

## MODELAGEM FUZZY APLICADA NA PREDIÇÃO DO DESEMPENHO DE AVES SUBMETIDAS AO ESTRESSE TÉRMICO

LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU<sup>1</sup>, DIAN LOURENÇONI<sup>2</sup>, LEONARDO SCHIASSI<sup>3</sup>,  
TONY MATHEUS CARVALHO EUGÊNIO<sup>4</sup>, TADAYUKI YANAGI JUNIOR<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, 3588937030, lhpubreu@gmail.com;

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, 3591369613, dlourenconi@hotmail.com;

<sup>3</sup> Professor Dr. Adjunto, UFMT, (66) 99815897, leoschiassi@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35) 98649256, tony.matheus@hotmail.com

<sup>5</sup> Professor Dr. Associado, UFLA, (35) 3829-1374, yanagi@deg.ufla.br

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** No Brasil a avicultura destaca sua importância e relevância no cenário nacional, e para o setor continuar em destaque no comércio mundial com uma produção elevada, é importante controlar o ambiente de produção de frangos de corte, proporcionando um ambiente de conforto para as aves. Assim, objetivou-se com este trabalho desenvolver um modelo matemático capaz de prever o consumo de ração (g) e ganho de peso (g) de frangos de corte submetidos a estresse térmico. O desempenho das aves foi analisado em túneis de vento climatizados no qual todas as variáveis ambientais foram controladas, variando apenas a temperatura. O modelo foi desenvolvido utilizando como variáveis de entrada: duração do estresse térmico (dias), temperatura de bulbo seco do ar (°C) e, como variável de saída: consumo de ração (g), ganho de peso (g). O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, tendo sido elaboradas 20 regras, sendo que, a técnica de defuzzificação usada foi a do Centro de Gravidade. Os resultados obtidos na simulação do modelo, quando comparado com os dados experimentais, evidencia-se uma eficiência satisfatória na determinação das respostas produtivas, no qual os valores de  $R^2$  calculados para CR e GP foram de 0,998 e 0,981, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desempenho, Estresse térmico, Modelagem

## FUZZY MODELING APPLIED TO PREDICT THE PERFORMANCE OF BROILERS UNDER HEAT STRESS

**ABSTRACT:** In Brazil poultry highlights their importance and relevance on the national stage, and the industry continue Featured in world trade with a high yield, it is important to control the production environment of broilers, providing an environment of comfort for the birds. Thus, the aim of this work was to develop a mathematical model to predict the feed intake (g) and weight gain (g) of broilers subjected to heat stress. The broiler performance was analyzed in air-conditioned tunnels in which all environmental variables were controlled wind, varying only the temperature. The model was developed using input variables: duration of heat stress (days), dry bulb temperature of air (°C) and as output variable feed intake (g), weight gain (g). The inference method was used to Mamdani, 20 rules were drawn up, and the defuzzification technique used was the Center of Gravity. The results of the simulation model when compared with the experimental data shows a satisfactory production efficiency in determining the answers, in which  $R^2$  values calculated for CR and GP were 0,998 and 0,981, respectively.

**KEYWORDS:** Performance, thermal stress, modeling

## INTRODUÇÃO

A produção de frangos de corte no Brasil e a busca por maior produtividade e qualidade do produto fornecido têm crescido nas últimas décadas, aumentando a competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor.

A evolução da avicultura, nos últimos anos, propiciou a atividade alcançar posição privilegiada no setor econômico brasileiro, ocupando atualmente o primeiro lugar no ranking de países exportadores de carne de frango e o terceiro lugar como produtor mundial, com produção total de 12.645 milhões de toneladas (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF, 2013).

Do total de frangos produzidos pelo país, 31,0% foram exportados em 2013 e 69,0% foram destinados ao consumo interno, no qual se atingiu um novo recorde para o consumo per capita de carne de frango para o setor, que era de 29,91 kg hab<sup>-1</sup> no ano de 2000, atingindo, aproximadamente, 45 kg hab<sup>-1</sup> em 2013 (UBABEF, 2013).

Com o crescimento na demanda de carne de frango, buscam-se, cada vez mais, melhorias na produtividade, assim, dever-se-á associar a utilização de aves melhoradas, geneticamente, a uma nutrição balanceada, com um ambiente adaptado às características das aves. Neste contexto, a utilização de um ambiente de produção adequado, é indiscutível na avicultura moderna, tendo em vista que esta tem por objetivo alcançar alta produtividade, em um espaço físico e um tempo relativamente reduzido.

Por serem animais homeotérmicos, os frangos de corte são capazes de manter a sua temperatura corporal por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais. No entanto, o sistema termorregulador destas aves não está completamente desenvolvido nas primeiras semanas de vida (FURLAN, 2006; NÃÃS, 2000) e, se forem submetidas a condições de estresse térmico, o seu bem-estar poderá ser afetado, em consequência, o seu desempenho.

Assim, quando as condições ambientais não estão dentro do limite considerado adequado, que é caracterizado pela zona de termoneutralidade, o ambiente torna-se desconfortável. Usualmente, esses limites são fixados em medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação, dentre outras variáveis ambientais.

Analisando em um âmbito mais amplo a interação entre idade e temperatura do ar no bem-estar de frangos de corte, pode-se perceber que a inteligência artificial pode ser aplicada nos processos produtivos, utilizando diferentes técnicas de modelagem computacional. Tais procedimentos, denominados inteligência artificial, são capazes de executar tarefas ou resolver problemas considerando uma base de conhecimento, no qual os sistemas mais aplicados e testados são as redes neurais artificiais e lógica *fuzzy* (SCHIASSI, 2011).

Dentre as diversas metodologias aplicadas, para auxílio à tomada de decisão, tanto no manejo, quanto no controle do ambiente de produção, a modelagem dos conjuntos *fuzzy* constitui-se de técnicas que permitem o manuseio rigoroso de informações qualitativas, pois utilizam da transformação de valores numéricos em variáveis linguísticas, determinadas por funções de pertinência.

Dessa forma, a estimativa de bem-estar animal, levando em consideração as diversas possibilidades de associações críticas tanto do ambiente térmico como do aéreo, constitui-se em um problema no qual a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* pode apresentar-se promissora (OWADA et al., 2007).

Em suma, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver um modelo matemático *fuzzy*, para prever o consumo de ração e ganho de peso de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, na segunda semana de vida.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da modelagem, esta pesquisa foi dividida em duas fases; na primeira, realizou-se o experimento com frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana e, na outra fase da pesquisa, os dados coletados no experimento foram usados para desenvolver o modelo capaz de prever o consumo de ração e ganho de peso.

A coleta de dados foi realizada em quatro túneis de vento climatizados, alojados dentro de um laboratório com área de 31,92 m<sup>2</sup> (5,6 m x 5,7 m), cujo pé-direito é de 3,5 m, equipada com dois sistemas de ar condicionado com potência de 5,275 kW (18.000 BTUs) cada, utilizado para a manutenção da temperatura no interior da sala experimental. Cada túnel climatizado (Figura 1a) possui uma gaiola com dimensões de 0,40 x 0,60 m, divididas em 3 partes iguais com dimensões de 0,08 m<sup>2</sup> (Figura 1b).



(a)



(b)

FIGURA1. a) Túneis de vento climatizado. b) Vista superior das gaiolas para alojamento dos frangos de corte no interior dos túneis de vento climatizados. **a) Conditioned wind tunnel. b) Superior view of the cages for housing broilers in the interior of the conditioned wind tunnels.**

Quatro níveis de duração do estresse térmico foram avaliados: 1, 2, 3 e 4 dias e, logo após, as temperaturas retornaram novamente às condições consideradas de conforto. Durante todos os testes, a umidade relativa foi mantida em  $60 \pm 1\%$  e a velocidade do ar em  $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ , caracterizadas como de conforto para os animais. A intensidade da luminosidade foi controlada de acordo com o manual COBB (2008); para a primeira, segunda e terceira semana, os valores foram fixados em 25 lux, 10 lux e 5 lux, respectivamente. A Tabela 1 lista os tratamentos avaliados. Posteriormente à coleta experimental, os dados para cada tratamento foram tabelados e usados para a determinação

dos valores acumulados de consumo de ração(g) e ganho de peso(g), os quais foram utilizados, também, na validação do modelo matemático proposto.

TABELA 1. Temperatura do ar e dias de manutenção da condição de estresse, aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados. **Air temperature and days of maintenance of stress condition, applied to broilers from 1 to 21 days of age kept in air-conditioned wind tunnels.**

Bateria	Túnel	Dias de vida								
		1 a 7	8	9	10	11	12	13	14	15 a 21
1	A	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		33°C	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		33°C	33°C	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	
2	A	33°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		27°C	27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		27°C	27°C	27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	
3	A	33°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		24°C	24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		24°C	24°C	24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	
4	A,B,C e D	33°C				30°C				27°C

Os conjuntos foram elaborados para caracterizar cada variável e foi determinada uma função de pertinência para cada conjunto. Buscando quantificar a importância da variação da temperatura na segunda semana de vida, nesta pesquisa, foram atribuídas como variáveis de entrada, duração do estresse térmico (dias) e a temperatura de estresse térmico (°C). Assim, foram determinados os intervalos para cada variável de entrada, e suas respectivas curvas de pertinência (Figura 2a e 2b), que foram representadas em formato triangular por melhor representar a divisão dos dados de entrada, conforme utilizado por diversos autores como TOLON et al. (2010) e PONCIANO et al. (2012).

Para as variáveis de saída, as curvas de pertinência ficaram caracterizadas como triangular (Figura 2c e 2d), por reproduzirem melhores respostas com os valores de desvio-padrão menores, sendo assim, utilizada por diversos autores (SANTOS et al., 2009; PONCIANO et al., 2012). Na análise, utilizou-se o método de inferência de Mamdani, que traz como resposta um conjunto fuzzy originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência, através do operador mínimo e em seguida, pela superposição das regras por meio do operador máximo (LEITE et al., 2010). A defuzificação foi feita utilizando o método do Centro de Gravidade (Centróide ou Centro de Área), que considera todas as possibilidades de saída, transformando o

conjunto fuzzy originado pela inferência em valor numérico (LEITE et al., 2010).

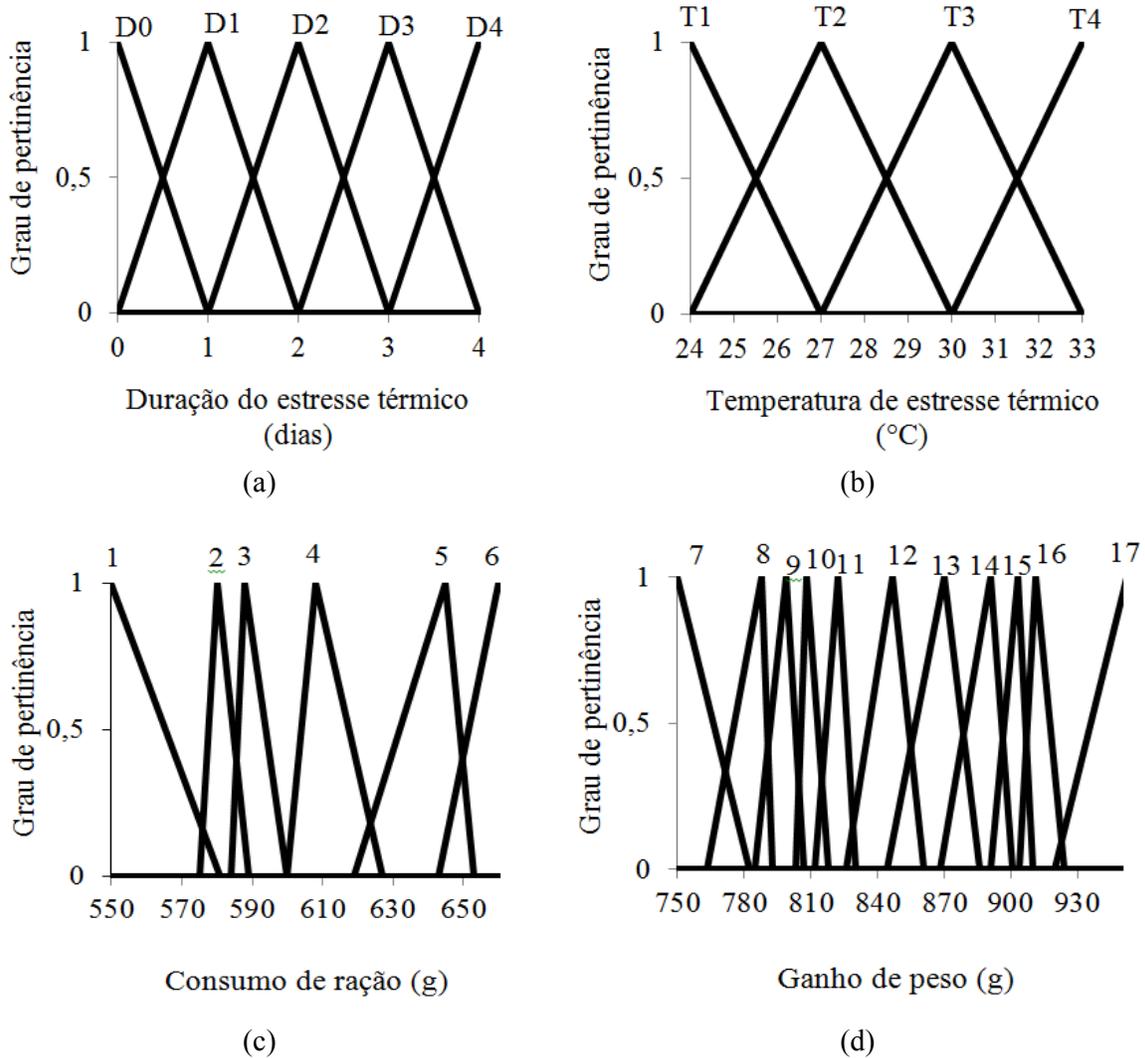


FIGURA 2 - Funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída: a) Duração do estresse térmico (dias), b) Temperatura do estresse térmico (°C), c) consumo de ração (g) e d) ganho de peso (g). **Relevant functions for the output and input variables: a) Duration of the thermal stress (days), b) thermal stress temperature (°C) c) feed intake (g) and c) weight gain.**

As regras foram definidas em sentenças linguísticas, com base nos dados coletados na primeira fase desse experimento e com auxílio de três especialistas, e se integram uma característica substancial no desempenho de um sistema de inferência *fuzzy*, que terá um bom desempenho somente quando as regras forem consistentes. Dessa forma, para o desenvolvimento da lógica *fuzzy* é necessário que o profissional seja qualificado para evitar possibilidades de contradições nas interações entre as regras (CHERRI et al., 2011).

Para realizar a validação da modelagem matemática, foram utilizados os dados coletados na primeira fase desta pesquisa, no qual frangos de corte da linhagem Cobb foram submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse, durante a segunda semana de vida e seu desempenho analisado durante 21 dias.

As simulações foram empregadas com o auxílio do Fuzzy Toolbox® do Matlab®, software onde toda a modelagem foi elaborada. Na avaliação do modelo proposto, as respostas produtivas das aves foram simuladas e como variáveis de saída os resultados foram equiparados com os dados adquiridos pelo experimento.

Em um âmbito mais amplo, objetiva-se com esses testes é avaliar a capacidade de como a modelagem pode prever o CR, GP e CA, abordando todas as prováveis combinações de variáveis iniciais. Dessa forma, o desempenho dos frangos de corte, fornecido como respostas do sistema, pode ser utilizado como ferramenta para tomadas de decisões no controle do ambiente produtivo em casos de estresse térmico.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Se as aves forem submetidas a condições de desconforto térmico, nas primeiras semanas de vida, o seu bem-estar poderá ser afetado, impactando, negativamente, o seu desempenho produtivo. Ressalta-se que as condições térmicas, as quais as aves estão submetidas nas primeiras semanas de vida, são relevantes para o desenvolvimento do animal no futuro (MARCHINI et al., 2009).

De acordo com ABREU et al. (2000), as aves que são submetidas a estresse térmico por baixas temperaturas, aumentam o seu CR, apesar disso não ocorre uma melhoria no desempenho das aves, isso se dá porque parte da energia ingerida é empregada na produção de calor. Percebe-se, claramente, esse efeito no experimento realizado (Tabela 2), no qual as aves submetidas a estresse térmico, em uma temperatura de 24 °C, com intensidade de 4 dias, durante a segunda semana de vida, apresentaram um CR e GP de 867,9 g e 592,9 g respectivamente, porém no tratamento controle no qual as aves foram submetidas a uma temperatura de 30 °C durante a segunda semana, considerada de conforto (SILVA et al. 2009), apresentaram CR e GP 762,68 g e 592,67 g ou seja, com o estresse térmico as aves consumiram, aproximadamente, 100 g a mais, enquanto que o GP foi praticamente o mesmo.

Os valores da temperatura de estresse térmico e a duração do estresse térmico, na segunda semana de vida, foram utilizados para prever o CR e GP e foram comparados com os dados observados no experimento realizado nos túneis de vento climatizados (Tabela 2). Foram calculadas as médias dos desvios-padrão de 1,19 g e 2,09 g para CR e GP, respectivamente.

TABELA 2. Comparação dos valores de consumo de ração (CR, g) e ganho de peso (GP, g), para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo. **Comparison of the feed intake (FI, g) and weight gain (WG, g) values for broilers from 1 to 21 days of age, experimentally obtained and simulated by the model.**

Temperatura do estresse térmico (°C)	Duração do estresse térmico (dias)	Dados Experimentais		Simulação <i>Fuzzy</i>		Desvio Padrão		Erro (%)	
		CR	GP	CR	GP	CR	GP	CR	GP
33	1	911,87	654,87	913,00	655,00	0,80	0,09	0,12	0,02
	2	826,84	582,74	823,00	581,00	2,72	1,23	0,47	0,30
	3	783,68	563,35	781,00	560,00	1,90	2,37	0,34	0,60
	4	808,05	559,62	809,00	560,00	0,68	0,27	0,12	0,07
27	1	821,75	588,35	822,00	591,00	0,18	1,87	0,03	0,45
	2	777,46	599,02	781,00	591,00	2,50	5,67	0,45	1,36
	3	888,55	628,90	887,00	637,00	1,10	5,73	0,17	1,27
	4	847,10	580,80	845,00	581,00	1,48	0,14	0,25	0,03
24	1	941,33	639,75	941,00	639,00	0,23	0,53	0,04	0,12
	2	901,93	606,43	901,00	612,00	0,66	3,94	0,10	0,91
	3	902,00	616,00	901,00	612,00	0,71	2,83	0,11	0,65
	4	867,90	592,90	867,00	591,00	0,64	1,34	0,10	0,32
30	-	762,68	592,67	760	591	1,90	1,18	0,35	0,28
		<b>Média</b>				<b>1,19</b>	<b>2,09</b>	<b>0,20</b>	<b>0,49</b>

Na pesquisa realizada por PONCIANO et al. (2012), para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, utilizando o modelo matemático, obtiveram valores médios de desvios-padrão de 4,31 g e 4,76 g, respectivamente e erros percentuais de 2,38 e 2,94%, demonstrando, assim, eficiência do modelo *fuzzy* proposto em simular as respostas produtivas.

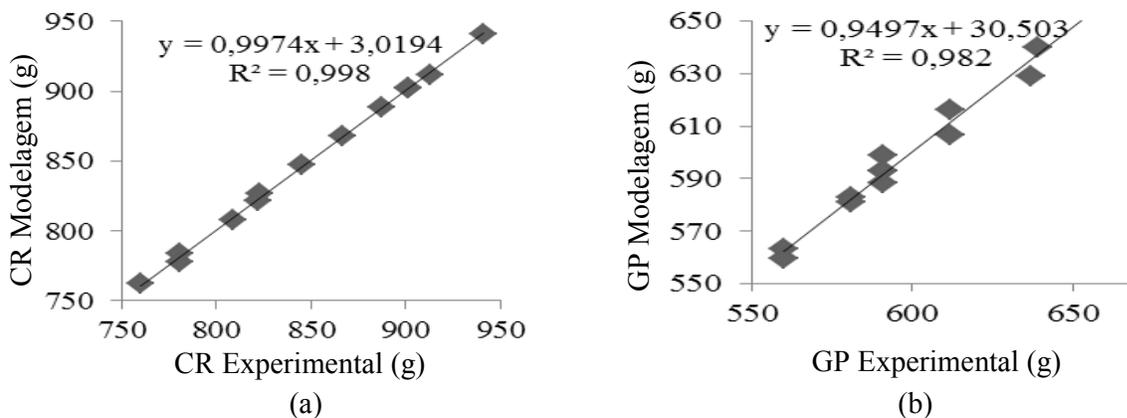


FIGURA 2. Regressões lineares das respostas produtivas medidas experimentalmente em virtude da modelagem : a) consumo de ração (CR) e b) ganho de peso (GP) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. . **Linear regressions of the productive responses experimentally measured and due to the modeling: a) feed intake (FI) and b) weight gain (WG) for broilers from 1 to 21 days of age.**

Na Figura 2, foram ajustadas regressões lineares simples dos valores obtidos, experimentalmente e por modelagem *fuzzy*, nos quais os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentado para CR, GP e CA foi de 0,998 e 0,98, respectivamente. Para avaliar o desempenho de frangos de corte adultos em função da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, MEDEIROS et al. (2005) desenvolveram um modelo matemático para prever o CR e GP e encontraram valores dos coeficientes de determinação de 0,91 e 0,89, respectivamente .

## CONCLUSÕES

O modelo matemático *fuzzy*, pode ser utilizado para prever com eficiência o consumo de ração e ganho de peso de frangos de cortes de 1 a 21 dias, que foram submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, podendo, dessa forma fornecer suporte a decisões.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos a CAPES ao CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro à esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. de; BAETA, F. C.; ABREU, V. M. N. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 159-167, jan./fev. 2000.

CHERRI, A. C.; ALEM JUNIOR, D. J.; SILVA, I. N. da. Inferência fuzzy para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis de material. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 173-195, jan./abr. 2011.

COBB-VANTRESS. **Broiler management guide**. Arkansas, 2008. 65 p.

FURLAN, R. L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 7., 2006, Chapecó. **Anais...** Chapecó: SBA, 2006. p. 104-135.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocessos. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

MARCHINI, C. F. P. et al. Intestinal morphometry of the duodenal mucosa in broiler chickens underwent to high cyclic environment temperature. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 2, p. 491-497, 2009.

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, 2005.

NÄÄS, I. A. Avaliação dos sistemas de acondicionamento térmico para frangos de corte. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 4., 2000, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2000. p. 133-144.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, set./dez. 2007.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 446-458, jun. 2012.

SANTOS, R. C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-6, ago. 2009.

SCHIASSI, L. **Modelagem fuzzy e geostatística na avaliação da salubridade de trabalhadores**. 2011. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, V. K. et al. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 690-696, 2009.

TOLON, Y. B. et al. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual**. Disponível em: <<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/732e67e684103de4a2117dda9ddd280a.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.