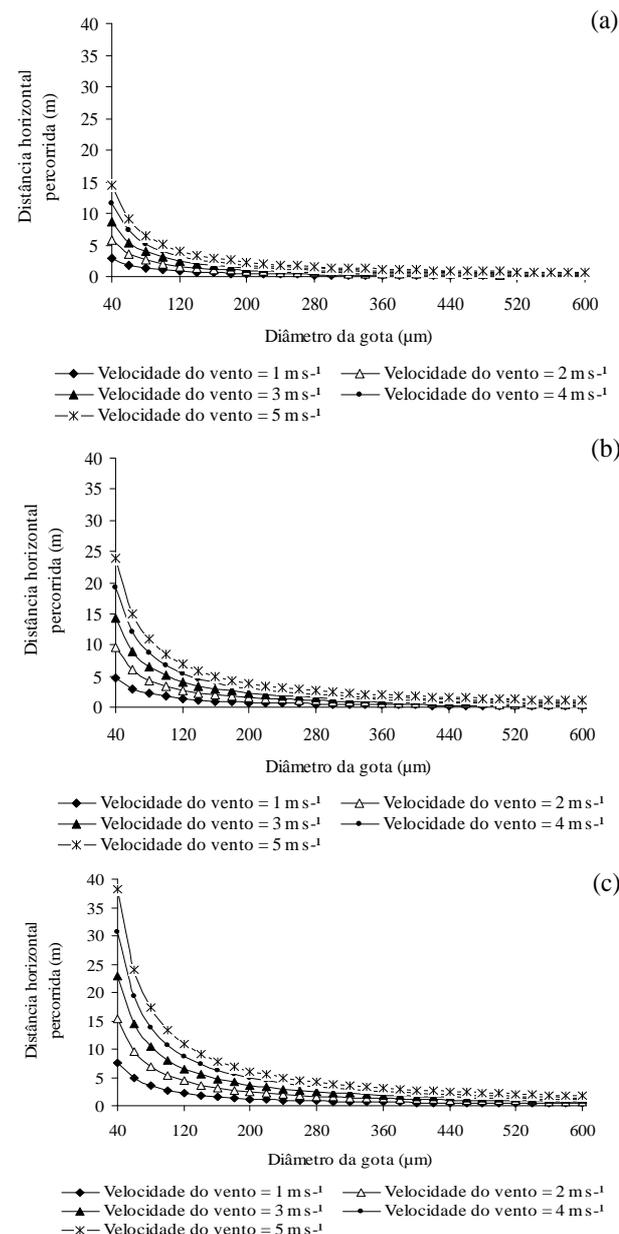


Figura 2 – Representação do corte na superfície de resposta referente à estimativa da distância horizontal teórica percorrida por uma gota, em função do seu diâmetro, considerando uma altura de lançamento de 0,3 (a), 0,5 (b) e 0,8 m (c), em diferentes velocidades do vento.

A determinação da distância horizontal percorrida pelas gotas pulverizadas nas diversas condições de velocidade do vento, altura da barra, tipo de ponta de pulverização e característica do líquido permite evitar possíveis riscos de contaminação, mediante o uso de medidas mitigadoras.

Nas condições avaliadas, a maior distância horizontal estimada possível de ser percorrida, que foi de 38,3 m, ocorreu para gotas de 40  $\mu\text{m}$ , em condições de velocidade do vento de 5  $\text{m s}^{-1}$  e altura de lançamento de 0,8 m. Em condições de campo, essa distância pode ser superior se, durante a trajetória, a gota tiver seu diâmetro diminuído, pelo processo de evaporação, 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 finas podem sofrer deriva a grandes distâncias, mesmo sob a ação de ventos relativamente fracos.

Na maioria das condições avaliadas, o fenômeno da deriva estendeu-se prioritariamente por um comprimento de até 5 m. Esse resultado está de acordo com Snoo & Wit (1998). Os autores, avaliando a eficiência de zonas de segurança 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. Já Marrs et al. (1993), avaliando a extensão de zonas de segurança para a aplicação do herbicida glifosate, recomendaram um comprimento de 20 m sem a aplicação do produto, próximo a áreas muito sensíveis.

A distância horizontal teórica percorrida pelas gotas permite avaliar o risco de deriva das aplicações. Pelos resultados e equações apresentadas, infere-se que, com o aumento do tamanho das gotas e a diminuição da altura do bico de pulverização em relação ao alvo, é possível reduzir o risco de arrastamento da gota. A distância de deriva máxima, para a altura de lançamento de 0,8 m foi de 38,3 m, enquanto para a altura de 0,5 e 0,3 m foi de 23,9 e 14,4 m, respectivamente. Além disso, deve-se levar em consideração as condições de vento durante as aplicações, tendo em vista que, pela Equação (3), esse parâmetro influencia diretamente a distância de arrastamento.

### CONCLUSÕES

A análise dos dados permitiu estimar a distância horizontal percorrida por gotas de pulverização de tamanho conhecido, em diversas condições de velocidade de vento e altura de lançamento. O risco de deriva, nas aplicações, mostrou-se altamente relacionado com o diâmetro das gotas

e com a velocidade de deslocamento horizontal. Nas condições simuladas, a distância horizontal máxima percorrida pelas gotas foi inferior a 40 m. O incremento da altura de lançamento das gotas promoveu aumento do seu arrastamento pelo vento.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport phenomena**. New York: Wiley, 1960. 780 p.

CUNHA, J. P. A. R. **Tecnologia de aplicação do chlorothalonil no controle de doenças do feijoeiro**. 2003. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 5183-5193, 2005.

JOHNSON, M. P.; SWETNAM, L. D. **Sprayer nozzles: selection and calibration**. Lexington: University of Kentucky, 1996. 6 p.

MARRS, R. H.; FROST, A. J.; PLANT, R. A.; LUNNIS, P. Determination of buffer zones to protect seedlings of non-target plants from the effects of glyphosate spray drift. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 45, n. 3, p. 283-293, 1993.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell, 2000. 432 p.

MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, London, v. 75, p. 127-137, 2000.

SNOO, G. R. Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 151-160, 1999.

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

SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005).

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. Saint Joseph: ASAE, 1999. 17 p. (Paper, 991156).

TSAI, M.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 6194-6203, 2005.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).

WOMAC, A. R.; GOODWIN, J. C.; HART, W. E. **Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles**. Saint Joseph: ASAE, 1997. 47 p. (Paper, 971069).

ZHU, H.; REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.