

## ADEQUABILIDADE DE DIFERENTES SISTEMAS *FUZZY* NA PREDIÇÃO DE RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE GALINHAS POEDEIRAS

BRUNA CAMPOS AMARAL<sup>1</sup>, TADAYUKI YANAGI JUNIOR<sup>2</sup>, BRUNA PONTARA VILAS BOAS RIBEIRO<sup>3</sup>, MARIA ALICE JUNQUEIRA GOUVÊA SILVA<sup>4</sup>, MARCELO BAHUTI<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola, UFLA, (32) 99805-8500, bruna.amaral@estudante.ufla.br

<sup>2</sup> Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras/MG

<sup>3</sup> Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras/MG

<sup>4</sup> MSc Depto. de Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras/MG

<sup>5</sup> MSc Depto. de Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras/MG

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente trabalho, comparar sistemas *fuzzy* elaborados com diferentes configurações aplicados a predição da temperatura superficial de galinhas poedeiras. As aves foram alojadas em túneis de vento climatizados, submetidas a combinação fatorial de diferentes temperaturas (20, 24, 28, 32 e 36 °C), umidades relativas do ar (40 e 80%) e velocidades do ar (0,2, 0,7 e 1,4 m s<sup>-1</sup>), totalizando trinta tratamentos. Os métodos de inferência Mandani e Sugeno foram avaliados para a predição da variável de saída temperatura superficial. Ao comparar os valores preditos por cada modelo aos obtidos experimentalmente, verificou-se que o método de inferência Mandani trapezoidal obteve os melhores valores de desvio padrão médio, erro percentual médio e erro absoluto médio, porém o melhor valor de R<sup>2</sup> se deu pelo método de inferência Sugeno com função triangular. Apesar de todos os sistemas *fuzzy* desenvolvidos se mostrarem adequados, verificou-se que a escolha das metodologias aplicadas à fuzzificação, inferência e defuzzificação influenciam na precisão das simulações.

**PALAVRAS-CHAVE:** temperatura superficial, funções de pertinência, logica fuzzy.

## SUITABILITY OF DIFFERENT FUZZY SYSTEMS IN PREDICTING PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF LAYER CHICKENS

**ABSTRACT:** The objective of this work was to compare fuzzy systems elaborated with different configurations applied to the prediction of surface temperature of laying hens. The birds were housed in climate-controlled wind tunnels, subjected to a factorial combination of different temperatures (20, 24, 28, 32 and 36 °C), relative air humidity (40 and 80%) and air velocities (0.2, 0.7 and 1.4 m s<sup>-1</sup>), totaling thirty treatments. The inference methods Mandani and Sugeno were evaluated for the prediction of the surface temperature output variable. When comparing the values predicted by each model to those obtained experimentally, it was found that the trapezoidal Mandani inference method obtained the best values of mean standard deviation, mean percentage error and mean absolute error, but the best R<sup>2</sup> value was given by the method of Sugeno inference with triangular function. Although all the developed fuzzy systems proved to be adequate, it was found that the choice of methodologies applied to fuzzification, inference and defuzzification influence the precision of the simulations.

**KEYWORDS:** surface temperature, membership functions, fuzzy logic.

**INTRODUÇÃO:** A cadeia produtiva da avicultura é uma das atividades econômicas mais imprescindíveis para a produção animal brasileira (ANUALPEC, 2019). O estresse térmico causa perdas diretas no desempenho de galinhas poedeiras, resultando em menor produção de ovos e, particularmente, em ovos de baixa qualidade (Attia et al., 2018; Liu et al., 2020). Além disso, o bem-estar das aves é uma questão que tem sido discutida em todo o mundo, não somente por autoridades, mas pelo próprio consumidor que está cada vez mais exigente. A temperatura, umidade relativa e velocidade do ar estão entre as variáveis ambientais que mais afetam as aves, pois influenciam na manutenção da temperatura corporal e nas trocas de calor para a preservação da homeotermia (COSTA et al., 2012; FERREIRA et al., 2012; BAÊTA; SOUZA, 2010). Quando submetidas a elevadas temperaturas, as aves aumentam a temperatura corporal, com a finalidade de aumentar a dissipação de calor e reduzir a produção metabólica de calor para manutenção da homeotermia corporal (OLIVEIRA et al., 2006). Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de técnicas de análise e controle que permitam alcançar ao máximo o bem-estar das aves, visto que, um ambiente inadequado pode afetar negativamente as respostas produtivas. Dentre as metodologias para o auxílio ao controle embarcado em sistemas, juntamente com a análise para predição das respostas produtivas, destaca-se a lógica *fuzzy*. A lógica *fuzzy*, também designada de lógica nebulosa ou difusa, foi criada a partir de 1965 por Lotfi Zadeh para trabalhar com mecanismos associando o modo humano de pensar em um sistema de controle (ODERANTI e DE WILDE, 2011). A lógica *fuzzy* é composta pela fuzzificação, o mecanismo de inferência e a defuzzificação (GOLAFSHANI et al., 2012). Um conjunto *fuzzy* é determinado por uma função de pertinência, e o grau de pertinência é considerado uma medida que expõe a probabilidade de um certo elemento fazer parte de um conjunto *fuzzy*. Devido a variabilidade desse modelo matemático computacional, a escolha das funções de pertinência não possui embasamento teórico com isso suas operações dependem do discernimento do sistema pelo operador. Diante do exposto, objetivou-se desenvolver e comparar diferentes sistemas *fuzzy*, para prever a temperatura superficial de galinhas poedeiras submetidas a diferentes temperaturas, umidades relativas e velocidades do ar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo em questão foi realizado em duas fases, sendo a primeira experimental e, posteriormente, a fase de desenvolvimento dos sistemas *fuzzy*. Para o desenvolvimento dos sistemas *fuzzy*, conduziu-se um experimento em túneis de vento climatizados, com capacidade de controlar as variáveis temperatura de bulbo seco (tbs), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V) com erros de  $\pm 0,05$  °C,  $\pm 0,8\%$  e  $\pm 0,1$  m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram utilizadas 90 aves da linhagem *Hy Line*, com idade de 28 semanas e no pico de produção. Inicialmente, estabeleceu-se um período de aclimação de 7 dias (ABDELQADER e Al - FATAFTAH, 2014; KODAIRA et al., 2015), no qual as aves foram alojadas em condição de conforto com tbs de  $23,2 \pm 0,1$  °C e UR de  $60,5\% \pm 0,8\%$  (ALBRIGHT, 1990; BAÊTA e SOUZA, 2010). Após o período de aclimação, as aves foram submetidas a uma combinação fatorial das variáveis tbs (20, 24, 28, 32 e 36°C), UR (40 e 80%) e V (0,2, 0,7 e 1,4 m s<sup>-1</sup>), totalizando 30 desafios térmicos (tratamentos). Três repetições foram realizadas para cada tratamento, sendo que, cada ave foi submetida a um desafio térmico uma única vez. Cada ave foi submetida a um determinado desafio por um período mínimo de 3h, sendo que, o critério de interrupção baseou-se na estabilização da temperatura cloacal ou no período máximo de 6 horas. Esse período de tempo baseou-se no estudo desenvolvido por Yanagi (2002), no qual poedeiras sujeitas a estresse agudo de 35°C, apresentaram o tempo necessário para que houvesse estabilização da temperatura cloacal. A temperatura superficial (tsup) das aves foram mensuradas em intervalos de 10 min, ao longo

de cada desafio térmico. A FR foi determinada pela contagem do ofego das aves durante 15 s e, posteriormente, multiplicado por quatro, para se obter os movimentos em minuto (MARCHINI et al., 2007). A  $t_{sup}$  foi mensurada por meio de uma câmera termográfica (modelo TI 55, Fluke, acurácia de 0,05 °C). O programa de luz ofertado às aves foi de 16L:8E, com iluminância de 5 lux. Durante todas as etapas as aves tinham água e ração *ad libitum* disponíveis. Para o desenvolvimento dos sistemas *fuzzy*, adotou-se como dados de entrada as variáveis meteorológicas (tbs, UR e V) e como saída a respostas fisiológica  $t_{sup}$ . Os sistemas *fuzzy* foram desenvolvidos adotando-se os métodos de inferência Mamdani (1974) e Takagi e Sugeno (1985). A metodologia Sugeno se distingue da Mamdani por ter o consequente da regra formado por uma função constante ao invés de um conjunto *fuzzy* (RAJ e MOHAN, 2016). Portanto, para os dois métodos de inferência, adotou-se as funções de pertinência triangular, gaussiana e trapezoidal. Para as variáveis de saída, adotou-se as funções triangulares, gaussianas e trapezoidais para a inferência Mamdani e, as funções *singletons* para a inferência Sugeno. Independente do tipo de função de pertinência usada, o grau máximo de pertinência (1,0) foi definido no mesmo ponto do eixo das abcissas. Este procedimento permite que as diferenças encontradas sejam devidas, unicamente, à forma de representação característica de cada função de pertinência, evitando assim, a distinção de posicionamento no domínio da variável. Em adição às avaliações dos métodos de inferência e tipos de funções de pertinência ajustadas aos dados de entrada e saída, variou-se os métodos de defuzzificação aplicados. Para a inferência Mamdani, foram testados os métodos do centro de gravidade da área (centroide), bissetor da área (bissetor), menor dos máximos (som), média dos máximos (mom) e maior dos máximos (lom). Enquanto que, para a inferência Sugeno, os métodos de defuzzificação de soma ponderada (wtsum) e média ponderada (wtaver) foram avaliados. O sistema de regras foi elaborado por três especialistas, evitando-se divergências entre as regras, seguindo a metodologia proposta por Cornelissen et al. (2002). Trinta regras foram desenvolvidas com base nas combinações das variáveis de entrada. Para cada regra, estabeleceu-se o fator de ponderação igual a 1, que se mostrou adequado aos sistemas *fuzzy* propostos e, corrobora com outras literaturas (ABREU et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015). Para se testar os sistemas *fuzzy*, os resultados das simulações foram comparados aos obtidos experimentalmente por meio dos índices estatísticos desvio padrão médio ( $\sigma$ ), erro percentual médio (Ep), erro absoluto médio (Ea), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após a definição das funções de pertinência das variáveis de saída, foram realizados ajustes a fim de proporcionar os menores erros, conforme Schiassi et al. (2015). Desse modo, os resultados dos modelos *fuzzy* para a temperatura superficial estão dispostos na Tabela 1, na qual, lista os indicadores de  $\sigma$ , Ea, Ep, R<sup>2</sup> e RMSE quando comparados aos dados obtidos experimentalmente. Ao analisar os sistemas Mamdani, verificou-se que o método de inferência Mamdani trapezoidal obteve os melhores valores de desvio padrão médio (0,3595) e erro absoluto médio (1,6386) pela defuzzificação bissetor e erro absoluto médio (0,5083) pela defuzzificação lom. Valores esses considerados baixos e adequados, indicando a eficiência dos sistemas *fuzzy* propostos em simular a temperatura superficial. Silva et al. (2019) em seu estudo sobre a modelagem *fuzzy* do consumo alimentar de coelhos obtiveram as médias dos desvios-padrão de 0,95 g e 0,55 mL para consumo de ração (CR) e consumo de água (CH<sub>2</sub>O), respectivamente. Cecchin et al. (2016) trabalhando com a modelagem *fuzzy* para prever a temperatura superficial em suínos obtiveram desvio padrão de 0,61°C. Schiassi et al. (2015) aplicando a lógica *fuzzy* no desempenho de frangos de corte obtiveram desvio padrão médios das variáveis ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA) de 3,10 g, 4,15 g e 0,03 g g<sup>-1</sup>, respectivamente. O desvio padrão médio encontrado no presente trabalho foi inferior aos obtidos por Silva et al. (2019),

Cecchin et al. (2016) e Schiassi et al. (2015) em seus estudos, mostrando que, além de indicar a boa eficiência, o resultado encontrado evidencia uma alta precisão do sistema *fuzzy* desenvolvido.

TABELA 1. Indicadores estatísticos das diferentes estruturas de sistemas de inferência *fuzzy* testados para temperatura superficial.

Sistema	Inferência	Funções	Defuzzificação	Indicadores de desempenho dos modelos				
				$\sigma$	Ep	Ea	R <sup>2</sup>	RMSE
1	Mamdani	Entrada Triangular Saída Triangular	centroide	0,3712	1,6934	0,5250	0,9345	1,1025*
2			bissetor	0,3889	1,7379	0,5500	0,9334	1,1489
3			mom	0,5598	2,5118	0,7917	0,9282	1,3258
4			lom	0,5527	2,4093	0,7817	0,9328	1,2480
5			som	0,5598	2,4093	0,7917	0,9325	1,3283
6	Mamdani	Entrada Gaussiana Saída Gaussiana	centroide	0,5303	2,4860	0,7500	0,9313	1,2075
7			bissetor	0,4773	2,2128	0,6750	0,9325	1,2088
8			mom	0,5834	2,4994	0,8250	0,9316	1,3141
9			lom	0,5834	2,6525	0,8250	0,9310	1,2847
10			som	0,5834	2,4994	0,8250	0,9338	1,3349
11	Mamdani	Entrada Trapezoidal Saída Trapezoidal	centroide	0,3653	1,6632	0,5167	0,9294	1,1728
12			bissetor	0,3595*	1,8634	0,5083*	0,9304	1,1756
13			mom	0,4891	2,3056	0,6917	0,9304	1,2324
14			lom	0,3889	1,6386*	0,5500	0,9286	1,1431
15			som	0,6835	2,9425	0,9667	0,9313	1,4690
16	Sugeno	Entrada Triangular Saída Singleton	wtaver	0,4537	2,4093	0,6417	0,9361*	1,1988
17			wtsum	0,4537	2,4093	0,6417	0,9361*	1,1988
18	Sugeno	Entrada Gaussiana Saída Singleton	wtaver	0,6010	2,5532	0,8500	0,9346	1,2731
19			wtsum	1,6322	6,5975	2,3083	0,8926	2,7059
20	Sugeno	Entrada Trapezoidal Saída Singleton	wtaver	0,4419	1,8289	0,6250	0,9305	1,2091
21			wtsum	0,4419	1,8289	0,6250	0,9301	1,2077

\* Indica os melhores resultados obtidos para cada índice.

Nota: - Desvio padrão médio ( $\sigma$ ), erro percentual médio (Ep), erro absoluto médio (Ea), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

- Métodos de defuzzificação: centro de gravidade da área (centroide), bissetor da área (bissetor), maior dos máximos (lom), média dos máximos (mom), menor dos máximos (som), média ponderada (wtaver) e soma ponderada (wtsum).

O sistema Sugeno triangular configurado com todos os métodos de defuzzificação aplicados (wtaver e wtsum) apresentou o melhor resultado de R<sup>2</sup> (0,9361). Este resultado corrobora com os estudos realizados por Bahuti et al. (2018), que ao compararem sistemas *fuzzy* com diferentes configurações para predizer a temperatura superficial de frangos de corte, obteve o maior valor de R<sup>2</sup> (0,9978) nos sistemas Sugeno independente do método de defuzzificação aplicado. O sistema Sugeno além de garantir melhor previsão, também é computacionalmente mais eficiente, visto que desenvolve maior velocidade de processamento em função de sua defuzzificação ser mais simplificada quando comparada ao sistema Mamdani (REIS JUNIOR et al., 2015; WANG; CHEN, 2014). Desse modo, a inferência Sugeno é mais indicada para uso no desenvolvimento de controladores. Na Figura 1 estão ilustrados os gráficos de correlação da temperatura superficial obtidas experimentalmente e as preditas pelos sistemas *fuzzy* desenvolvidos, assim como seus respectivos R<sup>2</sup>. A partir da análise dos gráficos, com o auxílio da reta a 45° que passa pela origem, é possível observar que as diferenças de predição

dos sistemas ilustradas na Figura 4 limitam-se apenas à alguns pontos, nos quais ocorreram superestimação ou subestimação das respostas pelos sistemas.

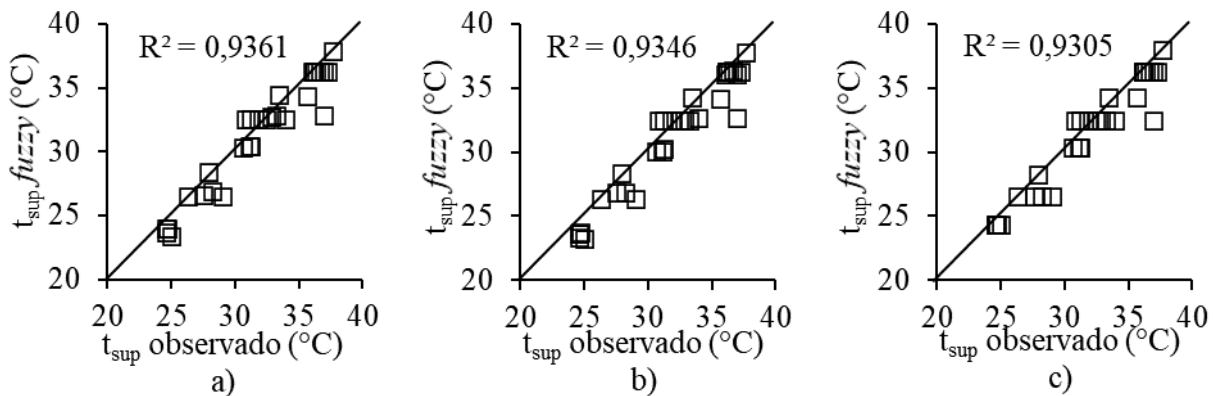


FIGURA 4. Relação funcional entre os valores de temperatura superficial obtidos experimentalmente ( $t_{sup}$ , experimental) e preditos pelos sistemas *fuzzy* ( $t_{sup}$ , modelagem), sendo (a) para sistemas Sugeno com funções triangulares e defuzzificação  $w_{taver}$  e  $w_{tsum}$ , (b) para sistemas Sugeno com funções gaussianas e defuzzificação  $w_{taver}$  e (c) funções trapezoidais e defuzzificação bisetor mom,  $w_{taver}$  e  $w_{tsum}$ .

Os sistemas propostos nesse trabalho, de forma geral, expressam boas acurácias e podem retratar de forma realista a temperatura superficial de galinhas poedeiras. No entanto, o sistema que compreendeu o maior  $R^2$  (0,9163) foi aquele no qual não obteve a melhor eficiência pelos demais indicadores estatísticos (Tabela 1), e conseqüentemente, maior divergência entre dados preditos e mensurados experimentalmente, desta forma, este não deve ser o único indicador a ser analisado. No geral os sistemas *fuzzy* caracterizados por funções de pertinência triangulares e trapezoidais foram as que melhor representaram o modelo desenvolvido. As curvas triangulares e trapezoidais são as mais normalmente empregadas e representam o perfil dos dados, conforme contemplado por vários autores (FERREIRA et al., 2007; SCHIASSI et al., 2008; PERISSINNOTO et al., 2009; CASTRO et al., 2012; PONCIANO et al., 2012; CAMPOS et al., 2013; MÚNERA BEDOYA et al., 2015).

**CONCLUSÕES:** Os sistemas *fuzzy* desenvolvidos para prever a temperatura superficial foram adequados, apresentando ótimos valores estatísticos para todas as funções de pertinência, entretanto a função de pertinência trapezoidal pela inferência Mamdani e defuzzificação bisetor se adequou melhor para a predição dos dados.

## REFERÊNCIAS:

- ABDELQADER, A. et al. Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. **Journal of Thermal Biology**, v. 39, p. 1-5, 2014.
- ABREU, L. H. P. et al. Modelagem fuzzy do desempenho de frangos de corte, criados de 1 a 21 dias, submetidos a estresse térmico. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 967-978, 2015.
- ALBRIGHT, L. D. Environment Control for Animals and Plants; **American Society of Agricultural Engineers: St. Joseph, MI**, 1990.
- ANUALPEC. Anuário da Pecuária Brasileira (20th ed. Vol. 1). São Paulo, São Paulo, Brasil: **Instituto FNP**, 2019.

ATTIA, Y.A. et al. Productive, physiological and immunological responses of two broiler strains fed different dietary regimens and exposed to heat stress. **Italian Journal of Animal Science**, v.17, n.3, p.686-697, 2018.

BAÊTA, F. C. et al. Ambiência em construções rurais: conforto animal. **Viçosa: Editora UFV**, 2010.

BAHUTI, M. et al. Performance of fuzzy inference systems to predict the surface temperature of broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 6, p. 813-823, 2018.

CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Eng Agríc** 2013; 33:1079-1089.

CASTRO, J. O. et al. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Cienc Agrotec** 2012; 36:108-116.

CECCHIN, D. et al. Índice fuzzy para o conforto térmico de suínos na fase de crescimento e terminação com base na temperatura superficial e frequência respiratória. **Energia na agricultura**, v. 31, n. 4, p. 334-341, 2016.

COSTA, J. H. S. et al. Efeito do ambiente sobre indicadores fisiológicos na produção de frangos de corte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 54-58, 2012.

REIS, J. R. et al. Fuzzy logic control for the mitigation of environmental temperature variations in OCDMA networks. **IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking**, v. 7, n. 5, p. 480-488, 2015.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: **Part I. CIGR Journal** 2007; 9:1-16.

FERREIRA, L. et al. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 166-171, 2012.

GOLAFSHANI, E. M. et al. Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic. **Construction and building materials**, v. 36, p. 411-418, 2012.

KODAIRA, V. Avaliação de sistema de climatização em Poedeiras comerciais. 2015.

LIU, M. et al. Effect of curcumin on laying performance, egg quality, endocrine hormones, and immune activity in heat-stressed hens. **Poultry Science**, v. 99, n. 4, p. 2196-2202, 2020.

MAMDANI, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. **In Proceedings of the institution of electrical engineers** 121(12): 1585-1588, 1974.

MARCHINI, C. F. P. et al. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, v. 12, n. 1, 2007.

MÚNERA BEDOYA, O. D. et al. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v. 28, n. 1, p. 42-53, 2015.

ODERANTI, F. O. et al. Automatic fuzzy decision making system with learning for competing and connected businesses. 2011.

OLIVEIRA, R. F. M. de et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PERISSINOTTO, M. M. D. J. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Cienc Rural** 2009; 39:1492-1498.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Eng Agric** 2012; 32:446-458.

RAJ, R. et al. Modelling and analysis of a general Takagi-Sugeno fuzzy PI/PD controller with modified rule base. **In: 2016 IEEE Students' Technology Symposium (TechSym)**. IEEE, 2016. p. 169-174.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Eng Agric** 2008; 16:180-191.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.

SILVA, M. A. J. G. et al. Modelagem do consumo alimentar e padrões comportamentais de coelhos Nova Zelândia Branco submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. 2019.

TAKAGI, T. et al. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics** 1: 116-132, 1985.

WANG, Y. et al. A comparison of Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems for traffic flow prediction. **Journal of computers**, v. 9, n. 1, p. 12-21, 2014.

YANAGI, T. et al. Optimization of partial surface wetting to cool caged laying hens. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 4, p. 1091, 2002.