

**SISTEMA DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO DO AR PARA REDUZIR PERDAS POR EVAPORAÇÃO EM PULVERIZADORES HIDRÁULICOS COM ASSISTÊNCIA DE AR NA BARRA**Robson Shigueaki Sasaki<sup>1</sup>, Mauri Martins Teixeira<sup>2</sup>, Haroldo Carlos Fernandes<sup>3</sup> & Sérgio Zolnier<sup>4</sup>

1 - Eng. Agrônomo, Professor do Dpto de Engenharia e Computação do Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí/MG, robson.sasaki@ifmg.edu.br

2 - Engenheiro Agrônomo, Professor Titular da UFV, Viçosa/MG, mauri@ufv.br

3 - Engenheiro Agrícola, Professor Titular da UFV, Viçosa/MG, haroldo@ufv.br

4 - Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto da UFV, Viçosa/MG, zolnier@ufv.br

**Palavras-chave:**

aplicação de agrotóxicos  
evaporação das gotas  
déficit de pressão de vapor  
d'água no ar

**RESUMO**

As condições psicrométricas do ar durante a pulverização de agrotóxicos podem acarretar em perdas por deriva e evaporação das gotas. Empregando-se pulverizadores hidráulicos com assistência de ar na barra, as perdas podem ser agravadas, uma vez que o fluxo de ar ao se deparar com as gotas pulverizadas promove a transferência de calor e de massa da gota para o ar. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito das condições psicrométricas do ar nos parâmetros técnicos da pulverização, além de desenvolver e avaliar diferentes sistemas de resfriamentos adiabáticos do ar com potencial uso na aplicação de agrotóxicos para reduzir as perdas por evaporação. Avaliaram-se três sistemas de resfriamento evaporativo: 1) nebulizadores de baixa pressão; 2) placas de celulose e 3) nebulizadores de alta pressão. Ao final, constatou-se que os melhores sistemas de resfriamento adiabático com potencial uso na aplicação de agrotóxico foram os nebulizadores de alta pressão. Estes, além de proporcionar redução do Déficit de Saturação de Vapor d'água no ar (DPV) de até 28,7 hPa, não apresentaram problemas quanto ao escoamento de líquidos e queda na velocidade do ar. Por meio de nebulizadores sob baixa pressão, observou-se escoamento de líquido ao longo da tubulação. Já quando foi utilizado placas de celulose, observou-se baixa eficiência de resfriamento e redução na velocidade do ar.

**Keywords:**

drops evaporation  
pesticides application  
water vapor pressure deficit in  
the air

**ADIABATIC AIR COOLING SYSTEM TO REDUCE EVAPORATION LOSSES IN HYDRAULIC SPRAYERS WITH AIR ASSISTANCE ON THE BOOM****ABSTRACT**

The air psychrometric conditions during pesticides spraying may cause losses by drift and evaporation of the drops. Employing hydraulic sprayers with air assistance on the boom, the losses may be aggravated since the air flow when encountering the sprayed drops promotes heat and mass transference from the drops to the air. The aim of this work was to evaluate the effect of the air psychrometric conditions on the spraying technical parameters and to develop and evaluate different adiabatic cooling systems with potential use of pesticides application to reduce the evaporation losses. It was evaluated three systems of evaporative cooling: 1) low pressure misting system; 2) cellulose cooling pad and 3) high pressure misting system. At the end, it was found that the best adiabatic cooling system with potential use in pesticides application was the high pressure misting system. This system, besides providing reduction of the Water Vapor Pressure Deficit in the air (VPD) up to 28.7 hPa, did not show problems regarding the liquid run-off and drop in airspeed. During the tests with the low pressure misting system it was observed liquid run-off along the pipeline; and using the cellulose cooling pad it was observed low efficiency on air cooling and drop in airspeed.

## INTRODUÇÃO

A aplicação de agrotóxicos quando realizada em condições desfavoráveis, por exemplo, elevada temperatura, baixa umidade relativa e alta velocidade do vento podem acarretar em evaporação e deriva das gotas. Diversos trabalhos confirmam que em condições meteorológicas desfavoráveis, com elevado Déficit de Pressão de Saturação de Vapor d'água no ar (DPV), ocorre a evaporação das gotas pulverizadas (MACIEL *et al.*, 2017; SASAKI *et al.*, 2016; MACIEL *et al.*, 2016; LASMAR *et al.*, 2016; YU *et al.*, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2012) e sob alta velocidade do vento favorece a deriva durante a pulverização (WEI *et al.*, 2017).

Sempre que possível, recomenda-se realizar as aplicações sob baixa velocidade do vento e, nas primeiras horas da manhã ou ao entardecer, período em que há baixo DPV, as perdas por evaporação são amenizadas. Entretanto, em campo, devido aos patógenos e/ou pragas, nem sempre consegue-se realizar ou esperar a condição meteorológica ótima para uma pulverização. Por isso, algumas tecnologias têm sido desenvolvidas para minimizarem as perdas de produto para o meio ambiente (ALVARENGA *et al.*, 2013; DORUCHOWSKI, *et al.*; 2011).

Dentre essas tecnologias, a assistência de ar junto à barra de pulverização tem por finalidade produzir um jato de ar com alta velocidade, por meio de um ventilador axial, e direcionar as gotas para o alvo. A vantagem deste sistema é a redução das perdas por deriva. Entretanto, observa-se que pesquisas envolvendo essa tecnologia têm apresentado controvérsias quanto aos resultados. Gupta *et al.* (2012), por meio de alvos artificiais, concluíram que o fluxo de ar pode favorecer a deposição de gotas no interior da planta. Christovam *et al.* (2010)

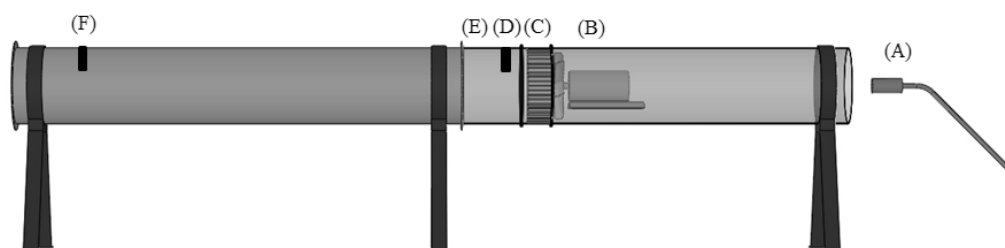
analisaram diferentes técnicas de pulverização da soja e verificaram que, ao utilizar a assistência de ar na barra de pulverização, aumentou a deposição de líquido sobre o alvo. Foqué e Nuyttens (2011) constataram que, dependendo da configuração do pulverizador com a assistência de ar na barra, ocorre o aumento da deriva na pulverização.

A hipótese da possível causa de divergência de resultados é devido ao fato de que a assistência de ar aliada às condições meteorológicas extremas, ou seja, alta temperatura e baixa umidade relativa favorecem a evaporação das gotas, uma vez que o contato do fluxo de ar com as gotas pulverizadas promove a transferência de calor e massa da gota para o ar.

Para melhorar a eficiência do uso de assistência de ar em pulverizadores hidráulicos de barras, objetivou-se, com este trabalho, desenvolver e avaliar sistemas de resfriamento evaporativo adiabático do ar que possibilitem alterar as condições psicrométricas do ar, anteriormente à pulverização.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. Os ensaios foram realizados utilizando-se um protótipo desenvolvido especificamente para este fim, constituído de um ventilador, associado a um homogeneizador de fluxo, de sensores de temperatura e umidade relativa conjugados, além de um de microcontrolador conectado a um computador (Figura 1). O protótipo construído possui comprimento total de 3,5m. Todo o circuito possui diâmetro de 0,25m. Inicialmente, o ventilador utilizado foi ensaiado de acordo com as normas da *Air Movement and Control Association International* (AMCA, 1985).



**Figura 1.** Protótipo utilizado para avaliação de sistemas de resfriamento adiabáticos para pulverizadores. (A) sistema a gás para aquecimento do ar; (B) ventilador; (C) homogeneizador de ar; (D) sensor de temperatura e umidade relativa antes do resfriamento; (E) sistema de resfriamento adiabático; (F) sensor de temperatura e umidade relativa após o resfriamento.

As condições psicrométricas do ar foram quantificadas por meio de dois sensores conjugados de temperatura e umidade relativa (modelo Humitter 50Y, Vaisala Inc.). Um sensor foi posicionado logo após o ventilador para monitorar as condições iniciais e o outro após o sistema de resfriamento adiabático. Ambos os sensores foram alojados em uma estrutura de acrílico, envolto com um tecido, com circulação de ar forçada, imposta pelo próprio sistema. A condição inicial do ar foi controlada por meio do sistema de aquecimento a gás.

A quantidade de água injetada pelo sistema de resfriamento adiabático foi determinada pelas equações estabelecidas por Tetens (1930), citado por Vianello e Alves (2012). Com base na condição inicial do ar ambiente, determinou-se os valores de pressão de saturação de vapor d'água no ar, pressão parcial de vapor d'água no ar e umidade absoluta do vapor d'água. Os mesmos cálculos foram determinados até o limite da umidade relativa do ar, após o resfriamento de 80%. Foi necessário obter os dados de temperatura de bulbo úmido do ar externo estimados pelo método iterativo descrito por Silva *et al.* (2008). Conforme proposto pelos autores, a temperatura de bulbo úmido do ar foi progressivamente reduzida, mantendo-se constante o valor de entalpia, até que se alcançou um ponto de estado com valor de umidade relativa de 80%. Com os dados da vazão de ar do ventilador e com a variação da umidade absoluta, foi possível determinar a quantidade de água necessária para que ocorra o resfriamento do ar até o valor limite de umidade relativa de 80%.

Três sistemas de resfriamento adiabático com potencial utilização na pulverização de agrotóxicos foram testados. O primeiro sistema de resfriamento adiabático foi com a utilização de nebulizadores de baixa pressão (modelo CoolNet Pro™, Netafim) e alteração do volume, de acordo com a pressão de trabalho (100 a 600 kPa). Os nebulizadores foram instalados no tubo de PVC a 0,4m do ventilador. Inicialmente, sob as condições operacionais (100; 200; 300; 400; 500 e 600 kPa), com o auxílio de uma proveta com precisão de 20mL e um analisador a laser (modelo Spraytec, Malvern Instruments Co., Worcestershire, UK), avaliaram-se os nebulizadores quanto à vazão de líquido e espectro de gotas ( $DV_{0,1}$ ;  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$ ), respectivamente.

O segundo sistema utilizado foi o resfriamento

adiabático, com o uso de placas de celulose após o ventilador (sota-vento). O sistema foi composto por uma luva de PVC, marca Tigre, com diâmetro de 250mm, o qual foi totalmente preenchido com a placa de celulose da marca CELdek®, com espessura de 150mm. Essas placas são fabricadas com uma mistura de celulose e fibra de vidro, sendo altamente hidrocópias e tratadas quimicamente para evitar o apodrecimento e a decomposição.

Para realizar o molhamento da placa de celulose, realizaram-se três furos na parte superior da luva de PVC, onde foram instalados três aspersores (modelo 1.0, Lurmark, New Brighton, EUA). Na parte inferior da luva de PVC, instalou-se um dreno para retirar o excesso de água. A cada tomada de dados, ligaram-se os microaspersores à pressão de 300 kPa, por um período de 30s, certificando-se o completo molhamento das placas porosas para o início da coleta de dados. Por meio da Equação proposta pela *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 1996), calculou-se a eficiência deste sistema de resfriamento ( $\eta$ ).

Tanto no sistema de baixa pressão quanto nas placas de celulosas, os nebulizadores utilizados foram acionados por bomba hidráulica (modelo S-25, Yamaha Incoprom Pulverizadores LTDA, Diadema, Brasil) com rotação entre 70 e 900 RPM e pressão máxima de 3516 kPa. Essa bomba foi acionada por um motor elétrico, marca WEG, com rotação de 3570 RPM e potência de 1,5kW.

O terceiro sistema de resfriamento adiabático desenvolvido foi por meio da utilização de nebulizadores de alta pressão. A quantidade de água dimensionada para o sistema de resfriamento adiabático foi de acordo com o número de nebulizadores. O sistema foi composto por um circuito hidráulico de alta pressão e nebulizadores da marca Umibrisa, fabricados em Inox, dotados de um sistema antigotejo e engate rápido. Os nebulizadores foram acionados por uma bomba de alta pressão (modelo Gong, Interpump®, Sant'Ilario d'Enza, Itália), com vazão máxima de 7 L min<sup>-1</sup> e pressão máxima de 16000 kPa. A bomba foi acionada por motor elétrico monofásico, 127V, com potência de 1,5 kW, 60 Hz e 14,7 A. Neste sistema, todos os ensaios foram realizados em pressão de 3000 kPa e, nesta pressão de trabalho, com o auxílio de uma proveta graduada com exatidão de 2mL, avaliaram-se os nebulizadores quanto à vazão de líquido. Tomaram-se as vazões, utilizando-se 1, 2, 3, 4, 5 e 6 nebulizadores.

Posteriormente, conforme metodologia citada, ensaiaram-se os nebulizadores quanto ao espectro de gotas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4), sendo três sistemas de resfriamento adiabático e quatro condições psicrométricas inicial do ar antes do resfriamento, com quatro repetições por tratamento. Ao final, avaliaram-se a redução do DPV dos sistemas de resfriamento adiabáticos propostos. Aplicaram-se o teste t de *Student*, para amostras pareadas, com hipótese de nulidade  $\mu_{\text{antes}} = \mu_{\text{depois}}$  e hipótese alternativa  $\mu_{\text{antes}} < \mu_{\text{depois}}$ , ao nível de 1% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

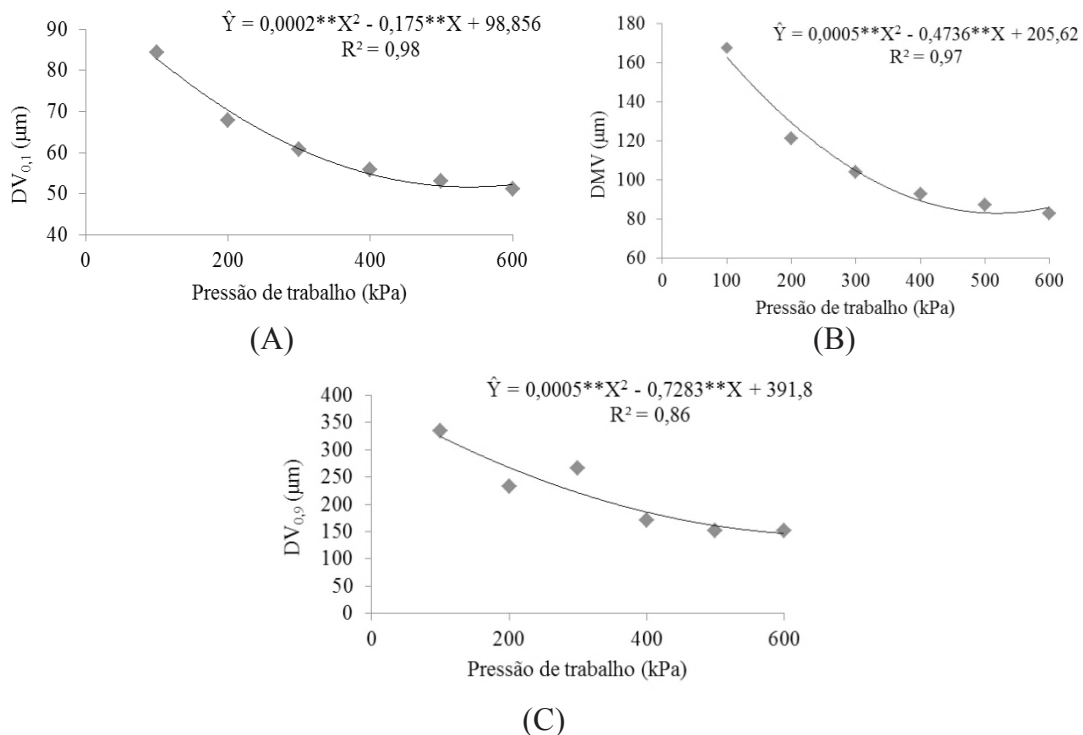
O protótipo desenvolvido apresentou vazão de ar de  $35,15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  e velocidade do ar de  $11,93 \text{ m s}^{-1}$ .

Na avaliação do sistema de resfriamento evaporativo por meio de nebulizadores sob baixa pressão, os nebulizadores apresentaram vazão de 0,082; 0,104; 0,126; 0,146; 0,159; 0,176 e 0,190  $\text{L min}^{-1}$ , nas pressões de trabalho de 100; 200; 300; 400; 500; 600 e 700 kPa, respectivamente.

Com relação ao espectro de gotas, com o aumento da pressão de trabalho, verificou-se redução no diâmetro das gotas pulverizadas (Figura 2).

Na avaliação do potencial uso destes nebulizadores no resfriamento adiabático, de acordo com as condições psicrométricas do ar ambiente inicial, a quantidade de água necessária calculada para realizar o resfriamento até a umidade relativa de 80%, variou entre 0,013 e 0,171  $\text{L min}^{-1}$ . O volume realmente aplicado variou entre 0,082 e 0,176  $\text{L min}^{-1}$ , a quantidade de água foi ajustada de acordo com a pressão de trabalho. Nas condições de baixo DPV, os nebulizadores operaram na pressão mínima de trabalho de 100 kPa e sob condições de alto DPV, além disso a pressão de trabalho foi de 600 kPa. No sistema de resfriamento sob alta pressão, a quantidade de água requerida para o sistema variou entre 0,034 e 0,235  $\text{L min}^{-1}$  e a vazão média de líquido efetivamente aplicada variou entre 0,038 e 0,210  $\text{L min}^{-1}$  e foi ajustada conforme a variação do número de nebulizadores instalados (Tabela 1).

Na avaliação do sistema de resfriamento evaporativo, por meio de nebulizadores sob baixa pressão, constatou-se redução do DPV na ordem de até 19,54 hPa (Tabela 2). A eficiência



\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Figura 2.** Espectro de gotas proporcionado pelo nebulizador CoolNet ProTM® em diferentes condições operacionais. (A)  $DV_{0,1}$ ; (B) DMV e (C)  $DV_{0,9}$ .

do sistema foi dependente das condições iniciais do ambiente. Wang *et al.* (2008) relatam que a eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo é dependente, tanto da temperatura, como da umidade do ar. Quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar, mais eficiente é o sistema de resfriamento adiabático, explicando o presente resultado. No resfriamento adiabático,

a evaporação da água presente em uma superfície acarreta em troca de calor e essa superfície é resfriada, pois cada grama de água evaporada retira 590 calorias em forma de calor sensível. Esse processo ocorre até o ponto de saturação do ar, ou seja, quanto mais próximo do ponto de saturação do ar, menos eficiente será a troca, logo menor será a taxa de evaporação do sistema.

**Tabela 1.** Condições iniciais do ar antes do sistema de resfriamento, quantidade de água calculada para o sistema de resfriamento ( $Q_{H_2O}$ ) e quantidade aplicada ( $V_{H_2O}$ )

Sistema de Resfriamento adiabático	T (°C)	UR (%)	DPV (hPa)	$Q_{H_2O}$ (L min <sup>-1</sup> )*	Pressão de trabalho em kPa (número de nebulizadores)	$V_{H_2O}$ (L min <sup>-1</sup> )**
Nebulizadores sob baixa pressão	20,8	74	6,25	0,013	100 (1)	0,082
	24,5	59	12,35	0,056	100 (1)	0,082
	29,7	45	22,63	0,112	400 (1)	0,146
	35,2	35	36,90	0,171	600 (1)	0,176
Nebulizadores sob alta pressão	22,9	67	9,20	0,034	3000 (1)	0,038
	29,4	43	23,35	0,121	3000 (3)	0,108
	34,8	33	37,38	0,180	3000 (5)	0,175
	39,3	26	52,78	0,235	3000 (6)	0,210

\* $Q_{H_2O}$  = Quantidade média de água necessária para o resfriamento até o limite de 80%;

\*\* $V_{H_2O}$  = Quantidade média de água aplicada no sistema de resfriamento adiabático;

T e UR = Temperatura e Umidade relativa do ar;

DPV: Déficit de Saturação de Vapor d'água no ar.

**Tabela 2.** Valores médios das condições psicrométricas do ar antes e após o resfriamento dos diferentes sistemas de resfriamento adiabático proposto

Sistema de resfriamento adiabático	Antes do resfriamento			Após o resfriamento		
	T (°C)	U. R. (%)	DPV (hPa)	T (°C)	U. R. (%)	DPV (hPa)
Nebulizadores sob baixa pressão	20,8	74	6,26	19,8	83	3,86**
	24,5	60	12,36	23,3	71	8,38**
	29,7	46	22,60	25,9	68	10,64**
	35,2	35	36,92	29,9	59	17,38**
Placas Porosas	23,8	66	10,0	23,4	69	9,1**
	31,3	44	25,5	29,6	49	21,0**
	37,8	32	44,7	33,0	41	29,8**
	41,9	26	60,4	36,4	36	39,1**
Nebulizadores sob alta pressão	22,9	67	9,20	21,6	78	5,80**
	29,4	43	23,35	26,1	63	12,55**
	34,8	33	37,38	28,5	60	15,63**
	39,3	23	52,78	32,6	51	24,10**

\*\*Significativo pelo teste t ao nível de significância de 1% de probabilidade. Vazão de ar de 35,15 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

Observou-se que, em todas as situações, houve umedecimento excessivo ao longo do túnel de vento e acarretou em escorrimento de líquido. Na aplicação de agrotóxico, o escorrimento de líquido é um agravante para o sistema de resfriamento adiabático, visto que pode “lavar” o produto aplicado. Neste caso, o uso deste sistema reduziria as perdas por evaporação, mas aumentaria as perdas por escorrimento. Stanislavski (2012) avaliou um sistema de resfriamento adiabático na aplicação de agrotóxicos com nebulizadores de baixa pressão e também constatou o escorrimento de líquido, corroborando com o presente resultado.

Na avaliação do sistema de resfriamento por meio de placas de celulose, na caracterização dos nebulizadores Lurmark, a vazão média unitária de líquido foi de  $0,92 \text{ L min}^{-1}$  à pressão de 300kPa. O conjunto de três nebulizadores ligados sob a placa porosa aplicou em média  $0,275 \text{ L min}^{-1}$ . Quanto ao espectro de gotas, os parâmetros  $DV_{0,1}$ ,  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$  corresponderam à 66; 108 e 179  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

No desenvolvimento do sistema de resfriamento adiabático, empregando-se placas porosas, observou-se queda na velocidade do ar. Sem o uso do sistema de resfriamento, a velocidade média obtida foi de  $10,3 \text{ m s}^{-1}$ , adicionando-se a placa porosa, reduziu para  $4,3 \text{ m s}^{-1}$ , quando esta foi colocada a sota-vento do ventilador. Esta redução da velocidade do ar se deve à perda de carga do fluido, ou seja, perda de energia dinâmica localizada diante do atrito do fluido (ar) com a placa porosa.

O uso do sistema de resfriamento adiabático, com as placas porosas posicionadas a sota-vento do sistema de ventilação, promoveu a redução na temperatura do ar na ordem de até  $5,5^\circ\text{C}$  e aumento na umidade relativa de até 10%. Na condição psicrométrica do ar extremo, com DPV de 60,4 hPa, o sistema possibilitou redução de 21,3 hPa (Tabela 2). A eficiência do sistema de resfriamento adiabático, de acordo com as equações da Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 1996), foi de 6,93; 18,08; 34,29 e 33,05 % para as condições iniciais de DPV de 10,00; 25,50; 44,70; 60,40 hPa, respectivamente. Observou-se que a máxima eficiência obtida foi de 34,29%, sob condições ambientais caracterizadas por temperaturas mais elevadas

e valores de umidade relativa do ar mais baixos, comportamento também constatados por Dagtekin *et al.* (2009) e Chimenye (2011). Esta eficiência é considerada relativamente baixa, comparada a outras áreas de estudo. Chimenye (2011), avaliando diferentes sistemas de resfriamento adiabático para o acondicionamento pós-colheita, obteve eficiência entre 20 e 92%. Ahmed *et al.* (2011) avaliaram a eficiência de resfriamento proporcionado por diferentes painéis porosos e encontraram eficiência de até 90%. Korese e Hensel (2016), avaliando diferentes configurações de sistema de resfriamento, obtiveram eficiência de até 96,1%.

A baixa eficiência do sistema de resfriamento se deve principalmente à velocidade do ar com que passa pelas placas de celulose. De acordo com as recomendações do fabricante, a velocidade recomendada é de 1 a  $2 \text{ m s}^{-1}$  e no presente ensaio foi de  $4,3 \text{ m s}^{-1}$ . Utilizando-se alta velocidade do ar, o tempo de contato entre o ar e a placa umedecida é reduzido, não resfriando o ar adequadamente (FRANCO *et al.*, 2014).

Nota-se que o sistema de resfriamento adiabático, constituídos por placas porosas para a aplicação de agrotóxicos, tem a vantagem de não acarretar o escorrimento de líquido ao longo da tubulação, amenizando os problemas encontrados com o uso de nebulizadores operando sob baixa pressão. Como desvantagem, tem-se a baixa eficiência de resfriamento e a redução na velocidade do ar.

No sistema de resfriamento sob alta pressão, comumente chamado de “fogging”, os nebulizadores apresentaram gotas com diâmetros de 25,22; 46,33 e 84,16  $\mu\text{m}$  para os parâmetros  $DV_{0,1}$ ;  $DV_{0,5}$  e  $DV_{0,9}$ , respectivamente. Na avaliação do sistema de resfriamento, observou redução na temperatura do ar de até  $6,7^\circ\text{C}$  e incremento na umidade relativa de até 28% (Tabela 2)

O sistema de resfriamento adiabático implementado, com o uso de nebulizadores sob alta pressão, apresentou redução do DPV e não apresentou escorrimento de líquido ao longo da tubulação. Em condições psicrométricas do ar extremas, caracterizados por altos valores de DPV, houve redução de até 28,7 hPa no DPV. Em outras áreas de estudos, como em casa de vegetação, diversas pesquisas têm demonstrado resultados satisfatórios com o uso dos sistemas de alta

pressão. Katsoulas *et al.* (2006) obtiveram redução do DPV de até 14 hPa, corroborando com o presente resultado. López *et al.* (2012) observaram redução da temperatura de até 10,4°C no interior da instalação, empregando o sistema de resfriamento *fogging*.

Analisando o potencial de redução de evaporação do ar entre os sistemas de resfriamento adiabáticos avaliados, o que apresentou-se ser o mais promissor é o uso dos sistemas de alta pressão, pois além de reduzir significativamente o DPV do ar, não apresentou escorrimento de líquido ao longo da tubulação, mesmo em condições iniciais com baixo DPV e, diferentemente das placas de celulose, não alterou a velocidade do ar proporcionado pelo ventilador.

Observa-se, como vantagem do uso do sistema de resfriamento, a possibilidade de uma aplicação de agrotóxico mais eficiente, pois permite a redução de perdas de agrotóxicos por evaporação, logo, redução dos impactos ambientais. O sistema de resfriamento do ar pode ser adotado a todos os tipos de máquinas para aplicação de agrotóxicos que possuem ventiladores, por exemplo, pulverizadores pneumáticos ou hidropneumáticos.

## CONCLUSÕES

- O uso do sistema de resfriamento adiabático reduz o potencial de perdas durante a pulverização de agrotóxicos.
- No presente trabalho, o melhor sistema de resfriamento adiabático foi implementado com nebulizadores operando sob alta pressão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, E.M.; ABAAS, O.; AHMED, M.; ISMAIL, M.R. Performance evaluation of three different types of local evaporative cooling pads in greenhouses in Sudan. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.18, p.45-51, 2011.

ALVARENGA, C.B.; TEIXEIRA, M.M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R.S.; RINALDI, P.C.N. Controle automático do espectro de gotas de pulverizador hidropneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. **Pesquisa**

**Agropecuária Tropical**, v.43. n.1, p.26-33, 2013.

American National Standards Institute. ANSI/AMCA 210-85 **Standard**. Arlington Heights, IL 60004: Air Movement and Control Association, Inc. 1985.

American Society Of Heating, Refrigeration And Air-Conditioning Engineers (1996) **Evaporative air cooling**. In:\_\_\_\_. HVAC systems and equipment handbook. Atlanta, GA. p.1-8.

CHINENYE, N.M. Development of clay evaporative cooler for fruits and vegetables preservation. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.13, p.1-6, 2011.

CHRISTOVAM, R.S.; RAETANO, C.G.; PRADO, E.P.; DAL POGETTO, M.H.F.; AGUIAR JÚNIOR, H.O.; GIMENES, M.J.; SERRA, M.E. Air-assistance and low volume application to control of Asian rust on soybean crop. **Journal of plant protection research**, v.50, p.354-359, 2010.

DAGTEKIN, M.; KARACA, C.; YILDIZ, Y. Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. **Biosystems Engineering**, v.3, p.100-104, 2009.

DORUCHOWSKI, G.; SWIECHOWSKI, W.; GODYN, A.; HOLOWNICKI, R. Automatically controlled sprayer to implement spray drift reducing application strategies in orchards. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v.19, p.175-182, 2011.

FRANCO, A.; VALERA, D.L.; PEÑA, A. Energy efficiency in greenhouse evaporative cooling techniques: cooling boxes versus cellulose pads. **Energies**, v.7, p.1427-1447, 2014.

FOQUÉ, D.; NUYTENS, D. Effect of air support and spray angle on coarse droplet sprays in Ivy pot plants. **Transactions of the ASABE**, v.54, p.409-416, 2011.

GUPTA, P.; SIROHI, N.P.S.; MISHRA, I.M. Air flow characteristics of an air-assisted sprayer

through horizontal crop canopy. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.5, p.1-6, 2012.

KATSOULAS, N.; KITTAS, E.; KITTAS, C. Greenhouse cooling by a fog system: effect on microclimate and on production and quality of a soilless pepper crop. **Acta Horticulturae**, v.719, p.455-461, 2006.

KORESE, J.K.; HENSEL, O. Experimental evaluation of bulk charcoal pad configuration on evaporative cooling effectiveness. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.18, p.11-21, 2016.

LASMAR, O.; CUNHA, J.P.A.R. Evaporation time of droplets containing Thiamethoxam and adjuvants on hydrophilic, hydrophobic and lipophilic surfaces under different air relative humidities. **Bioscience Journal**, v.32, p.108-114, 2016.

LÓPEZ, A.; VALERA, D.L.; MOLINA-AIZ, F.D.; PEÑA, A. Sonic anemometry to evaluate airflow characteristics and temperature distribution in empty Mediterranean greenhouses equipped with pad-fan and fog systems. **Biosystem Engineering**, v.113, p.334-350, 2012.

MACIEL, C.F.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ZOLNIER, S.; SANTIAGO, H. Sprayed liquid loss due to evaporation in different psychrometric conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, p.244-250, 2017.

MACIEL, C.F.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ZOLNIER, S.; CECON, P.R. Droplet spectrum at diferente vapour pressure deficits. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.41-46, 2016.

NASCIMENTO, A.B.; OLIVEIRA, G.M.; BALAN, M.G.; HIGASHIBARA, L.R.; ABI SAAB, O.J.G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvantes para diferentes pontas

de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, p.105-116, 2012.

SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; ZOLNIER, S.; MACIEL, C.F.S.; ALVARENGA, C.B. Droplets spectrum of air-assisted boom sprayers under different environmental and operational conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.92-96, 2016.

SILVA, J.S.; LOPES, R.P.; LOPES, D.C.; REZENDE, R.C. Princípios básicos de psicrometria. In: Silva JS (22 Ed.) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, p.37-62.

STANISLAVSKI, W. **Otimização da tecnologia de assistência de ar em pulverizador de barras através da umidificação do fluxo do ar**. 2012. 61f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2012.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2012, 460p.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; KRAUSE, C.R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASAE**, v.52, p.39-49, 2009.

WANG, C.; CAO, W.; LI, B.; SHI, Z.; GENG, A. A fuzzy mathematical method to evaluate the suitability of an evaporative pad cooling system for poultry houses in China. **Biosystems Engineering**, v.101, p.370-375, 2008.

WEI, Z.; YONGRUI, H.; XIN, L.; XIAOMING, F.; BO, Z.; HAIYANG, W.; YINGQIAN, W. Wind tunnel experimental study on droplet drift reduction by a conical electrostatic nozzle for pesticide spraying. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.10, p.87-94, 2017.