

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO DO AR EM CASA-DE-VEGETAÇÃO

Antonio José Steidle Neto¹; Sérgio Zolnier²

¹*Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG, steidle@gmail.com*

²*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG*

1 RESUMO

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar o desempenho de um sistema de resfriamento evaporativo do ar (tipo painel-exaustor) em casa-de-vegetação, ao longo do período diurno em dias com condições climáticas distintas. Foram realizadas medições de temperatura e umidade relativa do ar no interior e exterior de uma casa-de-vegetação durante o período de crescimento e desenvolvimento de tomateiros cultivados em substrato de areia. Verificou-se que as eficiências médias diárias de resfriamento evaporativo do ar variaram entre 74% e 81%. Os decréscimos máximos na temperatura do ar, imediatamente após a sua passagem pelo painel de celulose, foram de 8,2°C e 11,4°C. Observou-se ainda que, a eficiência de resfriamento do ar foi sensivelmente melhorada quando o déficit de pressão de vapor d'água do ar externo foi superior a 1,8 kPa.

UNITERMOS: déficit de pressão de vapor d'água do ar, temperatura do ar, eficiência de resfriamento evaporativo.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S. EVAPORATIVE AIR COOLING SYSTEM PERFORMANCE IN A GREENHOUSE

2 ABSTRACT

This work aimed to analyze the performance of an evaporative air cooling system (pad-fan type) in greenhouse along daytime period in days with different climatic conditions. Air temperature and relative humidity measurements inside and outside of an greenhouse were made during the growing period of tomato plants cultivated in sand substrate. It was verified that the average daily evaporative cooling efficiency ranged from 74% to 81%. The maximum air temperature decrements, immediately after its passage through the cellulose pad, were 8.2°C and 11.4°C. It was also observed that the air cooling efficiency was sensitively improved when the vapor pressure deficit of the external air was higher than 1.8 kPa.

KEYWORDS: vapor pressure deficit, air temperature, evaporative cooling efficiency.

3 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda mundial de alimentos, as crescentes exigências dos consumidores por produtos agrícolas com melhor qualidade e a necessidade de redução dos impactos ao meio ambiente têm despertado o interesse de inúmeros produtores pelo cultivo em casas-de-vegetação Steidle Neto (2007).

Cultivos em casas-de-vegetação têm sido uma alternativa de proteção para as culturas frente às adversidades climáticas. Além disso, essas instalações são responsáveis por modificações microclimáticas capazes de tornar viável a produção de vegetais em épocas do ano e localidades cujas condições climáticas externas são desfavoráveis ao cultivo, podendo propiciar sensível aumento de produtividade e redução de recursos hídricos, de gastos com insumos agrícolas e de mão-de-obra (Silva et al., 2002).

Apesar das vantagens apresentadas pelo cultivo em casas-de-vegetação, essas instalações podem ser insatisfatórias do ponto de vista térmico, uma vez que durante o período diurno podem ocorrer internamente temperaturas elevadas, frequentemente evidenciadas no verão (Santos et al., 2002). Essas temperaturas dificilmente são amenizadas com a ventilação natural e, muitas vezes, extrapolam a faixa de temperatura adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura (Toida et al., 2006). A redução na produtividade de tomateiros em função de altas temperaturas foi constatada por Peet et al. (1997), que verificaram decréscimos no número total e na massa de frutos por planta de tomateiro, quando submetidos a temperaturas médias diárias variando entre 25°C e 29°C. Este efeito indesejado pode ser minimizado com a utilização de sistemas de climatização para a redução da temperatura do ar.

Sistemas de resfriamento evaporativo do ar para casas-de-vegetação têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados com a finalidade de prover às plantas, principalmente no verão, condições microclimáticas adequadas ao seu crescimento (Abdel-Ghany & Kozai, 2006a).

O sistema de resfriamento evaporativo do ar, tipo painel-exaustor (*pad-fan*), baseia-se em um processo de umidificação adiabática que consiste em forçar, por meio de exaustores, a passagem do ar externo à instalação através de um painel de material poroso umedecido com água. O ar externo, quando não saturado, em contato com a superfície umedecida do painel, promove troca simultânea de calor e massa (Vigoderis, 2002). Assim, o calor sensível do ar externo é usado para evaporar água no painel. Este calor sensível é então convertido em calor latente, resultando no decréscimo da temperatura de bulbo seco com acréscimo da umidade relativa e da razão de mistura do ar após o painel (Lertsatitthanakorn et al., 2006). A evaporação ocorre devido à diferença de pressão de vapor d'água entre o ar externo e a água que flui pelo painel (Wiersma & Short, 1983). Além disso, de acordo com Katsoulas et al. (2001), o sistema de resfriamento evaporativo do ar exerce influência direta sobre as plantas, moderando a taxa de transpiração.

Segundo Arbel et al. (2003), o sistema de resfriamento evaporativo do ar *pad-fan* combina simplicidade de operação e controle com a vantagem de não causar molhamento foliar, reduzindo assim as possibilidades de propagação e disseminação de patógenos.

A melhor compreensão da variabilidade da temperatura do ar, da planta, do material de cobertura e do piso das casas-de-vegetação pode auxiliar agricultores a aperfeiçoar o manejo das culturas e engenheiros a projetar sistemas de resfriamento do ar com desempenho satisfatório, capazes de garantir condições microclimáticas adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Abdel-Ghany & Kozai, 2006b; Sethi & Sharma, 2007).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar o desempenho de um sistema de resfriamento evaporativo do ar em casa-de-vegetação, ao longo do período diurno em dias com condições climáticas distintas, durante o período de crescimento e desenvolvimento de tomateiros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da casa-de-vegetação climatizada

O cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., híbrido Duradoro) em substrato de areia acondicionado em vasos plásticos foi conduzido no interior de uma casa-de-vegetação climatizada localizada na área experimental do Instituto de Biotecnologia aplicada à Agropecuária, no campus da Universidade Federal de Viçosa, cidade de Viçosa, MG (20° 45' 45" S; 42° 52' 04" W; 690 m). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (clima temperado quente - mesotérmico), com estação seca no inverno e chuvosa no verão.

A estrutura metálica de cobertura da casa-de-vegetação era do tipo arco, sobre a qual foram fixadas duas camadas de filme plástico de polietileno transparente de alta densidade (150 µm), aditivado contra raios ultravioletas. As paredes laterais eram constituídas por painéis de policarbonato transparente com 1 cm de espessura, parafusados em peças metálicas de sustentação, confeccionadas em aço galvanizado. Essa instalação apresentava características modulares e pré-fabricadas (modelo Poly House, Van der Hoeven, Artur Nogueira, SP), com 18,3 m de comprimento e 6,5 m de largura, totalizando uma área de aproximadamente 119 m². A altura central da casa-de-vegetação, medida em relação ao vértice da concavidade do arco de cobertura, era de 4,5 m e o pé-direito lateral era de 3,0 m.

A casa-de-vegetação era equipada com sistema de climatização para o resfriamento evaporativo do ar. Este sistema era formado por um painel de celulose corrugada (modelo Celdek, Munters, Curitiba, PR) com dimensões de 6,35 x 0,85 x 0,15 m, associado a um conjunto motobomba responsável pelo recalque de água para a parte superior do painel. Adicionalmente, dois exaustores (modelo VA92/100, Casp, Amparo, SP) com capacidade individual para a remoção de 400 m³_{ar} min⁻¹, diâmetros de 0,92 m e venezianas externas, eram acionados por motores com potência unitária de 735,5 W. Os exaustores estavam posicionados paralelamente entre si na parede oposta à do painel de celulose. O controle de acionamento do sistema de resfriamento era baseado na temperatura do ar interno, sendo ajustado manualmente por meio de um termostato localizado na parte central da instalação em relação à direção longitudinal da casa-de-vegetação.

O termostato de controle foi ajustado para acionar o sistema de resfriamento evaporativo quando a temperatura do ar interno à casa-de-vegetação fosse igual ou superior a 25°C. Este valor foi definido com base na faixa de temperatura adequada ao crescimento e desenvolvimento do tomateiro. Informações adicionais completas sobre o manejo e o cultivo do tomateiro no interior da casa-de-vegetação estão descritas em Steidle Neto (2007).

4.2 Sistema de aquisição de dados meteorológicos

Medições de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas no interior e no exterior da casa-de-vegetação por meio de sensores conjugados (modelo Humitter 50Y, Vaisala, Woburn, EUA). Internamente, o sensor foi posicionado no centro longitudinal da instalação sobre um pedestal de altura regulável que foi periodicamente ajustado de maneira a

manter uma distância de 0,5 m acima do dossel vegetativo da cultura. Por outro lado, o sensor externo foi instalado dentro de um micro abrigo meteorológico a 0,5 m acima do pé-direito lateral da casa-de-vegetação (Figura 1).

Os sensores foram conectados a uma placa de aquisição de dados (modelo Cydas 1602HR, Cyber Research, Branford, EUA), instalada em um computador. Os dados meteorológicos internos e externos foram armazenados no disco rígido do computador, por meio de um programa computacional, em intervalos de tempo de 1 minuto.

Apesar do cultivo do tomateiro ter sido conduzido no período de 10/07/2006 a 10/11/2006, foram selecionados somente os períodos diurnos dos dias 29/10/2006 e 02/11/2006, por serem representativos de condições meteorológicas bastante diferenciadas entre si, no que se refere aos déficits de pressão de vapor d'água e às temperaturas do ar externo e interno à casa-de-vegetação, permitindo analisar o desempenho do sistema de resfriamento evaporativo do ar.

4.3 Eficiência do sistema de resfriamento evaporativo e taxa de remoção de vapor d'água do ar da casa-de-vegetação

A eficiência do sistema de resfriamento evaporativo do ar foi calculada por meio da equação proposta pela American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 1996).

$$\eta = \left(\frac{T_{bs}^{ext} - T_{bs}^{painel}}{T_{bs}^{ext} - T_{bu}^{ext}} \right) 100$$

em que:

- η - eficiência de resfriamento evaporativo do ar, %;
- T_{bs}^{ext} - temperatura de bulbo seco do ar externo, °C;
- T_{bs}^{painel} - temperatura de bulbo seco do ar resfriado (logo após a passagem pelo painel), °C;
- T_{bu}^{ext} - temperatura de bulbo úmido do ar externo, °C.

Para a determinação da eficiência do sistema de resfriamento evaporativo do ar foi necessário estimar a T_{bu}^{ext} e a T_{bs}^{painel} . Na estimativa de T_{bu}^{ext} foi empregado um método iterativo, descrito por Silva et al. (2008), no qual a T_{bs}^{ext} foi progressivamente reduzida, mantendo-se constante o valor de entalpia, até que fosse alcançado um ponto de estado cujo valor de umidade relativa do ar fosse igual ou bem próximo a 100%. Já a estimativa de T_{bs}^{painel} dependeu das propriedades psicrométricas do ar interno e externo à casa-de-vegetação; do processo de umidificação, devido à passagem do ar externo pelo painel de celulose; e do processo de aquecimento do ar, em função da radiação solar absorvida e transmitida pelo material plástico de cobertura para o interior da casa-de-vegetação (Figura 1). A evapotranspiração do tomateiro foi desprezada na estimativa de T_{bs}^{painel} , pois embora promovesse incremento na umidade do ar, a área experimental ocupada pelo cultivo do tomateiro foi somente a metade da área total da casa-de-vegetação (Figura 1). Portanto, não

existiam plantas entre o painel de celulose e o pedestal do sensor de temperatura e umidade relativa do ar, o qual estava junto da primeira linha de cultivo de tomateiros.

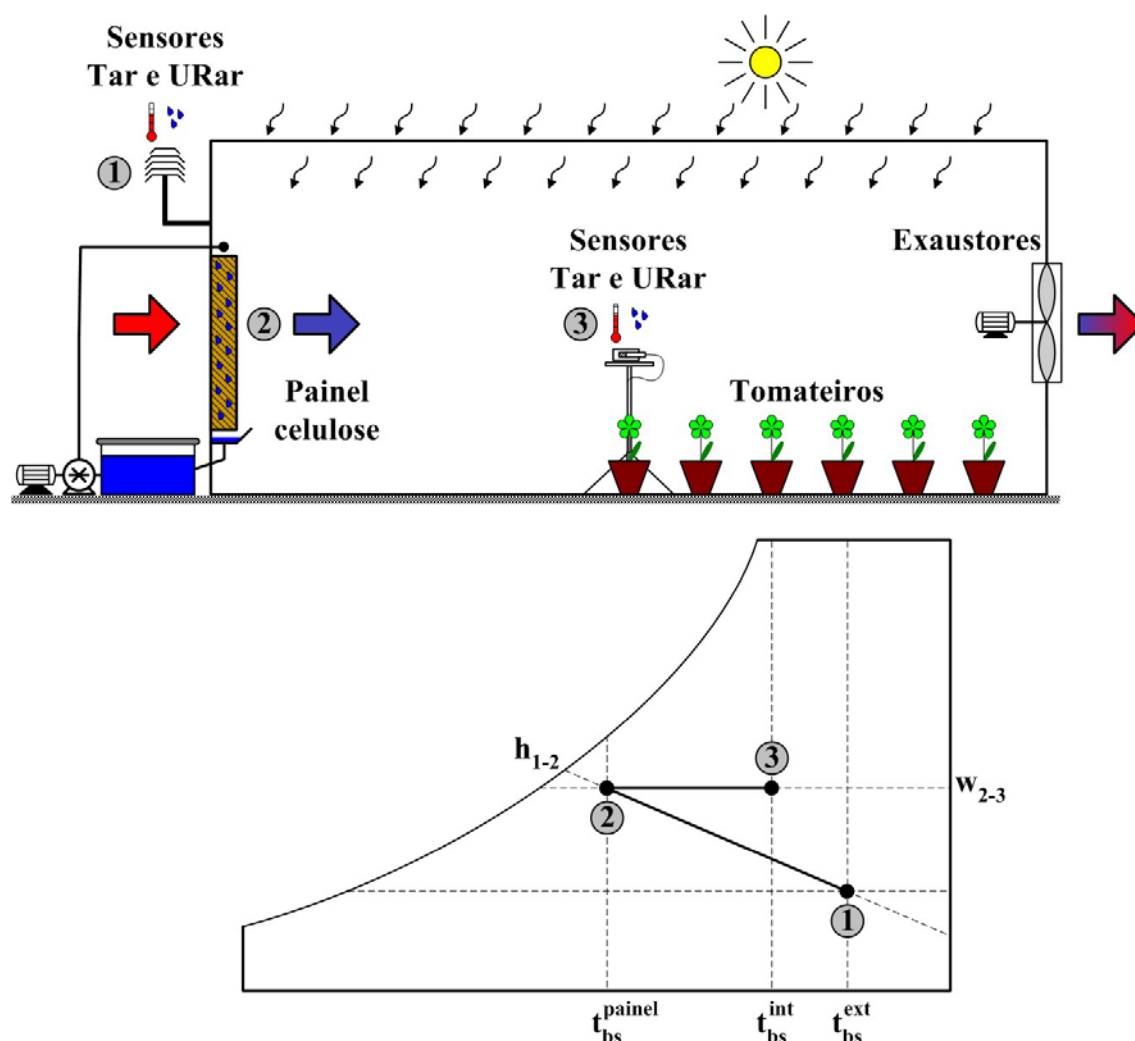


Figura 1. Corte longitudinal da casa-de-vegetação com a disposição do sistema de resfriamento evaporativo, tomateiros e sensores externos e internos, seguido da representação dos processos psicrométricos de umidificação ($1 \rightarrow 2$) e de aquecimento do ar ($2 \rightarrow 3$).

Com o processo de umidificação, a entalpia específica do ar imediatamente após a passagem pelo painel de celulose (ponto de estado 2) manteve-se igual à do ar externo (ponto de estado 1), por não ter ocorrido incremento na energia do ar. Por outro lado, com o processo de aquecimento, a razão de mistura do ar após o painel de celulose permaneceu igual à do ar interno (ponto de estado 3), em função de não ter ocorrido acréscimo de vapor d'água no ar. Assim, a interceptação da linha de entalpia constante que coincide sobre o ponto de estado 1 com a linha de razão de mistura constante que passa sobre o ponto de estado 3, possibilitou definir o ponto de estado 2 e, consequentemente, T_{bs}^{painel} (Figura 1).

A taxa de remoção de vapor d'água do ar interno à casa-de-vegetação ($g_{vapor\ d'água\ min^{-1}}$) foi obtida pela diferença de umidade absoluta entre o ar interno e externo à casa-de-vegetação

($\text{g}_{\text{vapor d'água}} \text{m}^{-3}_{\text{ar}}$), multiplicada pela taxa de ventilação do conjunto de exaustores ($800 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{min}^{-1}$).

A eficiência de resfriamento evaporativo e a taxa de remoção de vapor d'água do ar interno à casa-de-vegetação foram calculadas em escala horária somente para os períodos de tempo compreendidos entre o primeiro e o último acionamento do sistema de resfriamento do ar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações do déficit de pressão de vapor d'água do ar externo e interno à casa-de-vegetação para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006, no horário das 7:00 às 17:00 h, são apresentadas na Figura 2.

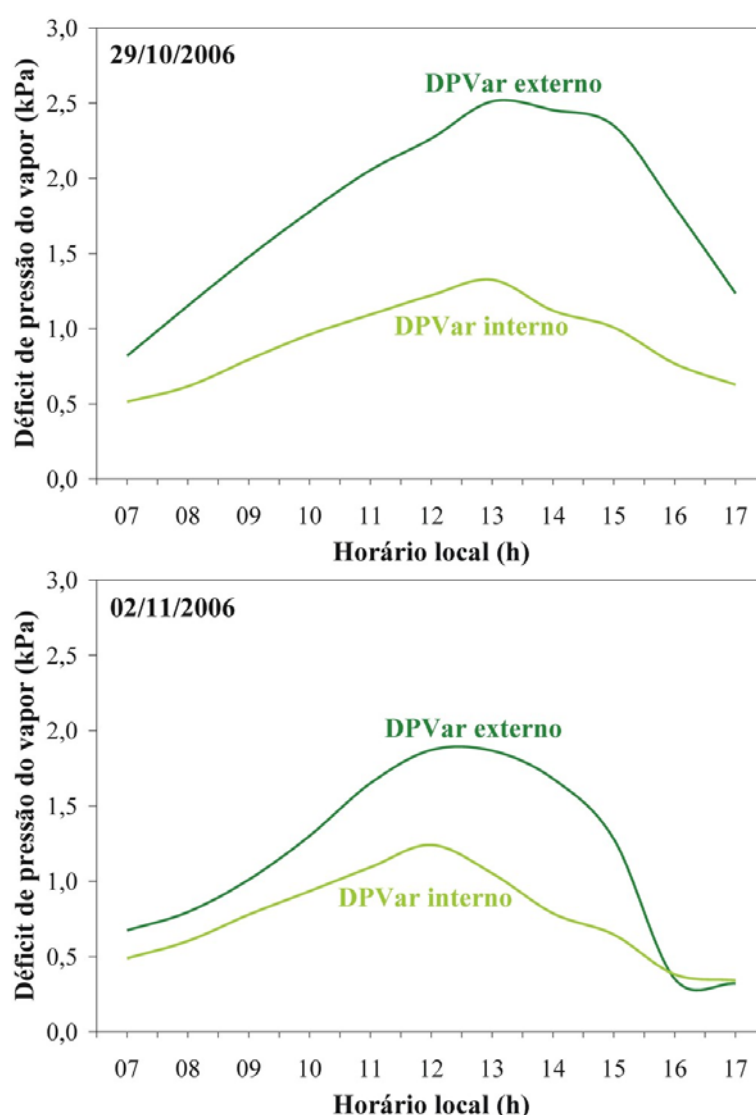


Figura 2. Variações do déficit de pressão de vapor d'água do ar externo e interno à casa-de-vegetação climatizada para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006.

De maneira geral, constatarem-se atenuações no déficit de pressão de vapor d'água do ar interno em relação ao ar externo à casa-de-vegetação, sendo que estas ocorreram de forma mais marcante no dia 29/10/2006, comparativamente ao dia 02/11/2006 (Figura 2). As diferenças médias entre o déficit de pressão de vapor d'água do ar externo e interno foram de, aproximadamente, 0,9 kPa e 0,4 kPa para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006, respectivamente. Portanto, no dia 29/10/2006 o ar possuía maior potencial de incorporação de vapor d'água e, consequentemente, de ser resfriado em relação ao dia 02/11/2006.

Na Figura 3 são mostrados os acionamentos do sistema de resfriamento evaporativo do ar e as variações da temperatura do ar externo e interno à casa-de-vegetação ao longo do período diurno para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006.

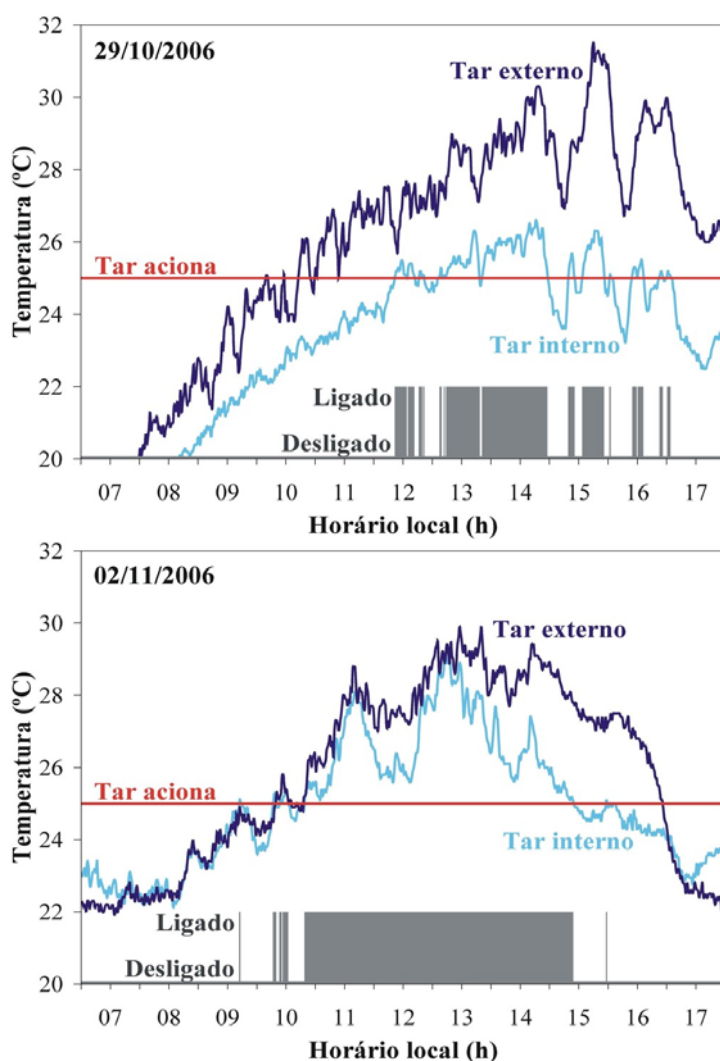


Figura 3. Acionamentos do sistema de climatização e variações diurnas da temperatura do ar externo e interno à casa-de-vegetação para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006.

Em decorrência da maior capacidade do ar em incorporar vapor d'água, o sistema de resfriamento evaporativo conseguiu manter no dia 29/10/2006 a temperatura do ar interno próxima do valor ajustado no termostato (25°C). Ao contrário, no dia 02/11/2006, apesar do sistema de resfriamento evaporativo do ar ter permanecido em operação ininterrupta por mais de 4 h, justamente no período mais quente deste dia, a temperatura do ar interno manteve-se

acima do valor adequado ao crescimento e desenvolvimento dos tomateiros (Figura 3). Tal fato pode ser justificado em função do déficit de pressão de vapor d'água do ar externo ter assumido valores reduzidos.

A redução máxima na temperatura do ar, ocorrida imediatamente após a passagem do mesmo pelo painel de celulose, foi de 11,4°C no dia 29/10/2006, no momento em que o déficit de pressão de vapor d'água do ar externo era de 2,3 kPa. Já no dia 02/11/2006, o maior decréscimo verificado na temperatura do ar interno foi de 8,2°C, quando o déficit de pressão de vapor d'água do ar externo era de 2,0 kPa. Estes resultados estão em concordância com os obtidos em outras pesquisas científicas que, utilizando sistemas de resfriamento evaporativo do ar *pad-fan* em casas-de-vegetação, constataram diminuições na temperatura do ar interno após o painel de celulose corrugada de até 10°C (Kittas et al., 2001), 13°C (Lertsatitthanakorn et al., 2006) e 15°C (Fuchs et al., 2006).

Em relação à taxa de ventilação da casa-de-vegetação, Albright (1990) recomenda que, no máximo, ocorra uma troca de ar por minuto, o que corresponde a aproximadamente $497 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{ min}^{-1}$, considerando-se as dimensões da casa-de-vegetação do presente trabalho. Por outro lado, a metodologia proposta pela National Greenhouse Manufacturer's Association dos EUA (NGMA, 2008) relaciona uma taxa mínima de $2,5 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{ min}^{-1}$ com a área da casa-de-vegetação e a distância do painel de material poroso aos exaustores, o que resulta em uma taxa de ventilação de aproximadamente $384 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{ min}^{-1}$. Adicionalmente, Fuchs et al. (2006) sugere uma taxa de ventilação de 30 trocas de ar por hora, correspondendo a $249 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{ min}^{-1}$ para a casa-de-vegetação deste estudo. Portanto, como a vazão conjunta dos exaustores instalados na casa-de-vegetação era de $800 \text{ m}^3_{\text{ar}} \text{ min}^{-1}$, a taxa de ventilação estava superdimensionada, tendo em vista os requerimentos do sistema de climatização. De acordo com Kittas et al. (2003), altas taxas de ventilação contribuem para a diminuição do gradiente de temperatura do ar interno ao longo da casa-de-vegetação, possibilitando que as plantas cultivadas mais afastadas do painel de material poroso possam ter melhores benefícios com a redução de temperatura do ar. Entretanto, o acréscimo na taxa de ventilação acima do recomendado tem como desvantagens o aumento no custo dos exaustores, no consumo de energia elétrica e na transpiração das plantas, podendo ocasionar estresse hídrico.

As oscilações nos valores da eficiência de resfriamento e da taxa de remoção de vapor d'água do ar interno à casa-de-vegetação, determinados para os períodos nos quais o sistema de climatização permaneceu acionado, são apresentadas na Figura 4.

No dia 29/10/2006, a taxa de remoção de vapor d'água do ar interno à casa-de-vegetação atingiu valor superior a $1800 \text{ g}_{\text{vapor d'água}} \text{ min}^{-1}$ (Figura 4), no mesmo horário em que foi constatado o maior déficit de pressão de vapor d'água do ar interno em relação ao externo, ou seja, às 13:00 h (Figura 2). Por outro lado, no dia 02/11/2006, a taxa de remoção de vapor d'água do ar interno apresentou tendência semelhante, porém com menor magnitude, alcançando $1300 \text{ g}_{\text{vapor d'água}} \text{ min}^{-1}$ próximo das 12:00 h.

As eficiências médias de resfriamento evaporativo do ar, considerando-se desde o primeiro até o último acionamento do sistema de climatização, foram de 81% e 74% para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006, respectivamente. Apesar da reduzida diferença entre os valores médios de eficiência, o tempo efetivo no qual os motores dos exaustores e da motobomba de recalque de água permaneceram acionados foi cerca de 40% superior no dia 02/11/2006 comparativamente ao dia 29/10/2006, causando um maior consumo de energia elétrica, desgaste dos equipamentos e não atingindo o objetivo de manter a temperatura do ar interno à casa-de-vegetação inferior a 25°C.

Os resultados da eficiência de resfriamento obtidos neste estudo estão próximos dos determinados por Lertsatitthanakorn et al. (2006) que, investigando a viabilidade econômica

de um sistema de resfriamento evaporativo do ar *pad-fan* com painel de celulose corrugada para melhorar as condições do ar em uma instalação, atingiram eficiência de resfriamento variando entre 66% e 80%. De acordo com estes pesquisadores, a eficiência de resfriamento é afetada por diversos fatores como as dimensões e o material de composição do painel evaporativo, as taxas de fluxo de ar e as condições externas de temperatura e umidade relativa do ar.

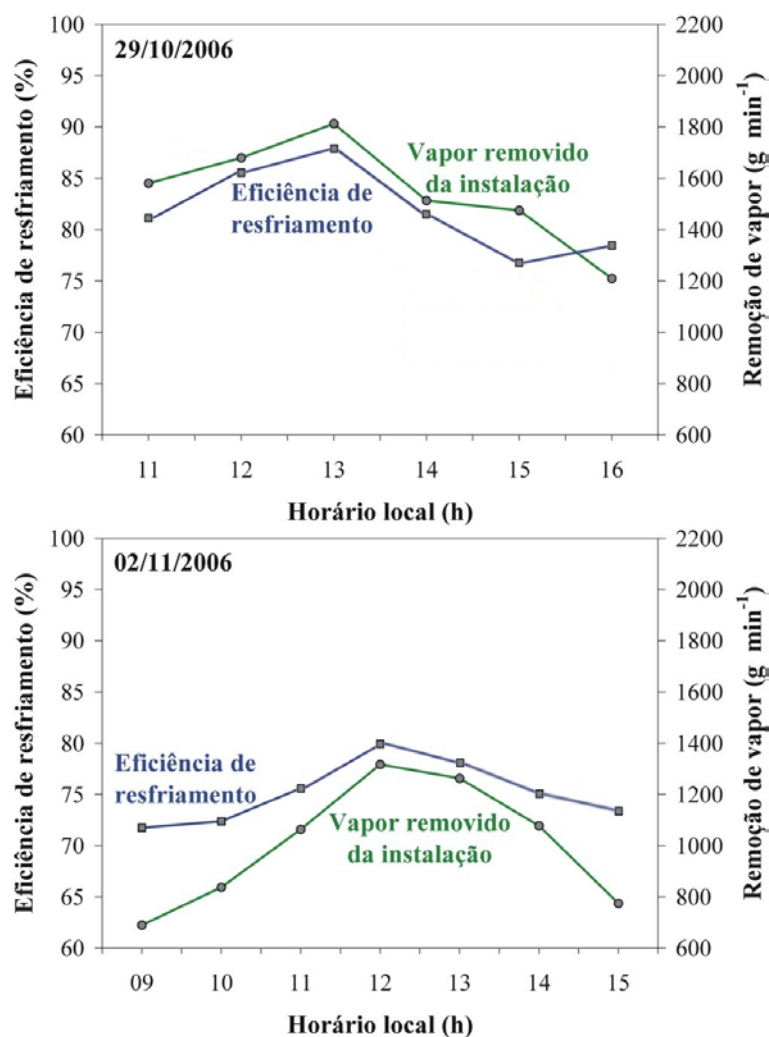


Figura 4. Variações da eficiência de resfriamento evaporativo e da taxa de remoção de vapor d'água do ar interno para os dias 29/10/2006 e 02/11/2006.

6 CONCLUSÕES

O sistema de resfriamento evaporativo analisado neste trabalho demonstrou ser uma tecnologia eficiente para amenizar satisfatoriamente a temperatura do ar interno à casa-de-vegetação.

As eficiências médias diárias de resfriamento evaporativo do ar variaram entre 74% e 81% enquanto que, os decréscimos máximos na temperatura do ar, imediatamente após a sua passagem pelo painel de celulose, foram de 8,2°C e 11,4°C, para os dias analisados.

As condições psicrométricas do ar externo são fundamentais para maximizar o desempenho do sistema de resfriamento evaporativo do ar *pad-fan* em casa-de-vegetação, sendo que a eficiência foi sensivelmente melhorada quando o déficit de pressão de vapor d'água do ar externo foi superior a 1,8 kPa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-GHANY, A. M.; KOZAI, T. Cooling efficiency of fogging systems for greenhouses. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 94, n. 1, p. 97-109, 2006a.

ABDEL-GHANY, A. M.; KOZAI, T. Dynamic modeling of the environment in a naturally ventilated, fog-cooled greenhouse. **Renewable Energy**, Oxford, v. 31, p. 1521-1539, 2006b.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1990. 453 p.

ARBEL, A.; BARAK, M.; SHKLYAR, A. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 84, n. 1, p. 45-55, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Evaporative air cooling. In: _____. **HVAC systems and equipment handbook**. Atlanta, GA, 1996. chap. 19, p. 1-8.

FUCHS, M.; DAYAN, E.; PRESNOV, E. Evaporative cooling of a ventilated greenhouse rose crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, Oxford, v. 138, p. 203-215, 2006.

KATSOULAS, N.; BAILLE, A.; KITTAS, C. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Oxford, v. 106, p. 233-247, 2001.

KITTAS, C.; BARTZANAS, T.; JAFFRIN, A. Greenhouse evaporative cooling: measurement and data analysis. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 3, p. 683-689, 2001.

KITTAS, C.; BARTZANAS, T.; JAFFRIN, A. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 85, n. 1, p. 87-94, 2003.

LERTSATITTHANAKORN, C.; RERNGWONGWITAYA, S.; SOPONRONNARIT, S. Field experiments and economic evaluation of an evaporative cooling system in a silkworm rearing house. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 213-219, 2006.

NATIONAL GREENHOUSE MANUFACTURER'S ASSOCIATION. **Ventilation & cooling**. Littleton, CO. Disponível em:
<<http://www.ngma.com/standardpdf/VentandCool.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2008.

- PEET, M. M.; WILLITS, D. H.; GARDNER, R. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 48, n. 306, p. 101-111, 1997.
- SANTOS, R. F.; VILAS BOAS, M. A.; KLAR, A. E. Alterações em variáveis agrometeorológicas pelo uso de estufa plástica. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p. 130-141, 2002.
- SETHI, V. P.; SHARMA, S. K. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. **Solar Energy**, Tampa, v. 81, p. 1447-1459, 2007.
- SILVA, M. A. A.; ESCOBEDO, J. F.; GALVANI, E. Influência da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) nos elementos ambientais em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 230-240, 2002.
- SILVA, J. S. et al. C. Princípios básicos de psicrometria. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 22. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p. 37-62.
- STEIDLE NETO, A. J. **Sistema computadorizado para preparo e aplicação de soluções nutritivas com base na estimativa da transpiração do tomateiro cultivado em casa de vegetação**. 2007. 159 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- TOIDA, H. et al. Enhancing fog evaporation rate using an upward air stream to improve greenhouse cooling performance. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 205-211, 2006.
- VIGODERIS, R. B. **Desenvolvimento de um protótipo para resfriamento adiabático evaporativo, em instalações climatizadas para animais, usando argila expandida**. 2002. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. **Ventilation of agricultural structures**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p. 103-118.