

Deposição de Calda de Pulverização Hidráulica de Uso Agrícola em Condições Controladas de Temperatura

Hélio de Souza Queiroz ¹
Elton Fialho dos Reis ²

RESUMO:

Pesquisas agrícolas sobre aplicações hidráulicas de fitossanitários destacam significativa influência das perdas por deriva, influenciadas pelo vento, evaporação da água, tamanho das gotas pulverizadas e do tipo de produto aplicado. Objetivou-se avaliar em laboratório a influência das temperaturas da calda e do ambiente próximo ao bico de aplicação na deposição da solução aquosa sobre o alvo. A calda foi preparada com água destilada e deionizada e cloreto de potássio, sendo resfriada em refrigerador convencional. O ambiente foi resfriado utilizando tubo de vórtice com ar comprimido. Utilizou-se um pulverizador com injeção de CO₂, mantendo constantes os parâmetros: altura, velocidades de aplicação e do vento. A taxa de deposição no alvo foi avaliada através da análise de condutividade elétrica. O experimento foi realizado em blocos, em parcelas subdivididas. Os resultados mostraram que a redução das duas temperaturas analisadas provocou aumento na deposição no alvo, destacando a influência da temperatura da calda.

Palavras chave: Eficiência de Pulverização; Resfriamento Localizado do Ar; Tubo de Vórtice; Resfriamento da Calda de Agrotóxicos.

¹ Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás - UEG. Docente na Universidade Estadual de Goiás - UEG; Coordenador de Curso no Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. Brasil. odatluser@gmail.com

² Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Docente na Universidade Estadual de Goiás – UEG. Brasil. fialhoreis@ueg.br

A importância das aplicações de produtos fitossanitários é algo indiscutível no cenário mundial, devido a sua influência nos processos produtivos da área agrícola. Dentre a diversidade de máquinas e equipamentos utilizados nestas aplicações, destacam-se os equipamentos de características hidráulicas devido a sua grande abrangência de utilização (Embrapa 2002).

Com a intenção de melhorar o processo de aplicação de produtos fitossanitários, várias pesquisas foram realizadas buscando conhecer as perdas por evaporação e pela ação do vento, denominadas de perdas por deriva. Estudos mostraram que a deposição das gotas produzidas pela ponta tipo jato cônico vazio foi significativamente afetada pela variação das condições meteorológicas, no qual a deposição diminui significativamente à medida que temperatura aumenta (Balan et al. 2008).

A evaporação é um dos meios de perdas nos processos de aplicação de calda de pulverização, sendo influenciada pela variação da umidade e temperatura ambiente. Nas pulverizações hidráulicas, esta evaporação pode ser acentuada devido ao fato de a temperatura influenciar no tempo de vida da gota em sua trajetória até o alvo (Matthews 1992).

O efeito da evaporação da água em processos de aplicação de fitossanitários também pode ser influenciado pelas características físico-químicas dos ingredientes ativos e dos demais componentes utilizados na calda de pulverização, principalmente quando se está utilizando surfactantes e adjuvantes (Christofolletti 1992, Santos 1992, Matthews 1992, Ozeki & Kunz 1998, Salyani 1999; Sumner & Sumner 1999, Christofolletti 1999, Ferreira et al 2006, Souza et al 2007, Cunha et al 2010).

A maior parte dos produtos acrescentados ao preparo da calda de pulverização mostrou-se ineficiente para controle da evaporação em pulverizações hidráulicas, o que demanda novas pesquisas de fatores que podem impactar na redução da deposição devido às perdas por deriva influenciadas pela evaporação da água e pelo vento (Ferreira et al 2006, Souza et al 2007, Balan et al 2008).

Estudos com aplicações hidráulicas de agrotóxicos consideram que gotas menores que 100 μm são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos, incluindo variação de temperatura e umidade, destacando que as gotas com diâmetro acima de 500 μm têm pouca influência da deriva e gotas abaixo de 50 μm , em geral, evaporam antes de atingir o solo (Zhu et al 1994, Sumner 1997, Murphy et al 2000, Wolf 2000, Cunha 2008).

Os tubos de vórtices são dispositivos mecânicos que operam através da introdução de um fluxo de gás comprimido, sendo que ele possibilita a divisão deste fluxo em duas parcelas: um fluxo de alta temperatura e um fluxo de baixa temperatura. A alimentação deste mecanismo se dá

exclusivamente com fluxo de gás comprimido, sendo na maioria das vezes utilizado o ar comprimido, que pode ser armazenado para consumo conforme necessidade (Cockerill 1998, Itao 2005).

O tubo de vórtice gera vórtice de ar resfriado ajustável, sendo dois fluxos de ar em sentidos opostos, um quente e um frio, com vazão entre 1 e 70 L s⁻¹ (volume normalizado) comprimido próximo a 700 KPa permitindo transferir potência de resfriamento nominal entre 40 e 3.000 Watts (136,5 e 10.242 Btu h⁻¹), obtida exclusivamente de ar comprimido (Saidi & Volipour 2003; Exair 2007).

Para a agricultura é de fundamental importância o avanço nos estudos de técnicas que minimizem as perdas devido à evaporação da água em aplicações hidráulicas, reduzindo custos e contaminação ambiental.

Dentro deste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência das temperaturas da calda e do ambiente entorno do bico de pulverização na deposição do alvo em aplicações hidráulicas de uso agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

As aplicações de soluções aquosas de produtos fitossanitários para eliminação de diversos tipos de pragas, doenças e plantas daninhas existentes nos diversos cultivos da agricultura são feitas por equipamentos denominados de pulverizadores, que podem ser manuais ou por equipamentos mecanizados auto propulidos. Para simular em laboratório a condição de um pulverizador de barra em campo foi necessário projetar uma estrutura que oferecesse movimento relativo entre a planta (ou amostra teste) e o jato de aplicação, permitindo avaliar de forma controlada o efeito da temperatura na deposição da solução nestas amostras.

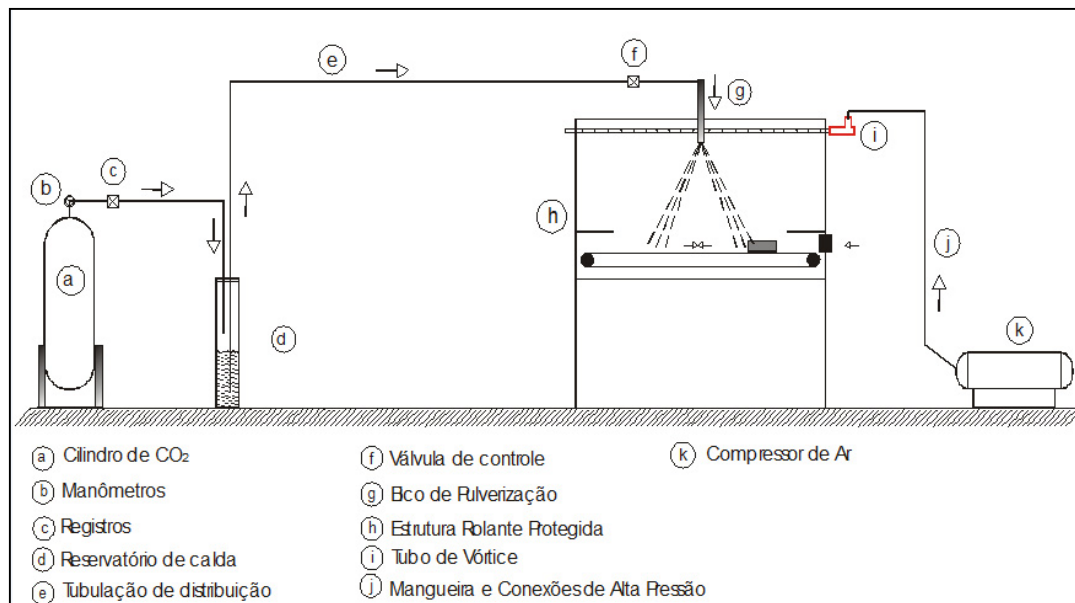
Os ensaios foram realizados no laboratório de protótipos de máquinas agrícolas da Universidade Estadual de Goiás (UEG) e no laboratório de mecânica industrial da Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, na cidade de Anápolis em Goiás.

A figura 01 ilustra o conjunto de equipamentos utilizados para realização do experimento. Por meio desse mecanismo foi possível fazer aplicações hidráulicas mantendo altura, velocidade e pressão de aplicação, velocidade do vento e umidade relativa constantes, permitindo avaliar especificamente a influência da variação das temperaturas da calda e do ar entorno do bico de aplicação.

A estrutura projetada para fazer a aplicação hidráulica é composta pelos componentes: estrutura metálica protegida (1600 x 600 x 600 mm) com paredes de material isolante (poliestireno) com espessura de 5mm, com filme plástico nas paredes internas para escoamento do produto aplicado; transportadora de correia (250 mm largura por 1400 mm de comprimento) acionada por um motor

elétrico de 1 CV, 220/380V, 1750 rpm com controle de velocidade através de inversor de frequência, mantendo uma frequência de 9,52 Hz, garantindo velocidade constante de aplicação de 5 km h^{-1} durante todo o experimento. A estrutura possui uma abertura para entrada e saída das amostras e um suporte na entrada e final da esteira para proteção contra respingos na amostra após interromper o tempo de aplicação.

Figura 01. Desenho esquemático ilustrando a estrutura construída para realização dos ensaios que simula as condições de campo de uma pulverização hidráulica. O reservatório de calda (d) contém solução resfriada e o tubo de vórtice (i) fornece ar gelado para refrigerar o ambiente próximo ao bico de pulverização



Fonte: O Autor

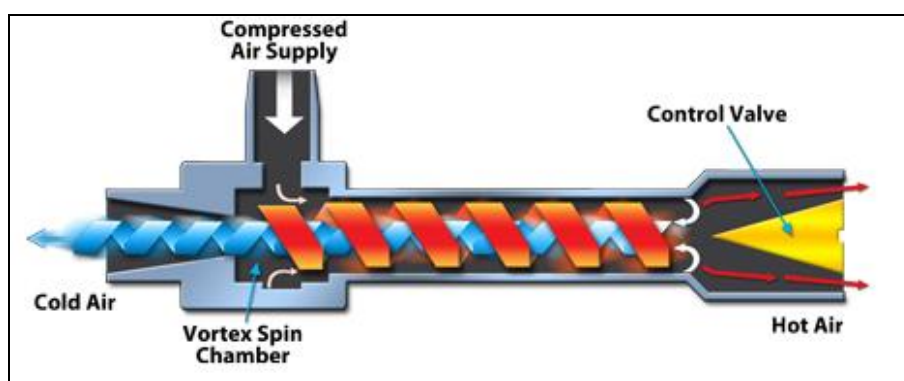
Para fazer a pulverização dentro da estrutura protegida, instalou-se uma barra com um bico de pulverização na parte superior da estrutura a 0,50 m de altura, sendo o bico alimentado por um pulverizador costal com injeção de gás carbônico (CO₂) de fabricação da Herbicat, responsável por manter a pulverização a uma pressão constante de 600 kPa, utilizando um reservatório de calda de volume de 2 litros.

A ponta instalada no bico de pulverização é do tipo cone vazio (fabricante Teejet), ponta e difusor, com orifício de polímero nº3 e código DVP-3, sendo o difusor de nylon de código DC23-NY, cor verde, corpo do bico de código QI8355-1/8-NYB com mecanismo de anti-gotejo, conforme informações do catálogo do fabricante. Nas condições estabelecidas no experimento a ponta de pulverização forneceu uma vazão média de $0,625 \text{ L min}^{-1}$, sendo a vazão especificada em catálogo de $0,580 \text{ L min}^{-1}$ para uma pressão de 500 kPa e $0,780 \text{ L min}^{-1}$ para uma pressão de 1000 kPa, resultando num volume de aplicação estimado em 150 L ha^{-1} .

Para resfriar o ambiente dentro da estrutura protegida foi instalado em sua lateral superior um tubo de vórtice série 3200, modelo 3240 do fabricante Exair Corporation, sendo alimentado por um compressor de ar, de alta pressão, $34 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ (20 scfm) do fabricante Schulz, mantendo uma vazão constante de ar de 690 kPa, permitindo obter temperaturas de ar na saída do tubo entre -10 e $125 \text{ }^\circ\text{C}$ (Piralishvili 1996, Exair 2010).

A Figura 02 ilustra o princípio de funcionamento do tubo de vórtice utilizado nos experimentos.

Figura 02. Esquema de funcionamento do tubo de vórtice utilizado para resfriamento do ar entorno do bico de pulverização em ambiente fechado



Fonte: Exair 2011

Para monitorar a temperatura e a umidade relativa próxima ao bico de pulverização foram utilizados dois termohigrômetros modelo Oregon Scientific, precisão de $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e 1% Umidade Relativa e um multímetro digital com haste, modelo Minipa ET-2082-B, precisão $1 \text{ }^\circ\text{C}$. A injeção do ar resfriado dentro da estrutura foi feita através de um tubo de alumínio de 7 mm de diâmetro com furos equidistantes de 50 mm, instalado na saída do tubo de vórtice, refrigerando o ambiente dentro da estrutura e mantendo a velocidade do ar interno (vento) de $1,5 \text{ Km h}^{-1}$.

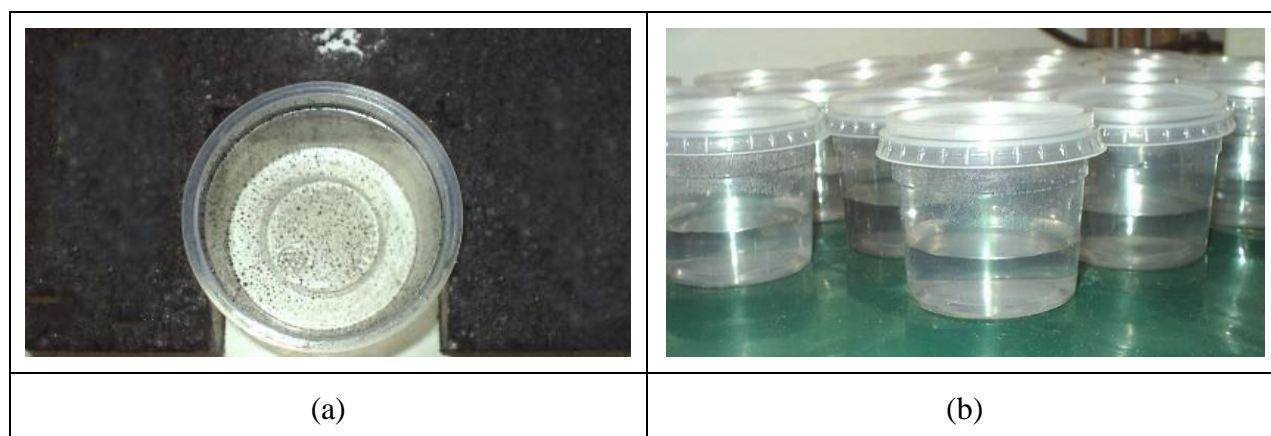
Para o resfriamento da calda de pulverização foi utilizado um refrigerador horizontal convencional, modelo Eletrolux H300C, fazendo a correção da temperatura especificada para cada amostra através de um equipamento de banho-maria, com display digital e resolução de $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e dois multímetros digitais Minipa, modelo ET-2082-B precisão de $1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $0,01\text{V}$, com cabo flexível e sensor térmico.

Os ensaios foram realizados em 05 dias, entre os horários de 12h30min e 15h (horário considerado crítico para pulverizações hidráulicas). O efeito do resfriamento momentâneo em torno do bico de pulverização não alterou o valor da umidade relativa que se manteve entre 41 e 43%.

A calda de pulverização foi preparada, aplicada e avaliada conforme metodologia proposta por Abi Saab et al (1997) e Balan et al (2006) que correlaciona condutividade elétrica da solução e a deposição da calda de pulverização, sendo utilizado um reservatório de 150 litros para preparar a calda de uma única vez garantindo sua homogeneidade. A solução foi preparada com cloreto de potássio (KCl - granulado para adubação) em água, em uma proporção de 20% em volume, sendo 100 L de água e 20.000 g de cloreto de potássio.

A deposição da calda pulverizada no alvo foi avaliada utilizando o método de análise de condutividade elétrica com solução de KCl, utilizando copos descartáveis de PVC de 150 mL para coleta das amostras e posterior diluição com 50 mL de água destilada e deionizada conforme metodologia citada (Figura 03).

Figura 03. Recipiente utilizado para coleta de amostra para deposição nas diferentes temperaturas do ar e temperaturas da calda dentro do ambiente protegido (a) e amostras preparadas já com a dosagem de 50 mL de água destilada e deionizada (b)



Fonte: O Autor.

Para medir a condutividade elétrica das amostras e conseqüentemente a deposição no alvo utilizou-se um condutivímetro portátil microprocessado, modelo mCA-150P, fabricante Tecnopon, com compensação de temperatura automática, bivolt (110/127 ou 220 V), resolução de 0,01 para a faixa de 0 a 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$. O equipamento foi previamente calibrado com solução padrão de KCl de 146,7 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C com $K= 0,869$, e utilizado água destilada e deionizada para realizar limpeza do eletrodo entre os intervalos de cada medição.

O delineamento experimental foi montado em blocos, com parcelas subdivididas, sendo cada dia de realização dos ensaios considerado como um bloco. As parcelas foram constituídas das temperaturas do ar próximo ao bico (16, 21, 26, 31 e 36 °C) e as subparcelas das temperaturas da calda de pulverização (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33 °C), desta forma o experimento foi constituído por 05 repetições (blocos), 05 níveis de temperatura do ar e 07 níveis de temperatura da calda, totalizando 175

unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativos foram escolhidos modelos de regressão utilizando teste t a 5% de probabilidade. As análises dos dados foram realizadas utilizando os programas computacionais R: Project for Statistical Computing - Version 2.9.1 (2009-06-26) e Statistica-7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema proposto para resfriamento do ambiente em torno do bico de pulverização e da calda de pulverização permitiu realizar estudos referentes à evaporação e deriva em aplicações de calda de pulverização.

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 1 indicam que: a temperatura do ar (TA), a temperatura da calda (TC) e a interação entre a temperatura do ar e a temperatura da calda (TA.TC) afetaram significativamente a deposição.

Tabela 01. Análise de variância para deposição, em função da temperatura do ar (TA) e da temperatura da calda de pulverização (TC)

FV	GL	Ítem	SQ	QM	F	Pr > F
Blocos	4	Deposição (condutividade elétrica) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	78.170	19.542		
TA (16, 21, 26, 31 e 36 °C)	4		388.410	97.102	4,7017	0,0106 *
Resíduo 1	16		330.441	20.653		
TC (3, 8, 13, 18, 23, 28 e 33 °C)	6		2.670.973	445.162	144,3300	2e-16 **
TA.TC	24		122.729	5.114	1,6580	0,0400 *
Resíduo 2	120		370.119	3.084		
Total	174					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F

GL – Grau de Liberdade; SQ – Soma dos Quadrados; QM – Quadrado Médio.

Fonte: O Autor.

Foi feito o desdobramento da análise de variância das temperaturas da calda em cada nível de temperatura do ar. O modelo ajustado da deposição foi escolhido pela análise de significância dos fatores segundo análise de variância realizada, conforme Muniz et al (2000). A análise de variância da deposição mostrou-se significativa quando houve variação da temperatura do ar e temperatura da calda, como mostrado na Tabela 1. Isto implicou adotar o modelo de regressão para determinar entre os dois fatores qual é o de maior influência na deposição. Considerando que a superfície resposta é uma função do tipo $f(x, y)$: deposição, em que x é a temperatura do ar (TA) e y a temperatura da calda (TC), a equação que melhor ajusta a relação é dada por:

$$f(x, y) = 1204,972 - 10,324x - 22,902y + 0,145y^2 + 0,209xy \quad (1)$$

Ou

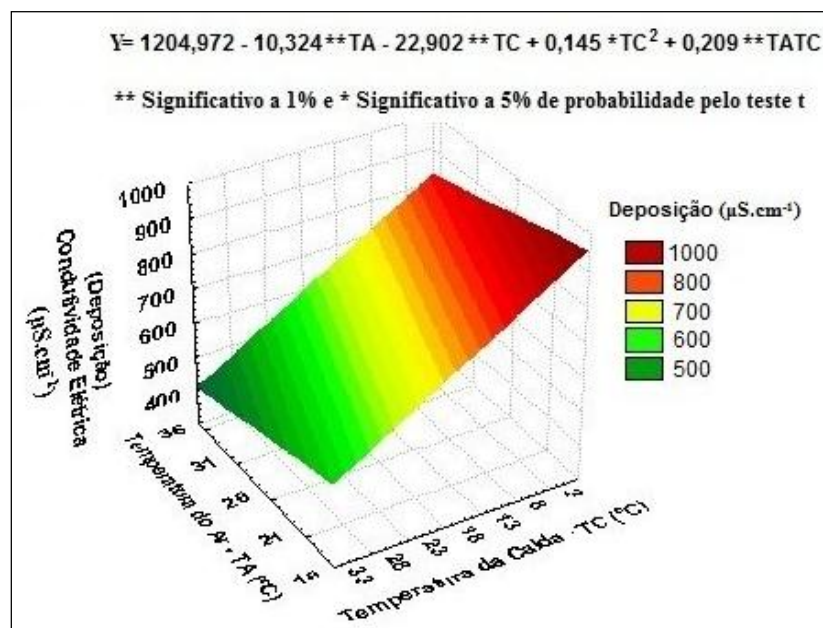
$$f(TA, TC) = 1204,972 - 10,324TA - 22,902TC + 0,145TC^2 + 0,209TA \cdot TC \quad (2)$$

Sendo, os coeficientes de TA, TC e TATC significativos a 1% de probabilidade e o coeficiente de TC² significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A superfície de resposta tridimensional ajustada aos dados de deposição, de acordo com o modelo polinomial de regressão estimado, encontra-se na Figura 04. Como pode ser visualizado nesta Figura, o aumento da temperatura do ar de 16 para 36°C, em uma mesma temperatura da calda, acarreta uma redução na condutividade elétrica medida, devido a uma menor deposição de calda (solução salina) sobre o alvo.

Os resultados mostram que o aumento da temperatura do ar, mantendo a umidade relativa do ar, tendo presença de fluxo de ar (vento) apresentou efeito sobre a deposição, devido à evaporação das gotas nas temperaturas mais elevadas que possivelmente provocou deriva desviando as gotas menores e as partículas de sal do alvo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Balan et al (2008) que trabalhando com pontas de pulverização de jato cônico vazio encontraram maior deposição nas menores temperaturas do ar.

Figura 04. Superfície de resposta para deposição / condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) medida em função da temperatura da calda - TC (°C) e da temperatura do ar -TA (°C)



Fonte: O Autor.

Estes resultados também estão de acordo com avaliações feitas por Ferreira et al (2006) e Souza et al (2007) que consideram que o desvio das gotas de pulverização do alvo (deriva) pode ser influenciado pela evaporação da água e pelo vento.

CONCLUSÕES

Nas condições de realização dos ensaios pode se concluir que:

- a) O resfriamento da calda de pulverização proporciona uma maior deposição de calda no alvo.
- b) O resfriamento do ar em torno do bico de pulverização também aumenta a deposição, embora em menor intensidade.
- c) As temperaturas de resfriamento da calda e do ar que apresentaram maior deposição no alvo foram, respectivamente 3 e 16 °C, chegando a uma diferença de 55% na deposição no alvo com relação às temperaturas extremas aplicadas no experimento (33 e 36 °C).
- d) A utilização do tubo de vórtice mostrou-se satisfatória para resfriamento do ar em torno do bico de pulverização.

REFERÊNCIAS

- Abi Saab OJG, Antuniassi UR 1997. Avaliação do depósito de calda em um sistema de aplicação de defensivos utilizados em videiras. *Energia na Agricultura* 12(2):1-11.
- Balan MG, Abi Saab OJG, Silva CG 2006. Depósito e perdas de calda em sistema de pulverização com turboatomizador em videira. *Engenharia Agrícola* 26(2):470-477.
- Balan MG, Abi Saab OJG, Silva CG, Rio A 2008. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. *Semina: Ciências Agrárias* 29(2):293-298.
- Christofolletti JC 1992. *Manual Shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos*. Shell Brasil, São Paulo, p. 122.
- Christofolletti JC 1999. *Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle*. Teejet South America, São Paulo, p. 15, (Boletim Técnico BT-04/99).
- Cockerill T 1998. *Fluid mechanics and thermodynamics of a Ranque-Hilsch vortex tubes*. Universidade de Cambridge, Cambridge, p. 294.
- Cunha JPAR 2008. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. *Ciênc. Agrotec.* 32(5):1616-1621.
- Cunha JPAR, Alves GS, Reis EF 2010. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de Soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha* 28(3):665-672.
- Embrapa – Schiratsuchi LS 2002. *Tecnologia de Aplicação de Herbicidas, Embrapa Cerrados*. Caderno técnico n. 78, Planaltina-DF.

Exair Corp 11510. Goldcoast Dr., Cincinnati, OH 45249-1621. EUA, Catálogo Técnico. 2010 out [cited 2011 out 04]. Available from: <http://www.exair.com>.

Ferreira LR, Silva AA, Ferreira FA, Machado AFL 2006. *Manejo de plantas daninhas; Tecnologia de aplicação de herbicidas*. Viçosa-MG, pp. 183-206.

Itao DC 2005. *Estudo de um Sistema Alternativo de Ar Condicionado Automotivo baseado na aplicação de tubos de vórtice utilizando o conceito de regeneração energética*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 113.

Matthews GA 1992. *Métodos para a aplicación de pesticidas*. C.E.C.S.A, p. 365.

Muniz JA, Custódio TN, Morais AR 2000. Superfície de Resposta em Experimento com Parcelas Subdivididas. *Ciência agrotecnologia* 24(4):1008-1023.

Murphy SD, Miller PCH, Parkin C S 2000. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. *Journal of Agricultural Engineering Resource* 75(1):127-137.

Ozeki Y, Kunz RP 1998. Tecnologia de aplicação aérea - aspectos práticos. In: Departamento de Defesa Fitossanitária, *Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias*. UFMS, Santa Maria, pp. 65-78.

Piralishvili S, Polyayev V 1996. Flow and thermodynamic characteristics of energy separation in a double-circuit vortex tube – an experimental investigation. *Experimental Thermal and Fluid Science* 12(4):399-410.

Salyani M 1999. *Optimization of sprayer output at different volume rates*. ASAE, St. Joseph, p. 16.

Santos JMF 1992. *Aviação agrícola - Manual de tecnologia de aplicação de agroquímicos*. Rhodia Agro, São Paulo, p. 100.

Souza RT, Castro RD, Palladini LA 2007. Depósito de pulverização com diferentes padrões de gotas em aplicações na cultura do algodoeiro. *Engenharia Agrícola* 27(esp.):75-82.

Sumner PE 1997. *Reducing spray drift*. University of Georgia, Georgia, p. 11.

Sumner PE, Sumner SA 1999. *Comparison of new drift reduction nozzles*. ASAE, St. Joseph, p. 17.

Wolf RE 2000. *Strategies to reduce spray drift*. Kansas State University, Kansas, p. 4. (Application Technology Series).

Zhu H, Reichard DL, Fox RD, Brazee RD, Ozkan HE 1994. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. *Transactions of the ASAE* 37(5):1401-1407.

Deposition of Hydraulic Spray Solution for Agricultural Use Under Controlled Temperature Conditions

ABSTRACT

Agricultural research on hydraulic phytosanitary applications highlight significant influence losses by drift, influenced by the wind, water evaporation, size of the sprayed droplets and the type of product applied. It aimed to evaluate in the laboratory the influence of the syrup temperature and the nearby environment at the application nozzle in the deposition of the aqueous solution on the target. The syrup was prepared with distilled and deionized water and potassium chloride, and cooled in conventional refrigerator. The ambience was cooled using vortex tube with compressed air. We used a nozzle sprayer with an injection of CO₂ by keeping constant parameters: time, application rates and wind. The target deposition rate was evaluated using electrical conductivity analysis. The experiment was carried out in blocks, in a split plots. The results showed that the reduction of the two analyzed temperatures caused an increase in the deposition on the target, emphasizing the influence of the syrup temperature.

Keywords: Spray Efficiency, Located Air Cooling, Vortex Tube, Cooling the Pesticide Syrup.

Submissão: 28/10/2014
Aceite: 07/07/2015