



## PREDIÇÃO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DE GALINHAS POEDEIRAS SUBMETIDAS A ESTRESSE TÉRMICO

Rafaella Resende Andrade<sup>1</sup>, Marcelo Bahuti<sup>2</sup>, Lucas Henrique Pedrozo Abreu<sup>2</sup>, Wellington Washington Andrade de Melo Júnior<sup>2</sup>, Daniel Soares Ambrósio de Araújo<sup>2</sup>, Rômulo Marçal Gandia<sup>2</sup>, Jacqueline Cardoso Ferreira<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa-MG. [rafaella.andrade@ufv.br](mailto:rafaella.andrade@ufv.br), <sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras-MG. [marcelo\\_bahuti@hotmail.com](mailto:marcelo_bahuti@hotmail.com), [lucas.abreu@deg.ufla.br](mailto:lucas.abreu@deg.ufla.br), [wamelo@outlook.com](mailto:wamelo@outlook.com), [danielsoares\\_araujo@hotmail.com](mailto:danielsoares_araujo@hotmail.com), [romagandia@gmail.com](mailto:romagandia@gmail.com), [jacardosof@yahoo.com.br](mailto:jacardosof@yahoo.com.br)

**RESUMO** – A temperatura superficial das aves é um importante parâmetro de avaliação do conforto térmico que varia em função das condições climáticas de criação. Em vista disso, objetivou-se por meio desse trabalho, desenvolver um modelo *fuzzy* de predição das temperaturas superficiais médias da cabeça, corpo e pernas de galinhas poedeiras, submetidas a estresse térmico durante as primeiras semanas de vida. As variáveis de entrada atribuídas foram as temperaturas de exposição e as idades das aves, sendo representadas por funções de pertinência triangulares. O modelo foi desenvolvido a partir da inferência Mamdani com defuzzificação pelo método do centroide. Ao realizar a comparação dos dados obtidos pela termografia infravermelha aos dados preditos pelo sistema *fuzzy* encontrou-se índices satisfatórios como, valores médios de desvio padrão, erro percentual e erro absoluto equivalentes a 0,13 °C, 0,45% e 0,19 °C, respectivamente. Ademais, os modelos de regressão são capazes de explicar, ao menos, 98,4% do comportamento dos dados de temperaturas superficiais.

**Palavras-chave:** avicultura de postura, lógica *fuzzy*, resposta fisiológica, termografia.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, o ovo é consolidado como uma fonte proteica de baixo custo de aquisição, atingindo todas as classes de consumidores. Em vista disso, faz-se necessário a busca por maior produtividade e qualidade do produto fornecido, em decorrência do aumento da competitividade do setor assim como as exigências do mercado consumidor. Com o crescimento na demanda, é essencial buscar melhorias que promovam aumento de produtividade, e para tal, a criação de aves deve estar associada a um ambiente térmico adaptado às características das aves (ABREU et al., 2019).

As aves são animais homeotérmicos, portanto, estão susceptíveis as mudanças climáticas do ambiente de criação, o que acarreta em gasto energético para manutenção da temperatura corporal. Assim, quando as condições ambientais não estão dentro do intervalo considerado adequado, o ambiente torna-se desconfortável para a ave, promovendo prejuízo econômico para o produtor. Além do mais, de acordo com Cordeiro et al. (2010), as primeiras



semanas de vida das aves são importantes para o seu desenvolvimento, pois, o estresse térmico nessa fase pode impedir que as aves expressem o máximo de suas características produtivas ao longo de todo o ciclo produtivo.

Uma das formas de avaliar a ocorrência de estresse térmico é por meio de respostas fisiológicas como a temperatura superficial, visto que ela se modifica instantaneamente em função de mudanças climáticas no ambiente térmico de criação (ABREU et al., 2017). Desse modo, um dos meios de análise da temperatura superficial de galinhas poedeiras é por meio da termografia infravermelha, no qual, é um procedimento não invasivo por não requerer contato com o animal avaliado (NASCIMENTO et al., 2011).

Assim, a predição da temperatura superficial pode ser usada no auxílio à tomada de decisão para o acionamento de sistemas de climatização no ambiente de confinamento. Uma das técnicas que tem se destacado pelos satisfatórios índices de predição de respostas de aves como, temperatura cloacal (ABREU et al., 2019), peso de ovos (CASTRO et al., 2012) e desempenho produtivo (ABREU et al., 2015), é a lógica *fuzzy*.

Diante do exposto, objetivou-se por meio desse trabalho, desenvolver um modelo *fuzzy* capaz de prever a temperatura superficial do corpo, da cabeça e das pernas de galinhas poedeiras, submetidas a diferentes intensidades de estresse térmico ao longo das primeiras semanas de vida.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos por Andrade et al. (2017), no qual utilizou câmaras climáticas com dimensões de 3,2 x 2,44 x 2,38 metros de comprimento, largura e altura, respectivamente, para criar galinhas poedeiras da linhagem Lohmann LSL Lite, alojadas em gaiolas.

Em cada câmara foram proporcionadas quatro diferentes condições térmicas de alojamento, sendo duas condições de estresse térmico por baixas temperaturas, uma por altas temperaturas e uma condição de conforto térmico conforme o manual de criação (MANAGEMENT GUIDE LOHMANN LSL LITE (s.d)). As distribuições das temperaturas utilizadas no período de alojamento estão dispostas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Diferentes temperaturas de criação aplicadas nas câmaras climáticas em cada fase de vida das poedeiras.

Tratamentos	Temperaturas de exposição (°C)				
	Idade (dias)				
	1 a 7	8 a 14	15 a 21	22 a 28	29 a 42
1	38	31	29	26	22
2*	33	28	26	23	19
3	28	25	23	20	17
4	25	22	20	17	17

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2017); \* Tratamento com temperaturas de conforto térmico.

Durante o período experimental, foram coletadas imagens termográficas das aves, nos dias 8, 15, 22, 29, 36 e 42, para obtenção das temperaturas superficiais médias da cabeça, do corpo e da perna.

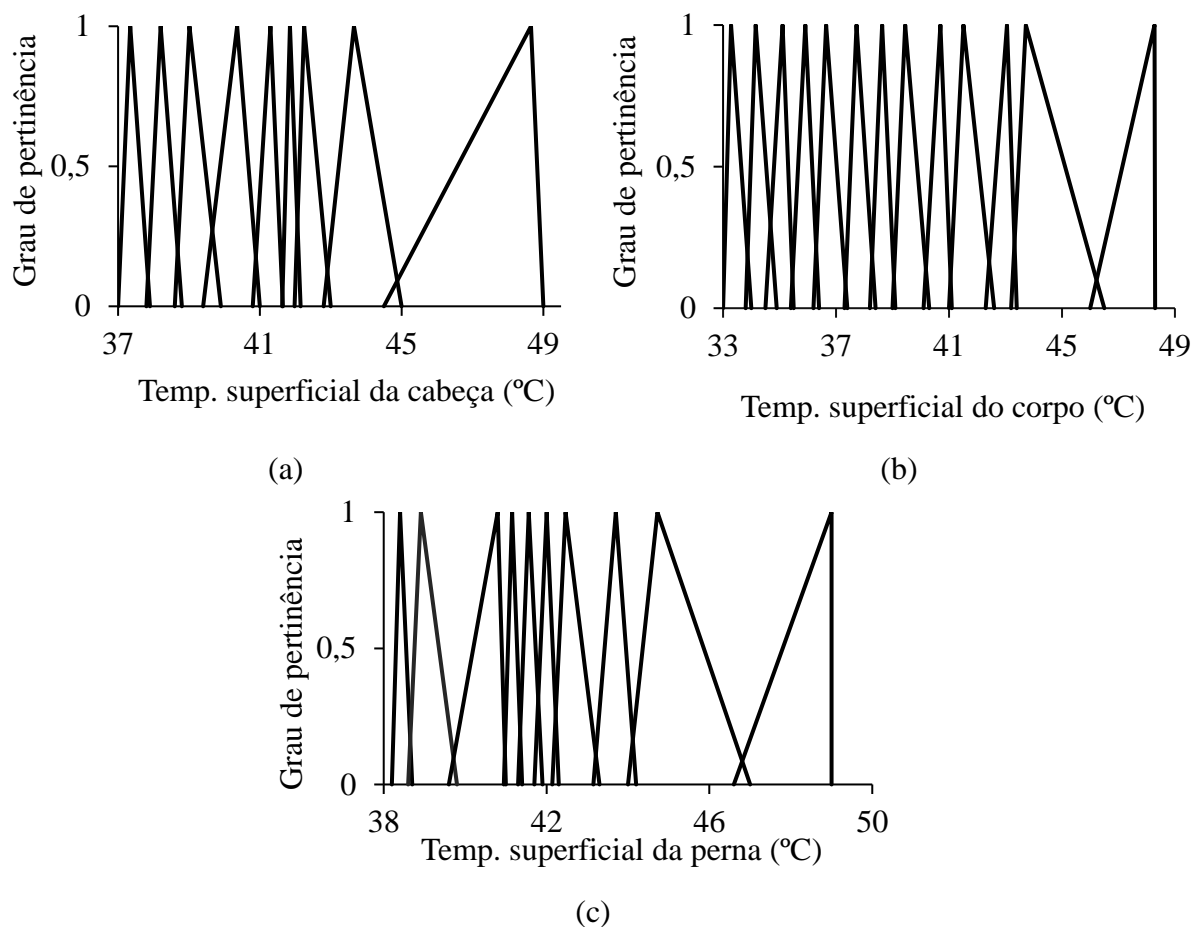
Desse modo, para a realização da modelagem *fuzzy*, conduziu-se o delineamento do sistema definindo as funções de pertinência das variáveis de entrada como sendo as temperaturas de exposição e as idades das aves, por se tratarem de variáveis que influenciam diretamente nas respostas fisiológicas dos animais. Além disso, as saídas foram as temperaturas da cabeça, corpo e perna.

Assim, foram determinados os intervalos para cada função das variáveis de entrada, conforme a Tabela 2. Para tal, foram escolhidas funções triangulares por serem as que melhores representaram os dados, ademais, esse tipo de função tem sido utilizado em estudos recentes (FREITAS et al., 2017; ABREU et al., 2019).

**Tabela 2.** Parâmetros de definição das funções de pertinência triangulares para as variáveis de entrada, temperatura de exposição (°C) e idade das aves (dias).

	Temperaturas de exposição (°C)			
	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4
Entrada 1	[17; 17; 19]	[17; 19; 20]	[19; 20; 22]	[20; 22; 23]
	Função 5	Função 6	Função 7	Função 8
	[22; 23; 25]	[23; 25; 26]	[25; 26; 28]	[26; 28; 29]
	Função 9	Função 10	Função 11	Função 12
	[28; 29; 31]	[29; 31; 33]	[31; 33; 38]	[33; 38; 38]
	Idade (dias)			
	Função 1	Função 2	Função 3	
Entrada 2	[8; 8; 15]	[8; 15; 22]	[15; 22; 29]	
	Função 4	Função 5	Função 6	
	[22; 29; 36]	[29; 36; 42]	[36; 42; 42]	

Por sua vez, as curvas para as variáveis de saída também foram do tipo triangular, sendo definidas após consulta a especialistas, nos quais, foram selecionados conforme metodologia de especialista *fuzzy* proposta por Cornelissen et al. (2002) e utilizada por Yanagi Junior et al. (2012), com o intuito de promover confiabilidade e qualidade aos resultados. Dessa forma, após ajustes preliminares, a fim de proporcionar menor incidência de erros, as saídas foram definidas conforme Figura 1.



**Figura 1.** Funções de pertinência triangulares aplicadas às variáveis de saídas (a) temperatura superficial da cabeça (b) corpo e (c) da perna.

O modelo foi desenvolvido no *toolbox* do MATLAB, utilizando a inferência de Mamdani (1974) com método de defuzzificação centroide, implicação mínima e agregação máxima, configuração utilizada por diversos autores (CASTRO et al., 2012; PONCIANO et al., 2012). Com relação as regras, estas foram definidas com base nas combinações das estradas, 22 no total, todas definidas com peso igual a 1, uma vez que todas as regras têm a mesma importância na determinação das respostas do modelo (ABREU et al., 2015).

Ademais, para testar o sistema *fuzzy*, os dados obtidos experimentalmente por termografia infravermelha, foram comparados as saídas do modelo, por meio de estatística descritiva como, desvio padrão, erro percentual, erro absoluto e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Peruzzi et al. (2012), as análises do comportamento de cada parâmetro são aspectos importantes quando a modelagem *fuzzy* é executada. Desse modo, na Tabela 3 são listados os índices estatísticos determinados para comparação dos dados obtidos experimentalmente e por meio da simulação *fuzzy*.

**Tabela 3.** Comparação dos valores de temperatura superficial da cabeça, corpo e perna, obtidas por meio do experimento e por meio do sistema *fuzzy*.

Condições	Dados experimentais			Dados <i>fuzzy</i>			Desvio padrão			Erro percentual			Erro absoluto		
	Temp. (°C)	Idade	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna	Cabeça Corpo Perna					
38	8	48,65 48,28 49,00	47,40 47,50 48,20	0,81 0,55 0,57	2,36 1,62 1,63	1,15 0,78 0,80									
31	15	43,89 43,02 44,72	43,80 42,90 45,20	0,06 0,08 0,34	0,21 0,28 1,07	0,09 0,12 0,48									
29	22	43,57 41,81 43,55	43,80 41,70 43,70	0,16 0,08 0,11	0,53 0,26 0,34	0,23 0,11 0,15									
26	29	42,25 38,52 41,67	42,40 38,60 41,60	0,11 0,06 0,05	0,36 0,21 0,17	0,15 0,08 0,07									
22	36	40,39 35,09 41,57	40,30 35,00 41,60	0,06 0,06 0,02	0,22 0,26 0,07	0,09 0,09 0,03									
22	42	41,94 36,60 42,39	41,90 36,70 42,60	0,03 0,07 0,15	0,10 0,27 0,50	0,04 0,10 0,21									
33	8	43,46 43,72 43,97	43,80 44,50 43,70	0,24 0,55 0,19	0,78 1,78 0,61	0,34 0,78 0,27									
28	15	43,71 43,09 43,48	43,80 42,90 43,70	0,06 0,13 0,16	0,21 0,44 0,51	0,09 0,19 0,22									
26	22	41,19 39,45 41,62	41,30 39,60 41,60	0,08 0,11 0,01	0,27 0,38 0,05	0,11 0,15 0,02									
23	29	41,87 37,80 41,42	41,90 37,80 41,60	0,02 0,00 0,13	0,07 0,00 0,43	0,03 0,00 0,18									
19	36	40,03 36,69 41,51	40,30 36,70 41,60	0,19 0,01 0,06	0,67 0,03 0,22	0,27 0,01 0,09									
19	42	41,79 35,15 42,73	41,90 35,00 42,60	0,08 0,11 0,09	0,26 0,43 0,30	0,11 0,15 0,13									
28	8	41,94 41,21 43,82	41,90 41,70 43,70	0,03 0,35 0,08	0,10 1,19 0,27	0,04 0,49 0,12									
25	15	41,70 40,69 42,30	41,90 40,60 42,60	0,14 0,06 0,21	0,48 0,22 0,71	0,20 0,09 0,30									
23	22	40,44 37,66 41,18	40,30 37,80 41,20	0,10 0,10 0,01	0,35 0,37 0,05	0,14 0,14 0,02									
20	29	40,32 35,91 41,03	40,30 35,90 41,20	0,01 0,01 0,12	0,05 0,03 0,41	0,02 0,01 0,17									
17	36	41,17 35,22 41,24	41,30 35,00 41,20	0,09 0,16 0,03	0,32 0,62 0,10	0,13 0,22 0,04									
17	42	41,54 34,99 41,99	41,30 35,00 42,00	0,17 0,01 0,01	0,58 0,03 0,02	0,24 0,01 0,01									
25	8	40,62 38,67 40,66	40,30 38,60 40,50	0,23 0,05 0,11	0,79 0,18 0,39	0,32 0,07 0,16									
22	15	39,01 38,69 40,93	39,20 38,60 40,50	0,13 0,06 0,30	0,49 0,23 1,05	0,19 0,09 0,43									
20	22	38,37 34,16 38,99	38,30 34,30 39,20	0,05 0,10 0,08	0,18 0,41 0,28	0,07 0,14 0,11									
17	29	38,02 33,61 38,57	38,30 33,40 38,40	0,20 0,15 0,12	0,74 0,62 0,44	0,28 0,21 0,17									
17*	36*	37,63 33,18 38,23	- - -	- - -	- - -	- - -									
17*	42*	37,04 33,06 38,83	- - -	- - -	- - -	- - -									
<b>Médias</b>				<b>0,14 0,13 0,13</b>	<b>0,46 0,45 0,44</b>	<b>0,20 0,18 0,19</b>									

\* Condições desconsideradas para evitar confronto entre regras.

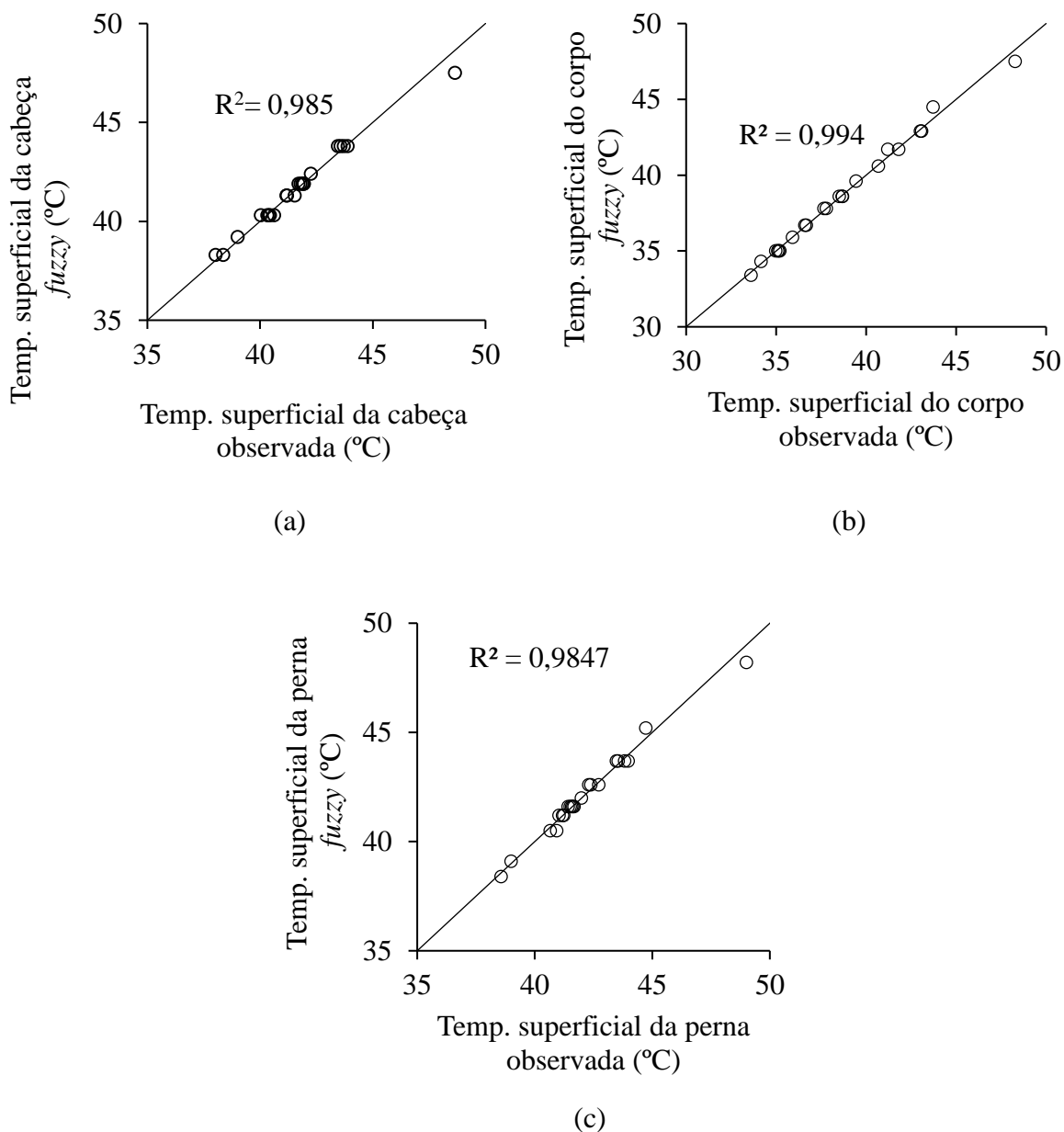
No geral, observa-se que o modelo apresentou para as variáveis de respostas, temperaturas superficiais da cabeça, corpo e perna, o mesmo nível de acurácia, tendo médias equivalentes a 0,13 °C, 0,45% e 0,19 °C para desvio padrão, erro percentual e erro absoluto, respectivamente. Ademais, os maiores valores encontrados para todos os pares de entradas foram de 0,81 °C, 2,36% e 1,15 °C, para desvio padrão, erro percentual e erro absoluto, respectivamente, ocorrendo para a predição da temperatura superficial da cabeça das aves. Cecchin et al. (2016) utilizaram a modelagem *fuzzy* para predição da temperatura superficial de suínos, obtendo erro percentual médio de 2,62 %, estando, portanto, superior aos encontrados nesse estudo.

Com relação aos erros absolutos médios obtidos pelo sistema *fuzzy*, para as temperaturas superficiais da cabeça, corpo e perna, foram equivalentes a 0,20 °C, 0,18% e 0,19 °C, respectivamente. Campos et al. (2013) obtiveram erro de 5,55 ao predizer a taxa de ocupação de baias por bovinos de leite, sendo considerado pelos autores como uma predição realista. Portanto, os menores valores encontrados nesse trabalho indicam o adequado ajuste do modelo desenvolvido.

Ferreira et al. (2012), ao propor um modelo *fuzzy* para predição da temperatura cloacal de frangos de corte, obtiveram, igualmente a este trabalho, 0,13 °C de desvio padrão médio, indicando a lógica *fuzzy* ser adequada para predição de respostas fisiológicas de aves.

Por sua vez, a fim de medir a qualidade do modelo quanto à sua capacidade de estimar corretamente os valores das variáveis de respostas, foram determinados os  $R^2$ , que estão dispostos na Figura 2. Na qual, indica as diferenças entre as temperaturas superficiais observadas experimentalmente e preditas pelo modelo *fuzzy*, podendo ser observado, por meio da reta que corta a origem em 45°, a ocorrência de dados equivalentes, superestimados e subestimados pelo modelo.

Com base nas regressões lineares simples, os resultados expressam coeficientes de determinação equivalentes a 0,985; 0,994 e 0,9847 para as temperaturas superficiais da cabeça, corpo e perna das galinhas poedeira, respectivamente.



**Figura 2.** Relação funcional entre os valores de temperatura superficial observados e preditos pelo sistema *fuzzy* para as variáveis de saída (a) cabeça, (b) corpo e (c) perna.

Peruzzi et al. (2012), ao utilizarem a lógica *fuzzy* para predição da eclodibilidade de ovos em função das características físicas dos mesmos, encontram  $R^2$  igual a 0,88, tendo eficiência superior, ao também desenvolvido, modelo estatístico de regressão linear múltipla, no qual apresentou  $R^2$  equivalente a 0,6568.

Por sua vez, Cecchin et al. (2016), apesar de constatarem baixos valores para o desvio padrão, erro percentual e erro absoluto (0,61 °C, 2,62 % e 0,07 °C, respectivamente) para predição da temperatura superficial em suínos, obtiveram  $R^2$  igual a 0,5872. Dessa forma, o



modelo não foi satisfatório para predizer essa variável a partir dos dados disponíveis de ITU (índice de temperatura e umidade) e idade dos animais.

No entanto, por mais que a temperatura superficial de animais seja uma resposta fisiológica de alta variabilidade em decorrência de fatores como, o sistema de criação, a linhagem e as condições climáticas do ambiente de criação (CECCHIN et al., 2016; NAZARENO et al., 2012; SOERENSEN & PEDERSEN, 2015), o modelo desse trabalho se adequou a variável de saída. Uma vez que o sistema *fuzzy* proposto explica mais que 98,4% da variação para as três áreas superficiais analisadas.

## CONCLUSÃO

O modelo *fuzzy* proposto permite estimar com eficiência as temperaturas superficiais da cabeça, corpo e pernas de galinhas poedeiras, durante as seis primeiras semanas de vida, submetidas a diferentes condições de exposição térmica em cada semana. Tendo médias para desvio padrão, erro percentual e erro absoluto equivalentes a 0,13 °C, 0,45% e 0,19 °C, respectivamente.

Os modelos de regressão que comparam os dados experimentais aos dados *fuzzy* são capazes de explicar, ao menos, 98,4% do comportamento dos dados para todas as variáveis, sendo, portanto, uma boa alternativa para auxiliar a tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.H.P.; YANAGI JUNIOR, T.; CAMPOS, A.T.; LOURENÇONI, D.; BAHUTI, M. Fuzzy model to predict the cloacal temperature of broilers subject to thermal stress. *Engenharia Agrícola*, v. 39, n. 1, 2019.

ABREU, L.H.P.; YANAGI JUNIOR, T.; CAMPOS, A.T.; BAHUTI, M.; FASSANI, É.J. Cloacal and surface temperatures of broilers subject to thermal stress. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 5, p. 877-886, 2017.

ABREU, L.H.P.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, É.J.; CAMPOS, A.T.; LOURENÇONI, D. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 6, p. 967-978, 2015.

ANDRADE, R.R.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; BARBARI, M.; CONTI, L.; CECON, P. R.; CÂNDIDO, M.G.L.; MARTINS, I.T.A.; TELES JUNIOR, C. Evaluation of the surface temperature of laying hens in different thermal environments during the initial stage of age based on thermographic images. *Agronomy Research*, v. 15, n. 3, p. 629-638, 2017.





CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.O.; SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; PIRES, M.D.F.Á.; MATTIOLI, C.C. Prediction of free-stall occupancy rate in dairy cattle barns through fuzzy sets. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 6, p. 1079-1089, 2013.

CASTRO, J.O.; VELOSO, A.V.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, E.J.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A.T. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 36, n. 1, p. 108-116, 2012.

CECCHIN, D.; CAMPOS, A.T.; SCHIASSI, L.; CRUZ, V.M.F.; SOUSA, F.A. 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.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; SILVA, J.N.; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.A.C.; CECCHIN, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CORNELISSEN, A.M.G.; VAN DEN BERG, J.; KOOPS, W. J.; KAYMAK, U. Eliciting expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. Rotterdam: Erasmus Research Institute of Management, 2002.

FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; LACERDA, W.S.; RABELO, G.F. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. *Ciência Rural*, v. 42, n. 1, p. 166-171, 2012.

FREITAS, L.C.D.S.R.; CAMPOS, A.T.; SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D. Fuzzy index for swine thermal comfort at nursery stage based on behavior. *DYNA*, v. 84, n. 203, p. 201-207, 2017.

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

MANEGEMENT GUIDE LOHMANN LSL-Lite (s.d). Disponível em: <[http://www.hylinena.com/UserDocs/products/Lohmann\\_LSL-Lite.pdf](http://www.hylinena.com/UserDocs/products/Lohmann_LSL-Lite.pdf)>. Acesso em: 24 de dezembro de 2018.

NASCIMENTO, G.R.; PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A.; RODRIGUES, L.H.A. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 219-229, 2011.

NAZARENO, A.C.; SILVA, I.J.O.; NUNES, M.L.A.; CASTRO, A.C.; MIRANDA, K.O.S.; TRABACHINI, A. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. *Agriambi*, v. 16, n. 3, p. 314-319, 2012.

PERUZZI, N.J.; SCALA, N.L.; MACARI, M.; FURLAN, R.L.; MEYER, A.D.; FERNANDEZ-ALARCON, M.F.; SOUZA, F.A. Fuzzy modeling to predict chicken egg hatchability in commercial hatchery. *Poultry science*, v. 91, n. 10, p. 2710-2717, 2012.

PONCIANO, P.F.; YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A.T.; NASCIMENTO, J.W. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 3, p. 446-458, 2012.



SOERENSEN, D.D.; PEDERSEN, L.J. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, Londres, v. 57, n. 1, p. 1-11, 2015.

YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ABREU, L.H.P.; BARBOSA, J.A.; CAMPOS, A.T. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 3, p. 423-434, 2012.