

# DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE ÁGUA NEBULIZADA ( $\beta$ ) NO INTERIOR DE GALPÕES CLIMATIZADOS PARA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

VALCIMAR F. DE CARVALHO<sup>1</sup>, TADAYUKI YANAGI JUNIOR<sup>2</sup>,  
FLÁVIO A. DAMASCENO<sup>3</sup>, SANDRA R. P. MORAIS<sup>4</sup>, ILDA F. F. TINÓCO<sup>5</sup>

1 Bacharel em Ciência da Computação, Mestrando em Eng. Agrícola, UFLA. Cx. Postal 3037, Lavras - MG. E-mail: valcimar@gmail.com

2 Eng. Agrícola, Prof. Doutor, DEG/UFLA, Lavras - MG

3 Graduando em Eng. Agrícola, UFLA, Lavras - MG

4 Médica Veterinária, Profa. Dra., UEG, Anápolis - GO

5 Eng. Agrícola, Profa. Dra., DEA/UFV, Viçosa - MG

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho é determinar a fração de água nebulizada ( $\beta$ ) no interior de um galpão climatizado para criação de frangos de corte. A determinação de  $\beta$  foi feita por meio de um balanço de calor em regime permanente e de dados de temperatura de bulbo seco ( $t_{bs}$ ), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V), bem como da vazão de água nebulizada medidos em um galpão climatizado equipado com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e nebulização, funcionando simultaneamente. O galpão foi dividido em quatro seções (30, 60, 90 e 120 m), onde a  $t_{bs}$ , UR e V foram medidos, sendo analisados somente os dados nos trechos no qual o sistema de nebulização estava instalado. Os valores de  $\beta$  foram calculados por meio da equação de balanço de calor para períodos no qual não ocorreram mudanças de  $t_{bs}$  e UR por pelo menos cinco minutos. A melhor equação ajustada, linear sem intercepto, possui  $r^2 = 0,88$ , com coeficientes das variáveis  $t_{bs}$  e UR significativos ( $P > 0,0001$  e  $P > 0,0197$ , respectivamente). A equação de  $\beta$  foi incorporada ao modelo de transferência de calor e massa para predição da  $t_{bs}$  e UR ao longo de um galpão climatizado, o que resultou nos erros padrões de  $0,81^\circ\text{C}$  e  $5,51\%$ , respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** resfriamento evaporativo, sistema de nebulização

## DETERMINATION OF FRACTION OF THE MISTING RATE ( $\beta$ ) INSIDE OF ACCLIMATIZED BROILER HOUSINGS

**ABSTRACT:** The goal of the present work is to determine the fraction of the mist which evaporates ( $\beta$ ) into an acclimatized broiler housing. Determination of  $\beta$  was made by a steady-state heat balance and the data of air dry bulb temperature ( $t_{db}$ ), relative humidity (RH) and velocity (V); as well as the flow rate of mist water measured in an acclimatized broiler housing equipped with tunnel ventilation with negative pressure and pad and misting evaporative cooling systems, working simultaneously. The broiler housing was divided in 4 sections (30, 60, 90 e 120 m), where the data of  $t_{db}$ , RH and V were measured, being analyzed only the data in the sections in which the misting system was installed. The values of  $\beta$  were calculated by heat balance equation for the periods in which no changes in  $t_{db}$  were detected for at least 5 minutes. The best equation fitted, linear without intercept, has  $r^2 = 0.88$ , with coefficients of the variables  $t_{db}$  and RH significant ( $P > 0.0001$  and  $P > 0.0197$ , respectively). The  $\beta$  equation was incorporated in the model to predict  $t_{db}$  and RH throughout an acclimatized housing, which resulted in standard errors of  $0.81^\circ\text{C}$  and  $5.51\%$ , respectively.

**KEYWORDS:** evaporative cooling, misting system

**INTRODUÇÃO:** Os sistemas de resfriamento evaporativo têm sido amplamente utilizados em galpões avícolas e a quantificação de sua eficiência é importante para se caracterizar este tipo de sistema. Nos sistemas de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido a eficiência de resfriamento ( $\eta$ ) é considerada adequada (ASHRAE, 1992), pois é dependente apenas das temperaturas do ar externo ( $t_{bs,e}$ ) e interno, após atravessar a placa de material poroso umedecido ( $t_{PAD}$ ). Entretanto, o uso  $\eta$  para caracterização de sistemas de nebulização não é adequado, pois as trocas de calor sensível e latente devem ser consideradas, além da  $t_{bs,e}$  e temperatura no interior do galpão ( $t_{bs,i}$ ) (GATES et al., 1992; SINGLETARY et al., 1996). Assim, para a caracterização do desempenho de sistemas de nebulização deve-se usar o parâmetro  $\beta$ , fração de água nebulizada que evapora no interior do galpão (BOTTCHEER et al, 1992). GATES et al. (1992) utilizaram o parâmetro  $\beta$  em um modelo transiente para prever o comportamento da temperatura ao longo do interior de um galpão climatizado equipado com ventilação em modo túnel e sistema de nebulização para criação de frangos de corte. SINGLETARY et al. (1996) conduziram vários testes para determinar o efeito da temperatura e UR sobre o parâmetro  $\beta$ . Com base no exposto, objetivou-se com o presente trabalho determinar  $\beta$  em um galpão climatizado equipado com ventilação em modo túnel de vento com pressão negativa funcionando simultaneamente a dois tipos de sistemas de resfriamento evaporativo, placas porosas umedecidas e nebulização.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os valores do parâmetro  $\beta$  foram calculados por meio da equação 1, obtida do balanço de calor em regime permanente no interior de um galpão para criação de frangos de corte equipado com ventilação em modo túnel e sistema de resfriamento do tipo material poroso umedecido e/ou nebulização. Os cálculos das variáveis psicrométricas foram feitos com base na metodologia proposta por WILHELM (1976).

$$\beta = (\rho_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} \cdot hfg)^{-1} \cdot \left\{ q_m + q_{so} + q_h + q_s + \left( \sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_j \cdot P_j - 1006 \cdot \rho_{inf_i} \cdot \dot{V}_{inf_i} \right) \cdot t_o - \left[ \sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_j \cdot P_j + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} - \rho_{inf_i} \cdot \dot{V}_{inf_i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD}) \right] \cdot t_i + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot t_{i-1} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot t_{PAD}) \right\} \quad (1)$$

Para a validação do modelo foram coletados dados em um galpão comercial (12 x 125 x 2,5 m) climatizado para frangos de corte com ventilação em modo túnel com pressão negativa e resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido funcionando simultaneamente a um sistema de nebulização, localizado no município de Itaberaí-GO, durante o período de 28 a 30 de maio de 2005, das 10:00 às 18:00h, totalizando 30 testes. O galpão foi dividido em 4 seções situadas a 30, 60, 90 e 120 m de uma das extremidades (entrada de ar), onde foram feitas as medições. Os frangos da linhagem Cobb, com idade  $37 \pm 1$  dia e peso médio de 2,4 kg, estavam alojados na densidade de 14 aves  $m^{-2}$ , totalizando 21.000 aves. Dados de temperatura de bulbo seco ( $t_{bs}$ ) e umidade relativa (UR) foram medidos a cada um minuto por meio de sensores/registradores portáteis ( $\pm 3\%$ ) de leitura, pré-programados para coletar dados em intervalos de um minuto e, a velocidade do ar (V) foi medida por um anemômetro digital de hélice ( $\pm 3\%$ ), com cinco repetições em cada ponto de medição. Os valores de razão de mistura (W) foram determinados a partir das URs, por meio das rotinas desenvolvidas por WILHELM (1976). As vazões de ar foram determinadas em diversos pontos do galpão por meio da V. Numa das extremidades do galpão havia dez exaustores ( $64,55 m^3 h^{-1}$ ) succionando o ar através de um portão, de quatro janelas e da placa com material poroso umedecido, localizados na extremidade oposta, com vazões iguais a  $13,40 m^3 s^{-1}$ ,  $26,48 m^3 s^{-1}$  e  $4,45 m^3 s^{-1}$ , respectivamente. Infiltrações

observadas ao longo das cortinas ( $15,965 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e de uma porta lateral ( $4,255 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), localizada à 63 m da mesma extremidade, também foram consideradas nas simulações. Para o resfriamento do ar interno, dois sistemas atuavam concomitantemente: um do tipo material poroso umedecido com dois painéis de 10,70 m de comprimento por 1,80 m de largura e o outro do tipo nebulização, composto por sete linhas transversais (15, 25, 35, 45, 60, 80 e 110 m), contendo dez emissores, com vazão de  $6 \text{ L h}^{-1}$  linha<sup>-1</sup>.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Diversas regressões foram ajustadas usando o SAS Reg Procedure (SAS, 2001) para relacionar  $\beta$  a  $t_{bs}$ , UR e suas inter-relações, mostrando que o modelo linear foi o que apresentou melhor ajuste. Inicialmente, verificou-se que o intercepto não foi significativo ( $P = 0,5227$ ). Assim, nova equação foi ajustada (equação 1) forçando o valor do intercepto a assumir valor zero ( $a = 5,421011 \times 10^{-20}$ ). A Tabela 1 mostra a análise de variância para a regressão final ajustada.

Tabela 1. Análise de variância para a fração de água nebulizada ( $\beta$ ).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Prob>F
Modelo	2	7,16918	3,58459	1329,061	0,0001
Erro	27	0,07282	0,00270		
Total	29	7,24200			

Coefficiente de variação = 10,47337

A equação ajustada (equação 2) possui  $r^2 = 0,88$ , sendo que os coeficientes das variáveis  $t_{bs}$  e UR significativos ao nível de  $P > 0,0001$  e  $P > 0,0197$ , respectivamente.

$$\beta_i = 0,0326 (\pm 0,0053) \cdot t_{bs, i-1} - 0,0047 (\pm 0,0019) \cdot UR_{i-1} \quad (2)$$

Para se ter certeza da validade da equação para o cálculo de  $\beta$ , diversas simulações foram feitas para validar o modelo, comparando os valores simulados aos observados, sendo que para  $t_{bs}$  e UR os erros padrões foram de  $0,81^\circ\text{C}$  e  $5,51\%$ , respectivamente.

**CONCLUSÕES:** Os resultados mostraram que a fração de água nebulizada ( $\beta$ ) pode ser ajustada em função da temperatura de bulbo seco ( $t_{bs}$ ) e umidade relativa (UR) do ar. O parâmetro  $\beta$  aumenta com o aumento da  $t_{bs}$  e reduz com o aumento da UR.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores expressam seus agradecimentos a FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo financiamento do projeto e concessão de uma bolsa de mestrado e PIBIC, respectivamente.

## REFERÊNCIAS:

- ASHRAE. Evaporative air cooling, Ch. 19. In 1992 HVAC Systems and Equipment Handdbook. Atlanta, Ga.: Am. Soc. of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1992.
- BOTTCHER, R.W.; SINGLETARY, I.B.; BAUGHMAN, G.R. Ventilation of poultry building with exhaust fans at one end and continuous slot inlets along the sidewalls. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1673-1679, Sept./Out. 1992.

GATES, R. S.; OVERHULTS, D. G.; BOTTCHEER, R. W.; ZHANG, S. H. Field calibration of a transient model for broiler misting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1623-1631, Sept./Out, 1992.

SAS. **SAS User's Guide. Release 8.2.** Cary, N.C.: SAS Institute, Inc. 2001.

SINGLETERY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R., Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 5, p. 1801-809, Sept./Oct. 1996.

WILHELM, L. R. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 318-321 e 325, 1976.

## LISTA DE SÍMBOLOS:

$A_{i,j}, U_{i,j}$	Área e coef. global de transferência de calor associada ao i-ésimo volume de controle e j-ésimo componente estrutural da instalação, respectivamente, $m^2$ e $W m^{-2} K^{-1}$ ;
F	Fator de ganho de calor (obtido experimentalmente), $W m^{-1} K^{-1}$ ;
$\dot{m}_{PAD}, \dot{m}_{i-1},$ $\dot{m}_{inf}, \dot{m}_{neb},$ $\dot{m}_i, \dot{m}_p$	Taxa na qual a umidade é conduzida para o volume de controle pelo ar que passa pela placa porosa umedecida, pela ventilação, infiltração, devido a aplicação de água pelo sistema de nebulização, removida do volume de controle pela ventilação e produzida no interior do volume de controle, respectivamente, $kg s^{-1}$ ;
P	Perímetro do galpão, m;
$q_f, q_{neb}$	Calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro da construção e utilizado na evaporação da água nebulizada, W;
$q_{so}, q_w, q_h, q_m$	Calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão, transferido através da estrutura da construção, ganho dos sistemas de aquecimento e de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes, respectivamente, W;
$q_{si}, q_s$	Calor sensível liberado por ave e pelos animais alojados em uma área, respectivamente, $W ave^{-1}$ e W;
$q_{vi}, q_{vo}$	Calor sensível transferido pelo ar de ventilação que entra e que deixa o volume de controle considerado, respectivamente, W;
$t_i, t_{i-1}, t_{bs,o}, t_1,$ $t_{PAD}$	Temperatura do ar no volume de controle atual (i) e anterior (i-1), externo, que deixa o material poroso umedecido e após atravessar a placa porosa umedecida, respectivamente, °C;
$\dot{V}_{PAD}, \dot{V}_{i-1},$ $\dot{V}_{inf}, \dot{V}_i$	Vazão volumétrica do ar que atravessa a placa porosa umedecida, entra, infiltra e sai no volume de controle, respectivamente, $m^3 s^{-1}$ ;
$\rho_{PAD}, \rho_i,$ $\rho_{inf}, \rho_{i-1}$	Densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, entra, infiltra e sai do volume de controle, $kg m^{-3}$ ;
$W_{PAD}, W_{i-1},$ $W_{inf}, W_i$	Razão de mistura do ar que atravessa a placa porosa umedecida, entra, infiltra e sai no volume de controle, $kg kg^{-1}$ .
$\beta, \beta_i$	Fração de água nebulizada no interior do galpão e no volume de controle i, respectivamente.
$\rho_{H_2O}, \dot{V}_{H_2O}$ $hfg$	Densidade e vazão volumétrica da água, respectivamente, $kg m^{-3}$ e $kg.s^{-1}$ ; Calor latente de vaporização da água, $J kg^{-1}$ .