

CONSTRUÇÃO DE TÚNEL DE VENTO REDUZIDO, VISANDO A AVALIAÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EVAPORATIVO PARA ARREFECIMENTO TÉRMICO EM GALPÕES DE PRODUÇÃO ANIMAL

Ricardo Brauer Vigoderis¹; Ilda de Fátima Ferreira Tinoco²; Adílio Flauzino de Lacerda Filho³; Jadir Nogueira da Silva⁴; Richard S. Gates⁵; Daniel Gustavo de Pauli⁶, Cláudio Elias da Silva¹, Maria Clara de Carvalho Guimarães¹

Resumo

Placas de celulose corrugada têm sido, comumente, empregadas no processo de arrefecimento térmico de instalações avícolas, em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. Todavia, apresentam inconvenientes como o alto custo e baixa durabilidade. Por esta razão, surgiram indagações sobre a possibilidade de se utilizar, nesses sistemas, materiais alternativos como a argila expandida. Diante do exposto, esta pesquisa visou à construção de um protótipo de túnel de vento, que possibilitasse a avaliação da argila expandida como material poroso de placas, para resfriamento evaporativo do ar. Para a avaliação do protótipo e da argila expandida, placas de celulose corrugada foram consideradas como testemunha. Nas condições de realização deste experimento e pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o protótipo de túnel de vento reduzido, desenvolvido para avaliação de materiais porosos utilizados em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, mostrou-se eficiente para caracterização dos mesmos, assim como a argila expandida mostrou ser um material eficiente e apropriado para utilização no arrefecimento térmico de instalações para animais.

Palavras-chave: túnel de vento, placas evaporativas, eficiência de resfriamento, resfriamento evaporativo.

Abstract

Construction of a reduced-scale wind tunnel to evaluate expanded clay as pad material on evaporative air systems for thermal cooling of animal sheds

Cellulose pads have been commonly used to cool poultry sheds, despite high cost and low durability. Therefore, this study was done to explore the possibility of using expanded clay as an alternative, which required constructing a prototype of reduced-scale wind tunnel to evaluate the evaporative air cooling of the pads made from it and compare with the standard cellulose pads. Static pressure and evaporative cooling efficiency values of expanded clay pads of four different thicknesses were compared with the corresponding values of cellulose pads. It was concluded that the reduced-scale wind tunnel prototype was efficient for characterization of the pads and the expanded clay appears to be an efficient and appropriate pad material that can substitute cellulose pads for thermal air cooling of animal's facilities.

Keywords: wind tunnel, evaporative pads, cooling efficiency, evaporative cooling.

¹ Estudante de Doutorado, UFV – DEA – AMBIAGRO, ambiagro@ufv.br

² Prof. Adjunta IV, D.S., UFV – DEA – AMBIAGRO, iftinoco@ufv.br

³ Prof. Adjunto IV, D.S., UFV – DEA, alacerda@ufv.br

⁴ Prof. Titular, Ph.D, UFV – DEA, jadir@ufv.br

⁵ Professor and Chair, Ph.D, UK – BAE, gates@bae.uky.edu

⁶ Estudante de Graduação, UFV – DEA – AMBIAGRO, ambiagro@ufv.br

INTRODUÇÃO

O setor de produção animal no Brasil vem demonstrando grande desenvolvimento nos últimos anos, apresentando constantes inovações nas áreas da genética, nutrição, manejo e sanidade. Entretanto, em climas tropicais e subtropicais, os altos valores de temperatura, sobretudo no verão, têm sido limitantes ao máximo aproveitamento do potencial genético das aves. Como alternativa, busca-se amenizar os efeitos das altas temperaturas no interior das instalações, o acondicionamento térmico, por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), forçando a passagem do ar externo através de um material poroso, umedecido por meio de ventiladores ou exaustores. Segundo Gates et al. (1991), Bottcher et al. (1991), Ryan et al. (1992), Aljmal et al. (1994), Ali et al. (1999), Arbel et al. (1999), Tinoco (1996) e outros, o sistema de resfriamento evaporativo tem se tomado padrão em muitas instalações avícolas e casas de vegetação, sendo também usado no arrefecimento de instalações para suínos e gado de leite.

No Brasil, placas de celulose corrugada têm sido comumente empregadas. Entretanto, apresentam inconvenientes como um alto custo e baixa durabilidade. Por esta razão, surgiram indagações sobre a possibilidade de se empregar materiais alternativos, tal como a argila expandida.

Uma vez que o emprego da argila expandida em sistemas de acondicionamento, utilizados em instalações para animais, demonstra ser uma alternativa interessante, especialmente para avicultura e suinocultura industrial brasileira, e que pouco se conhece em termos de dimensionamento de placas, da eficiência no resfriamento adiabático evaporativo e na velocidade do ar no interior das instalações para animais, infere-se que há necessidade de estudos mais fundamentados quanto à sua aplicação para esses fins.

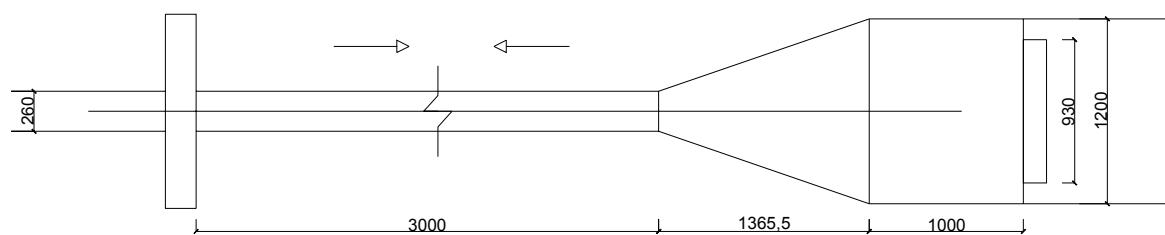
Entretanto, a avaliação comparativa de materiais porosos, tal como a argila expandida, envolve o estudo diretamente em galpões avícolas ou em túneis de vento convencionais, o que muitas vezes inviabiliza a pesquisa. Neste sentido, investigações sobre os diferentes tipos de materiais que compõem o SRAE foram realizadas, objetivando à construção de túneis de vento em escala reduzida. Um túnel de vento construído por

Liao (2002) em Taiwan, sugere que este protótipo poderia ser adequado aos experimentos relativos ao estudo de materiais alternativos para SRAE. Portanto, esta pesquisa teve como objetivos a construção e avaliação de um túnel de vento reduzido, segundo metodologia definida por Liao (2002), com algumas alterações, visando à sua utilização na caracterização de placas de materiais porosos, utilizados em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, bem como à avaliação da argila expandida como material poroso, no resfriamento adiabático evaporativo do ar, em comparação com a celulose corrugada, utilizada como testemunha, cujas características são devidamente conhecidas.

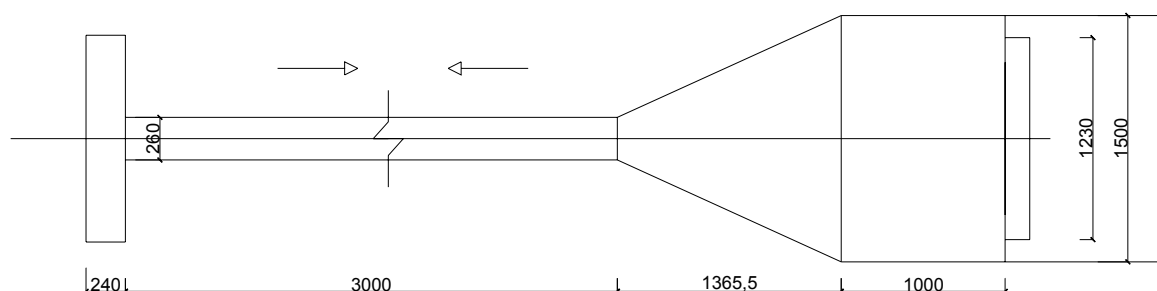
MATERIAL E MÉTODOS

A fase experimental do presente trabalho foi realizada no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

O protótipo construído consistia de uma câmara de expansão com 1000 mm de altura, 1500mm de largura e 1.200mm de profundidade. Tais dimensões foram adotadas, a fim de possibilitar que as características psicrométricas do ar fossem avaliadas a, no mínimo, um metro após as placas porosas. A câmara de expansão foi confeccionada com chapas metálicas galvanizadas nº26, reforçada com ferro de perfil chato com dimensões de 20 x 3mm. Em uma das extremidades da câmara, foi colocada a placa de celulose corrugada para realização dos testes. No centro geométrico de cada uma das faces da câmara, foram confeccionados orifícios, onde foram instalados tubos plásticos para medição da pressão estática, a fim de verificar a homogeneidade do fluxo de ar. Uma redução metálica foi fixada em uma de suas extremidades, convergindo para um duto circular de 260 mm de diâmetro (diâmetro da boca do ventilador) e 3000 mm de comprimento, obedecendo a recomendação quanto à relação comprimento/diâmetro maior ou igual a 10 (Liao, 2002). Foi acoplado, ao sistema, um ventilador centrífugo de vazão de $1.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, acionado por um motor de 5.760 W, 220/380 Volts, trifásico, de 1.750 rpm. A extremidade livre do ventilador foi dotada de um anteparo regulável visando à variação da vazão de ar do mesmo. O esquema do túnel de vento reduzido é apresentado na Figura 1.



(a) Vista superior do túnel de vento



(b) Vista lateral

Figura 1. Representação esquemática do túnel de vento, construído em escala reduzida para medição das variáveis, consideradas na avaliação dos painéis evaporativos. (dimensões em mm)

Durante os testes, as placas de material poroso foram umedecidas com lâmina de água, para permitir o resfriamento por evaporação. O sistema de molhamento por lâmina de água foi constituído de um tubo de PVC de 20 mm de diâmetro, posicionado logo acima das placas e perfurado a cada 35 mm, totalizando 28 orifícios, por onde iam jatos de água, que batiam em um anteparo metálico, formando uma lâmina homogênea que escoava pelo material poroso. Esse tubo era alimentado com água, que fluía através de uma mangueira de mesmo diâmetro, cuja vazão de água era de $0.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Abaixo das placas evaporativas, foi posicionada uma canaleta metálica conectada a um tubo de PVC de 20 mm, visando à coleta da água excedente, que deixava o material poroso.

Foram obtidos valores de velocidade do ar próximo às placas evaporativas, pressão estática, temperatura de bulbo seco, umidade do ar externo e temperatura do ar interno para quatro diferentes aberturas do regulador de vazão. Com este procedimento, objetivou-se a visou a obtenção dos valores limites da vazão, desde a menor até a maior, fornecida pelo sistema.

Para obtenção das velocidades do ar antes da passagem pela placa, foi construída uma estrutura quadriculada com dimensões 1230 x 930 mm e cantoneiras de abas de 150 mm, reticuladas com fios de alumínio. Tal estrutura foi instalada próximo às placas evaporativas. Para obter a velocidade média, foram medidas velocidades do ar no centro geométrico de cada quadrícula da estrutura, totalizando 110 medições. As medidas foram obtidas, utilizando-se um anemômetro digital de hélice, devidamente, calibrado. De posse dos dados, calculou-se a velocidade média por área de placa e a vazão.

As leituras de pressão estática foram obtidas, utilizando-se um manômetro com medidas em mmH₂O e exatidão de 0,1 mmH₂O (posteriormente convertidas em Pa), o qual foi acoplado por meio de uma mangueira, a cada um dos tubos fixados nas faces da câmara. Tal procedimento foi adotado, a fim de averiguar se os três pontos apresentavam os mesmos valores de pressão estática, verificando a homogeneidade do fluxo de ar.

Para determinação da eficiência do resfriamento evaporativo (η), foram obtidos valores de temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e da umidade relativa (UR) do ar, em intervalos de 30 segundos, por meio da programação de sensores destes parâmetros. Para o ar de entrada, foi utilizado um sensor conjugado de temperatura e umidade conectado a um *datalogger* com resolução $0,1^{\circ}\text{C}$ (temperatura) e 1% (umidade) e acurácia de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (temperatura) e $\pm 1\%$ (umidade). A temperatura de bulbo seco do ar de saída, ou após a passagem pelo material poroso, foi obtida por termistores acoplados a um *datalogger*, com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e acurácia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, em três pontos distintos dentro da câmara e no duto (no início, a 1 m e a 2 m).

De posse desses valores, foi determinada a temperatura de bulbo úmido, e, posteriormente, foi calculada a eficiência do resfriamento evaporativo (η) por meio da seguinte relação (ASHRAE, 1983):

$$\eta (\%) = \frac{T_{bs_1} - T_{bs_2}}{T_{bs_1} - T_{bu_1}}$$

em que:

T_{bs_1} = temperatura de bulbo seco do ar, antes de passar pelo material poroso ($^{\circ}\text{C}$);

T_{bs_2} = temperatura de bulbo seco do ar, após passar pelo material poroso ($^{\circ}\text{C}$); e

T_{bu_1} = temperatura de bulbo úmido do ar, antes de passar pelo material poroso ($^{\circ}\text{C}$).

Os valores de perda de carga, velocidade média do ar próximo às placas evaporativas e eficiência do resfriamento evaporativo (η), obtidos nas avaliações com o túnel de vento reduzido, foram comparados àqueles fornecidos pelos ábacos do fabricante da celulose corrugada, a fim de averiguar a confiabilidade do protótipo do túnel de vento construído. A variável de entrada dos ábacos para obtenção da pressão estática e eficiência do resfriamento evaporativo foi a velocidade média próximo à placa evaporativa, fornecida pelo protótipo.

As placas de celulose, utilizadas como testemunha, foram as mais comumente utilizadas para arrefecimento térmico em instalações para animais, da marca "Munters",

e dimensões de 1.230 X 310 X 150 mm com proteção de tinta betuminosa na face externa.

Para avaliação da argila expandida como material poroso, foram confeccionadas quatro diferentes espessuras de placa (50, 75, 90 e 120 mm), a serem preenchidas com o material em estudo. Tais espessuras foram determinadas com base em experimentos em túnel de vento, anteriormente, realizados por Silva (2002), no município de Palotina, PR. As dimensões de 1230 x 930 mm visavam compatibilizar a praticidade no manuseio mantendo a caracterização dos parâmetros analisados, sendo fixadas à abertura da câmara por meio de parafusos. As placas foram preenchidas com argila expandida de granulometria tipo 3222 – de 22/32 mm – equivalente à brita 2, densidade aparente $450 \text{ kg/m}^3 \pm 10\%$ e porosidade 0,5% (Peixoto, 2003).

Foram obtidos os valores de velocidade média do ar antes da placa, de perda de carga e da eficiência do resfriamento evaporativo para as quatro espessuras avaliadas no teste, aplicando-se as mesmas metodologias descritas para avaliação do túnel de vento reduzido.

Todos os dados foram tratados, empregando-se a análise de regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de "t" e adotando-se o nível de significância de até 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo. Para a análise estatística dos resultados, utilizou-se o programa SAEG 8.0 (Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, são apresentados os valores médios da velocidade do ar próximo às placas evaporativas (V_m), pressão estática (P_e) e eficiência do resfriamento evaporativo (η) para a placa de celulose. Foram utilizadas médias de velocidade do ar na placa, a fim de obter os valores de pressão estática e eficiência pelos ábacos do fabricante das placas de celulose, visando comparação com os dados experimentais.

Para comparação dos resultados, optou-se por uma análise de regressão linear, sendo os dados experimentais a variável independente e os dados do fabricante a variável dependente. Os valores de R^2 e β_i ajustados, são apresentados no Quadro 2.

Pode-se afirmar que, para o nível de 5% probabilidade, pelo teste t, que os valores de β_i são iguais a 1. Sendo assim, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os valores experimentais e os valores fornecidos pelos ábacos da Munters do Brasil.

Os valores de pressão estática foram coincidentes nos três pontos, localizados na três faces da câmara. As medidas foram feitas para todas as aberturas do anteparo regulador de vazão, mostrando, assim, que o fluxo era homogêneo e que a mesma quantidade de ar estava passando em todos os pontos da placa.

No Quadro 3, são apresentados os valores médios de velocidade do ar próximo às placas evaporativas (V_m), bem como a eficiência do resfriamento evaporativo (η) para a placa de celulose.

Quadro 1. Médias da velocidade (V_m), pressão estática (P_e) do ar e eficiência do resfriamento evaporativo (η) da placa de celulose

Abertura do anteparo	Avaliação			Fabricante		
	V_m (m/s)	P_e (Pa)	η (%)	V_m (m/s)	P_e (Pa)	η (%)
1	1,07*	4,9*	79,6(2,72)	1,07	3,2	78
2	1,38*	6,9*	77,5(1,61)	1,38	6,1	76
3	1,51*	9,8*	76,9(5,11)	1,51	8,8	74
4	1,62*	9,8*	74,6(1,09)	1,62	9,8	72

* Variâncias menores que 10^{-2} foram desconsideradas

Quadro 2. Valores de R^2 e β_i ajustados para os modelos de regressão

Parâmetro	β_i	R^2
Pressão estática	0,912*	0,989*
η	0,972*	0,999*

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

Quadro 3. Valores médios da velocidade média do ar (V_m) nas placas, eficiência do resfriamento evaporativo (η) para as espessuras das placas de 50 mm, 75 mm e 90 mm

Aberturas	Espessura das placas (mm)					
	50		75		90	
	V_m (m/s)	η (%)	V_m (m/s)	η (%)	V_m (m/s)	η (%)
1	1,01*	48,08 (1,33)	0,99*	62,57 (0,49)	0,81*	44,05 (1,25)
2	1,20*	48,30 (0,79)	1,14*	73,28 (2,84)	1,05*	48,95*
3	1,28*	51,48 (4,03)	1,20*	77,79 (0,08)	1,08*	49,15 (0,92)
4	1,31*	53,60 (0,19)	1,27*	79,70 (0,66)	1,23*	57,81 (0,38)

* Variâncias menores que 10^{-2} foram desconsideradas

Dentre as placas evaporativas com argila expandida avaliadas, aquela com espessura de 75mm mostrou-se a mais eficiente para o resfriamento evaporativo, com eficiência próxima àquela obtida com placas de celulose, indicando que a argila expandida é um material que pode ser usado na confecção de placas porosas, para o arrefecimento térmico do ar, em instalações de produção animal.

Durante as avaliações da perda de carga provocada pela argila expandida, observou-se que uma certa quantidade de água era jogada dentro do protótipo. Tal fato intensificava com o aumento na velocidade média do ar na placa e com o aumento em sua espessura. Devido a este fato, os valores de eficiência obtidos para placas de espessura de 90mm apresentaram queda, sendo descartados os valores de eficiência obtidos para placas de espessura de 120mm.

O aumento na eficiência do resfriamento evaporativo com o aumento da velocidade média nas placas de argila expandida, foi observado pelas três espessuras, o que

diferiu do material celulósico, que apresenta queda na eficiência no arrefecimento térmico com o aumento da velocidade média. Esta tendência pode ser explicada pela natureza do fluxo de ar no interior das placas de argila expandida, que é turbulento, provocado pela heterogeneidade do material. Segundo Wiersma & Short (1983), quando o fluxo torna-se turbulento, a evaporação de água aumenta, rapidamente, com a turbulência.

A interação dos valores de eficiência do resfriamento evaporativo, velocidade média e espessura de placa resultaram no modelo, apresentado por meio da equação de regressão ajustada para eficiência do resfriamento evaporativo em função da espessura da placa e velocidade média do ar, ou

$$\eta = -264,73 + 8,31 \cdot Es - 0,058 \cdot Esp^2 + 37,20 \cdot Vm \quad (1^*)$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

* $R^2 = 0,9551$

O modelo é representado, graficamente, na Figura 3.

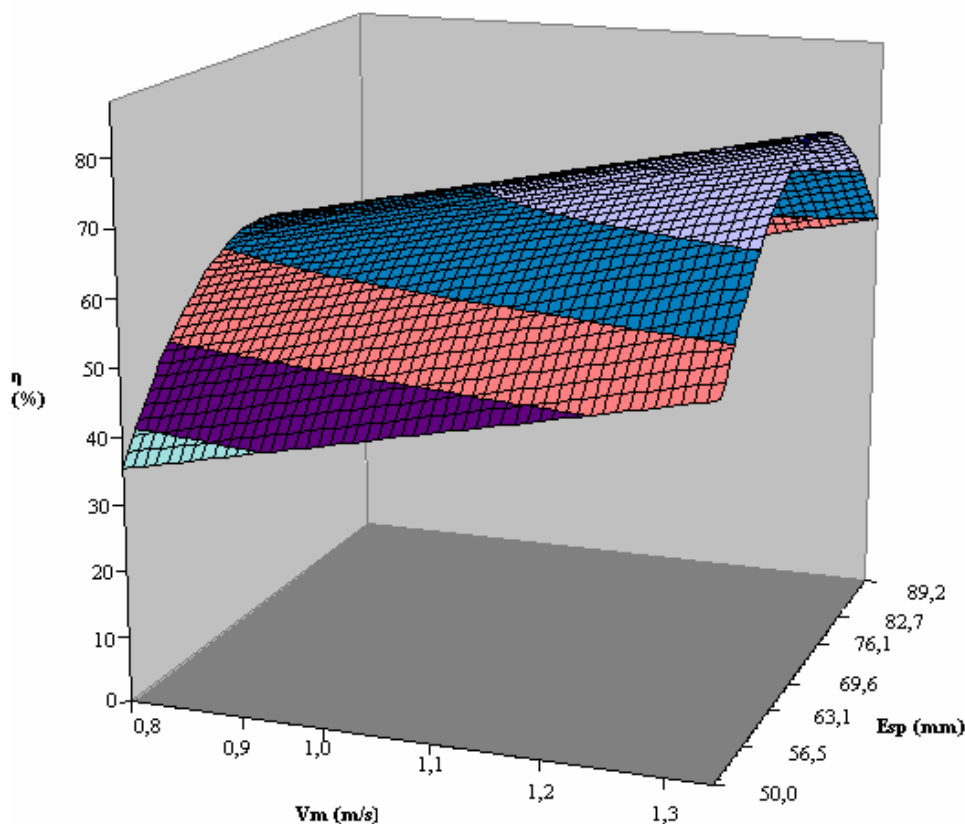


Figura 3. Eficiência do resfriamento evaporativo (η) em função espessura da placa (Esp) e da velocidade média do ar (Vm) para as placas de argila expandida.

Quadro 4. Pressão estática nos painéis de celulose e argila expandida para espessuras em estudo, velocidade média do ar na placa de 1,07 m/s

Material	Pressão estática (Pa)
Celulose corrugada	4,90
Painel de argila expandida espessura 50mm	74,18
Painel de argila expandida espessura 75mm	101,78
Painel de argila expandida espessura 90mm	133,68
Painel de argila expandida espessura 120mm	169,30

Observa-se um aumento na eficiência com o incremento da espessura. Tal fato pode ser explicado, em razão do maior tempo de contato do ar com a superfície saturada. Entretanto, obtendo-se o ponto de máximo do gráfico, observa-se que a eficiência atinge maior valor para a espessura de 75mm e, depois, começa a declinar. Tal fenômeno pode ser explicado pela interferência da entrada de água na câmara do protótipo, intensificado a partir deste ponto, diminuindo, assim, a quantidade de água disponível para o processo de resfriamento adiabático evaporativo.

A perda de carga com a utilização de argila expandida foi superior à perda obtida com a utilização da celulose, para as quatro espessuras em estudo (Quadro 4). Tal fenômeno é devido, principalmente, à heterogeneidade do material "argila expandida", que provoca uma maior

obstrução do fluxo de ar, aumentando, consideravelmente, os valores de perda de carga.

De posse dos resultados de pressão estática para as quatro espessuras de placa e quatro aberturas do anteparo regulador de vazão, foi obtida a interação pressão estática, espessura de placa e velocidade média do ar através destas, por meio da equação de regressão ajustada para pressão estática, em função da espessura e velocidade média, ou

$$Pe = -138,39 + 1,421 \cdot Esp + 129,07 \cdot Vm \quad (2^*)$$

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

* $R^2 = 0,9825$

O modelo é representado, graficamente, na Figura 4.

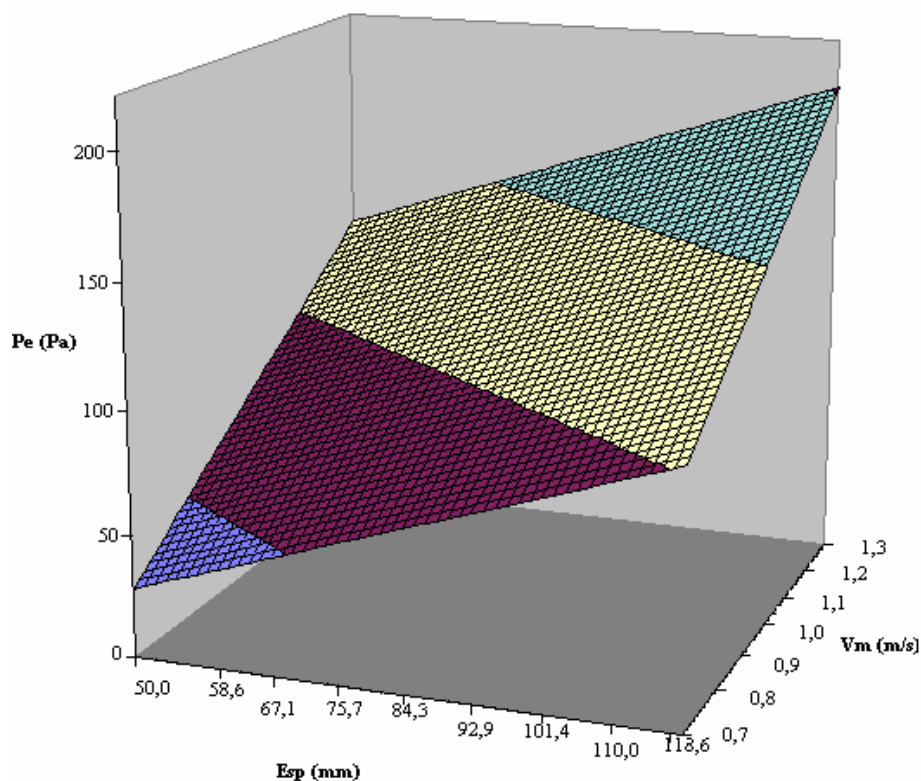


Figura 4. Eficiência do resfriamento evaporativo (η) em função espessura da placa (Esp) e da velocidade média do ar (V_m) das placas de argila expandida.

A análise do gráfico possibilita constatar que, com o aumento da espessura das placas, ocorre um acréscimo na perda de carga, ou seja, uma maior pressão estática, para quaisquer valores de velocidade média do ar. Este processo ocorre devido a maior obstrução à passagem do ar provocada pelo aumento na espessura, o que intensifica a perda de carga. Desta forma, os menores valores de perda de carga obtidos foram com a menor espessura testada, a de 50 mm. Sugere-se para esta situação, um aumento na área de material poroso, que diminuiria a pressão estática sem a necessidade de aumentar a potência instalada.

CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste experimento e conforme os resultados obtidos, conclui-se que:

- Na avaliação do túnel de vento reduzido, os valores experimentais de eficiência do resfriamento evaporativo e pressão estática foram coincidentes com os valores apresentados pelos ábacos do fabricante, ao nível de 5% de probabilidade;
- Como os valores de pressão estática foram, exatamente, iguais nas três faces da câmara nas quatro vazões avaliadas, o fluxo de ar no interior da câmara, onde as medições foram realizadas, era homogêneo;
- O túnel de vento reduzido, desenvolvido para avaliação de materiais porosos utilizados em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, mostrou-se eficiente para caracterização dos mesmos;
- Argila expandida (cinasita) é um material eficiente e apropriado para sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, a serem utilizados no arrefecimento térmico de instalações para animais;
- Há indicações que uma placa de 75 mm de espessura de camada de argila expandida (cinasita) proporciona melhor arrefecimento térmico do ar.

• A espessura de 50mm de argila expandida no painel evaporativo resultou em menor perda de carga e, conseqüentemente menor pressão estática; entretanto proporcionou baixa eficiência no resfriamento evaporativo do ar.

REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ALI, AKA; AL-HAIDARY, A.A.; ALSHAIKH M.A. **The effect of evaporative cooling in alleviating seasonal differences in milk production of Almarai dairy farms in the Kingdom of Saudi Arabia.** Journal of Animal. v 12. n 4, p. 590-596, 1999.

ALJMAL, K. **Greenhouse cooling in hot countries.** Energy. v 19. n 11, p. 1187-1192, 1994.

ARBEL, A.; YEKUTIELI, O.; BARAK, M. **Performance of a fog system for cooling greenhouses.** Journal of Agricultural Engineering Research. v 72. n 2, p. 129-136, 1999.

BOTTCHER, R. W.; BAUGHMAN, G. R.; GATES, R. S. **Characterizing efficiency of misting systems for poultry.** Transactions of ASAE. v 34. n 2 , p. 586-590, 1991.

LIAO, C.; CHIU, K. **Wind tunnel modeling the system performance of alternative evaporative coolings pads in Taiwan Region.** Building and Environment. v 37. p. 177-187. 2002.

GATES, R. S.; USRY, J.L; NIENABER, J. A. **An optimal misting method for cooling livestock housing.** Transactions of ASAE. v 34. n 5, p 2199-2206. 1991.

PEIXOTO, R. A. F; TINÔCO, I. F. F.; GATES, R. S.; MOURA, S. A. L.; SOUZA, C. F. **Performance of different types of applied Materials to Coverings of Facilities for Animal production – Simulation.** In: ASAE INTERNACIONAL MEETING, 2003, Las Vegas, NV, USA. 2003.

RYAN, D.P.; BOLAND, M. P.; KOPEL, E. Evaluating two different evaporative cooling management systems for dairy cows in a hot, dry climate. **Jornal of dairy science**. v. 75, n. 4, p. 1052-1059, 1992.

SILVA, C. E. **Comparação de painéis evaporativos de argila expandida e celulose para sistema de resfriamento adiabático evaporativo do ar em galpões avícolas com pressão negativa em modo túnel**. Viçosa: UFV. 2002. 67 p. (Tese de mestrado).

TINÔCO, I.F.F. **Efeito de diferentes sistemas de condicionamento de ambientes e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono**. Belo Horizonte: UFMG. 1996. 173 p. (Tese de doutorado).

WIERSMA, F. & SHORT, T. H. **Evaporative cooling**. In: Ventilation of Agricultural Structures. ASAE, 1983. p. 103-18.