

# ANÁLISES DE SENSIBILIDADE EM UM MODELO MATEMÁTICO PARA PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM GALPÕES CLIMATIZADOS PARA 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. TINÔCO<sup>5</sup>

1 Bacharel em Ciência da Computação, Mestrando em Eng. Agrícola, DEG/UFLA, Lavras - MG, bolsista CAPES, valcimar@gmail.com

2 Eng. Agrícola, Dr., Prof. Adjunto, Depto. Engenharia, UFLA, Lavras - MG

3 Aluno de Graduação em Eng. Agrícola, Bolsista PIBIC, UFLA, Lavras - MG

4 Médica Veterinária, Dra., Profa. Universidade Estadual de Goiás - UEG, Anápolis - GO

5 Eng. Agrícola, Dra., Profa. Depto. Engenharia, UFV, Viçosa - MG

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2005 – João Pessoa - PB

**RESUMO:** Análises de sensibilidade em um modelo matemático para predição do ambiente térmico ao longo do comprimento de galpões climatizados para criação de frangos de corte foram realizadas com o objetivo de se avaliar a influência dos diversos parâmetros que compõem o modelo no cálculo da temperatura, umidade relativa e índice de temperatura e umidade (ITU). Simularam-se diversas condições climáticas, infiltração de ar no galpão ( $Q_{inf}$ ), vazão de ar que atravessa a placa porosa umedecida ( $Q_{PPU}$ ), eficiências de resfriamento da placa porosa umedecida ( $E_{PPU}$ ); densidades de criação (Dens), massa corporal das aves ( $M_{aves}$ ) e coeficientes globais de transferência de calor da cobertura ( $U_{Cob}$ ). As análises mostraram forte resposta do modelo às variações da temperatura externa, umidade relativa externa e  $E_{PPU}$ ; uma menor sensibilidade a Dens e praticamente nenhuma sensibilidade a  $M_{aves}$ ,  $U_{Cob}$  e  $Q_{inf}/Q_{PPU}$ , o que é consistente com o tipo de sistema estudado. Assim, em um sistema de produção comercial, dever-se-á considerar a  $E_{PPU}$  e a Dens, por se tratarem de variáveis passíveis de serem manejadas.

**PALAVRAS – CHAVE:** simulação, conforto térmico, resfriamento evaporativo

## SENSITIVITY ANALYSIS OF A MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT THE THERMAL ENVIRONMENT IN ACCLIMATIZED HOUSINGS TO BROILER CHICKENS

**ABSTRACT:** Sensitivity analyses in a mathematical model to predict the thermal environment throughout the length of acclimatized broiler chickens housing were carried out with the goal of evaluating the influence of several parameters that compose the model in the calculation of temperature, relative humidity and temperature-humidity index (THI). Several climatic conditions, air flow rate that infiltrates throughout the broiler housing ( $Q_{inf}$ ), air fluxes through the pad cooling ( $Q_{pad}$ ), pad cooling efficiencies ( $E_{pad}$ ); lodging densities (Dens), broiler chickens body masses ( $M_{broilers}$ ) and overall heat transfer coefficients of the roof ( $U_{roof}$ ). The analysis indicates a strong response to the outside temperature, outside relative humidity and  $E_{pad}$ ; a smaller sensitivity to the Dens and no sensitivity to  $M_{broilers}$ ,  $U_{roof}$  and  $Q_{inf}/Q_{pad}$ , which is consistent with the type of system studied. Therefore, in a commercial production system, it should consider the  $E_{pad}$  and Dens, because they are the variables feasible to be handled.

**KEYWORDS:** simulation, thermal comfort, evaporative cooling

**INTRODUÇÃO:** No projeto e avaliação de sistemas de produção avícolas torna-se necessário estudar a estrutura (ex.: telhado), ventilação, resfriamento evaporativo, densidade, dentre outros. Entretanto, experimentos em campo que abranjam uma ampla variedade de concepções arquitetônicas são praticamente impossíveis de serem executados e inviáveis economicamente. Assim, uma possível solução para o problema pode ser obtida por meio da modelagem matemática e computacional. Diversos exemplos podem ser citados na área de ambiência animal, tais como: modelo para transferência de calor e/ou massa em galpões avícolas (YANAGI JUNIOR et al., 2001; CARVALHO et al.; 2005), modelo para otimizar alguns sistemas de resfriamento evaporativo (SINGLETERY et al., 1996) e modelo para predição das respostas fisiológicas de aves (MEDEIROS, 2001). Após o desenvolvimento de um modelo matemático é importante se fazer às análises de sensibilidade para se estudar o efeito das variáveis e parâmetros de entrada sobre as respostas do modelo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi proceder às análises de sensibilidade em um modelo matemático proposto por CARVALHO et al. (2005), caracterizando assim, os parâmetros que mais afetam os cálculos da temperatura interna ( $t_{bs,i}$ ), umidade relativa interna ( $UR_i$ ) e índice de temperatura e umidade interna ( $ITU_i$ ).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Análises de sensibilidade foram feitas para se determinar o grau de importância das variáveis de entrada sobre as respostas de um modelo matemático para prever a  $t_{bs,i}$ , razão de mistura interna ( $W_i$ ) e  $ITU_i$  ao longo de galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido. O modelo matemático proposto por CARVALHO et. al. (2005) foi desenvolvido por meio de um balanço de calor e massa, em condições de regime permanente, resultando nas equações 1 e 2, respectivamente. Para o cálculo da  $UR_i$ , temperatura de ponto de orvalho ( $t_{po,i}$ ) e demais variáveis psicrométricas, utilizou-se a metodologia proposta por WILHELM (1976). A seguir, calculou-se o  $ITU_i$  através da equação 3, proposta por THOM (1959). O modelo matemático foi validado e os erros padrões para  $t_{bs,i}$ ,  $UR_i$  e  $ITU_i$  foram de 0,81°C, 5,51% e 0,74, respectivamente, valores estes, considerados adequados às simulações feitas na área de ambiência. A partir dos modelos, foram feitas análises de sensibilidades com objetivo de se investigar a influência de cada parâmetro de entrada do modelo matemático sobre o cálculo da  $t_{bs,i}$ ,  $UR_i$  e  $ITU_i$ . Simularam-se diversos valores para temperatura externa ( $t_{bs,e}$ ), umidade relativa externa ( $UR_e$ ), massa corporal das aves ( $M_{aves}$ ), densidade de criação das aves (Dens), eficiência de resfriamento evaporativo da placa porosa umedecida ( $E_{PPU}$ ), vazão de ar que infiltra ao longo do galpão em proporção à vazão de ar que passa placa porosa umedecida ( $Q_{inf}/Q_{PPU}$ ), e coeficiente global de transferência de calor da cobertura ( $U_{Cob}$ ). Como referência, considerou-se um galpão de dimensões 125 x 12 x 2,5 m, dividido em 125 volumes de controle, com  $E_{PPU} = 70\%$  e sistema de iluminação de pelo menos 11 h dia<sup>-1</sup>. Os demais dados de entrada foram:  $t_{bs,e} = 30^\circ\text{C}$ ;  $UR_e = 45\%$ ,  $P_{atm} = 93,58$  kPa;  $M_{aves} = 2,4$  kg; Dens = 14 aves m<sup>-2</sup>;  $U_{Cob}$  de 0,233 W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>;  $Q_{inf} = 3,5$  m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e  $Q_{PPU} = 70$  m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Os intervalos adotados para cada variável de entrada foram os seguintes: 25 a 40°C para  $t_{bs,e}$ , 10 a 70% para  $UR_e$ , 1,6 a 2,8 kg para  $M_{aves}$ , 10 a 20 aves m<sup>-2</sup> para Dens, 20 a 80% para  $E_{PPU}$ ,  $Q_{inf}/Q_{PPU}$  de 5 a 20% e  $U_{Cob}$  de 0,01 a 0,30 W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>.

$$t_{bs,i} = \frac{q_{m_i} + q_{so_i} + q_{h_i} + q_{s_i} + \left[ \left( \sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_j \cdot P_j - 1006 \cdot \rho_{inf_i} \cdot \dot{V}_{inf_i} \right) \cdot t_{bs,e} \right] + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot t_{bs,i-1} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot t_{PAD})}{\sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_j \cdot P_j + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} - \rho_{inf_i} \cdot \dot{V}_{inf_i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD})} \quad (1)$$

$$W_i = \frac{\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot W_{i-1} + \rho_{inf} \cdot \dot{V}_{inf} \cdot W_{inf} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot W_{PAD} + \dot{m}_p}{\rho_{i-1} \cdot (\dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{inf} + \dot{V}_{PAD})} \quad (2)$$

$$ITU_i = t_{bs,i} + 0,36 \cdot t_{po,i} + 41,5 \quad (3)$$

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Pela Figura 1a, observa-se que houve aumento significativo para  $t_{bs,i}$  médio, de  $12,4^{\circ}\text{C}$ , para os diversos valores de  $t_{bs,o}$  simulados; a  $UR_i$  média manteve-se entre 67 e 74%, dentro portanto, da faixa de valores recomendados para criação de frangos de corte, que é de 45% a 80% (MEDEIROS, 2001) e o  $ITU_i$  médio variou de 68,2 a 85,0, indicando condições de conforto a desconforto térmico em diversos níveis (THOM, 1959 e OLIVEIRA, 2004). A Figura 1b mostra que o aumento da  $UR_e$ , também é significativo para o modelo e faz aumentar a  $UR_i$  e a  $t_{bs,i}$ , tendendo este a se igualar a  $t_{bs,e}$ , por haver diminuição da capacidade de resfriamento do sistema a medida que  $UR_e$  aumenta. Sob elevados valores de  $UR_e$  e  $t_{bs,e}$ , o  $ITU_i$  foi superior a 74, caracterizando situações de desconforto térmico para as aves, uma vez que elas terão maior dificuldade em perder calor latente, o que compromete a produtividade. Para  $E_{ppu}$  igual a 20%, uma redução média de  $t_{bs,i}$  de  $1^{\circ}\text{C}$  foi verificada ao longo do galpão, enquanto que para  $E_{ppu}$  igual a 80%, a redução média estimada foi de  $5^{\circ}\text{C}$  (Figura 1c). A primeira condição mostra que o valor médio de  $t_{bs,i}$  está próximo ao de  $t_{bs,e}$  ( $30^{\circ}\text{C}$ ), caracterizando baixa perda de calor sensível pelas aves, enquanto que, para a segunda condição, observa-se conforto térmico em boa parte do galpão, principalmente nas regiões próximas à placa porosa umedecida. Nos demais casos, para promover melhores condições de conforto térmico ao longo do galpão, faz-se necessário a utilização de um sistema de resfriamento auxiliar, funcionando simultaneamente a placa porosa umedecida, como por exemplo, a nebulização. Uma menor sensibilidade do modelo foi verificada para a variável de entrada Dens, que variando de 10 para 20 aves  $\text{m}^{-2}$  resultou em aumento da  $t_{bs,i}$  e redução da  $UR_i$  em aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  e 3% (Figura 1d), respectivamente, devido ao aumento do calor dissipado pelas aves. As proporções utilizadas para  $Q_{inf}/Q_{ppu}$  (0,05, 0,10, 0,15 e 0,20) e as variações de  $M_{aves}$  e  $U_{Cob}$  tiveram efeitos desprezíveis sobre as variáveis respostas do modelo simuladas no interior do galpão.

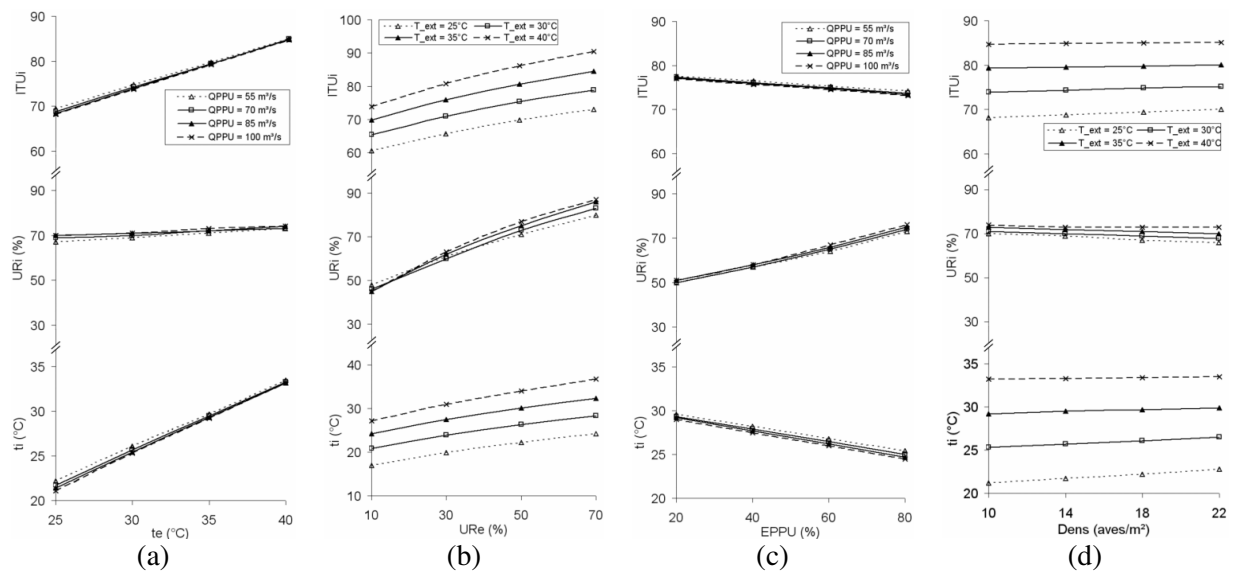


Figura 1. Comportamentos do ITU,  $t_{bs,i}$  e  $UR_i$  médios no interior do galpão para variação da (a)  $t_{bs,e}$ , (b)  $UR_e$ , (c)  $E_{ppu}$  e (d) Dens.

**CONCLUSÕES:** Por meio das análises de sensibilidade feita em um modelo matemático, desenvolvido para a predição da temperatura ( $t_{bs,i}$ ), umidade relativa ( $UR_i$ ) e índice de temperatura e umidade (ITU) ao longo do comprimento de galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido, verificou-se forte resposta do modelo às variações da temperatura externa ( $t_{bs,e}$ ), umidade relativa externa ( $UR_e$ ) e eficiência de resfriamento da placa porosa umedecida ( $E_{ppu}$ ); uma baixa sensibilidade às variações da densidade de criação (Dens) e, praticamente, nenhuma sensibilidade a massa corporal das aves ( $M_{aves}$ ), coeficiente global de transferência de calor da cobertura ( $U_{Cob}$ ) e diferentes proporções de ar que infiltra no galpão e atravessa a placa porosa umedecida ( $Q_{inf}/Q_{ppu}$ ), o que é consistente com o tipo de sistema estudado. Assim, em um sistema de produção comercial, dever-se-á considerar a  $E_{ppu}$  e a Dens, por se tratarem de variáveis passíveis de serem manejadas.

## REFERÊNCIAS:

CARVALHO, V.F.; DAMASCENO, F.A.; YANAGI JR., T.; MORAIS, S.R.P. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico, respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões em modo túnel de vento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA; 5, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: UEL/SBIAgro, 2005. 8p. 1CD.

MEDEIROS, C.M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte.** Viçosa: UFV, 2001, 115p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

OLIVEIRA, L.M.F. **Efeitos climáticos no conforto térmico animal e humano.** Lavras: UFLA, 2004, 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFLA, Lavras, 2004.

SINGLETARY, 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.

THOM, E.C. **The discomfort index.** *Weatherwise, Boston*, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1959.

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.

YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, G.S.; TEIXEIRA, V.H.; XIN, H. Prediction of black globe humidity index in poultry buildings. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001. p. 482-489.

## LISTA DE SÍMBOLOS:

$A_{i,j}, U_{i,j}$	Área e coef. global de transferência de calor associada ao i-ésimo volume de controle (VC) e j-ésimo componente estrutural da instalação, respectivamente, $m^2$ e $W m^{-2} K^{-1}$ ;
F	Fator de ganho de calor (obtido experimentalmente), $W m^{-1} K^{-1}$ ;
$\dot{m}_{PAD}, \dot{m}_{i-1}, \dot{m}_{inf}, \dot{m}_i, \dot{m}_p$	Taxa na qual a umidade é conduzida para o VC pelo ar que passa pela placa porosa umedecida, pela ventilação, infiltração, removida do VC pela ventilação e produzida no interior do VC, respectivamente, $kg.s^{-1}$ ;
P	Perímetro do galpão, m;
$\rho_{PAD}, \rho_i, \rho_{inf}, \rho_{i-1}$	Densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, entra, infiltra e sai do VC, $kg m^{-3}$ ;
$Q_{mi}, Q_{soi}, Q_{hi}, Q_{si}$	Calor sensível ganho de fontes mecânicas e elétricas, resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão, sistemas de aquecimento e liberado pelos animais alojados em uma área, W;
$t_{bs,o}, t_{bs,i}, t_{bs,i-1}, t_{po,i}, t_{PAD}$	Temperatura de bulbo seco do ar externo, no VC atual (i) e anterior (i-1), de ponto de orvalho no VC atual, 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 VC, respectivamente, $m^3 s^{-1}$ ;
$W_{PAD}, W_{i-1}, W_{inf}, W_i$	Razão de mistura do ar que atravessa a placa porosa umedecida, entra, infiltra e sai no VC, $kg kg^{-1}$ ;