

DESEMPENHO DE SISTEMAS DE INFERÊNCIA FUZZY PARA AVALIAÇÃO DA CONVERSÃO ALIMENTAR DE FRANGOS DE CORTE

MARCELO BAHUTI¹, BRUNA CAMPOS AMARAL², RÔMULO MARÇAL GANDIA³, MURILO SANTOS FREIRE³

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFLA, marcelo_bahuti@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA).

³ Doutorando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA).

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 diferentes métodos de inferência e defuzzificação de sistemas *fuzzy*, quando aplicados para predição da conversão alimentar de frangos de corte. As aves foram submetidas as distintas condições de temperatura (T_{ar}), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V_{ar}), no período de 22 a 42 dias de vida. Essas variáveis foram utilizadas como parâmetros de entrada dos sistemas *fuzzy*, que foram elaborados tanto com a inferência Mamdani quanto Sugeno. Além do mais, foram testadas todas as possibilidades de defuzzificação para cada inferência. A partir dos resultados simulados, observa-se que o modelo desenvolvido possui alta capacidade preditiva, independentemente da configuração. No entanto, a consideração por outros métodos de defuzzificação e inferência, podem melhorar o desempenho dos modelos.

PALAVRAS-CHAVE: conversão alimentar, defuzzificação, inferência Mamdani e Sugeno.

PERFORMANCE OF FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR EVALUATION OF FEED CONVERSION OF BROILERS CHICKEN

ABSTRACT: The objective of this research was to compare different fuzzy inference systems and methods of defuzzification, to predict feed conversion of broilers chicken. The birds were subjected to different conditions of temperature (T_{air}), relative humidity (RH), and air velocity (V_{air}), from 22 to 42 days of life. These variables were used as input parameters of the fuzzy systems, which were elaborated on both with the Mamdani and Sugeno inferences. Furthermore, all defuzzification possibilities for each inference were tested. From the simulated results, was observed that the developed model has a high predictive capacity, regardless of the configuration. However, the consideration of other defuzzification methods and inference systems can improve the performance of the models.

KEYWORDS: feed conversion, defuzzification, Mamdani and Sugeno inference

INTRODUÇÃO: Um dos maiores desafios da avicultura moderna é alcançar excelência da produtividade em razão do espaço físico e tempo relativamente reduzidos. Assim, para tal, faz-se necessário usufruir de métodos que auxiliam no controle e manejo das variáveis térmicas e do lote de animais. Dentre as metodologias para análise de predição, destaca-se a lógica *fuzzy*, pois,

quando elaborada por especialistas, tem a capacidade de que auxiliar no suporte às decisões, mesmo partindo de dados imprecisos. Essa metodologia apresenta boa eficiência quando aplicada a respostas produtivas como, consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar (MARQUES et al., 2016). Nos trabalhos relacionados a ambiência e bem-estar animal, observa-se uma tendência em utilizar a metodologia de inferência Mamdani com defuzzificação do tipo centroide. Entretanto, em outras áreas de conhecimento, verifica-se que essa configuração não apresenta os melhores resultados de predição, sendo superado pela inferência Sugeno (BARRIOS et al., 2012; KISI, 2013). Portanto, o especialista não deve possuir domínio apenas sobre o objeto de estudo, mas também ponderar sobre a melhor configuração do sistema de inferência. Desse modo, objetivou-se desenvolver e avaliar diferentes sistemas *fuzzy*, configurados a partir de distintos métodos de inferência e defuzzificação, aplicados a predição da conversão alimentar de frangos de corte.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos por Medeiros (2001). O autor supracitado, submeteu frangos de corte da linhagem *Avian Farm* a diferentes desafios térmicos, conforme Tabela 1, durante o período de 22 a 42 dias idade. Ao fim do período experimental, a partir dados de consumo de ração e ganho de peso, a conversão alimentar (CA, g g⁻¹) foi estimada.

TABELA 1. Desafios térmicos com diferentes condições de temperatura (T_{ar} , °C), umidade relativa (UR, %) e velocidade do ar (V_{ar} , m s⁻¹).

Tratamento	T_{ar}	UR	V_{ar}
1	16	55	1,5
2	20	34	0,6
3	20	34	2,4
4	20	76	0,6
5	20	76	2,4
6	26	20	1,5
7	26	90	1,5
8	26	55	0
9	26	55	3
10	26	55	1,5
11	32	34	0,6
12	32	34	2,4
13	32	76	0,6
14	32	76	2,4
15	36	55	1,5

Fonte: Adaptado de Medeiros (2001).

Com base nos dados experimentais, e a partir do *Fuzzy Logic Designer* do MATLAB® R2021, foram elaborados sistemas de inferência *fuzzy* (FIS), tanto com a metodologia Mamdani (MAMDANI, 1974) quanto Sugeno (TAKAGI & SUGENO, 1985), conforme realizado por Bahuti et al. (2018). Assim, a temperatura (T_{ar}), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V_{ar}), foram definidas como variáveis de entradas dos modelos, sendo representadas com funções de pertinência triangulares (Figura 1) em ambos os métodos de inferência. Por sua vez, a CA foi definida como variável de saída, de modo que no FIS Mamdani foram utilizados conjuntos *fuzzy* triangulares (Figura 2a), enquanto no FIS Sugeno a variável foi representada por funções *singletons* (Figura 2b). O sistema de regras foi desenvolvido com base nas combinações das entradas conforme os 15 tratamentos listados na Tabela 1. Todas as regras tiveram pesos atribuídos igual a 1, determinando assim, igualdade de relevância de cada regra, a fim de alcançar associações que otimizem os parâmetros (Sargolzaie et al., 2008). Ademias, foram

utilizados todos os métodos de defuzzificação disponíveis para cada inferência (centroide, bisetor, menor dos máximos (lom), média dos máximos (mom) e maior dos máximos (som), para o FIS Mamdani, e soma ponderada (wtsum) e média ponderada (wtaver), para o FIS Sugeno). Por fim, a fim de encontrar o modelo com a melhor capacidade de predição da CA, os sistemas foram comparados por meio de estatística descritiva como, desvio padrão médio (S), erro percentual médio (Ep), erro absoluto médio (Ea), coeficiente de determinação (R^2) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

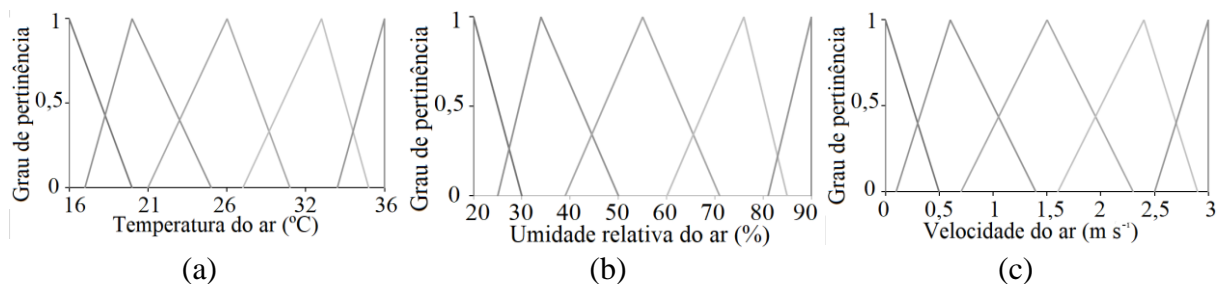


FIGURA 1. Funções de pertinência para as variáveis de entrada (a) T_{ar} (b) UR e (c) V_{ar} .

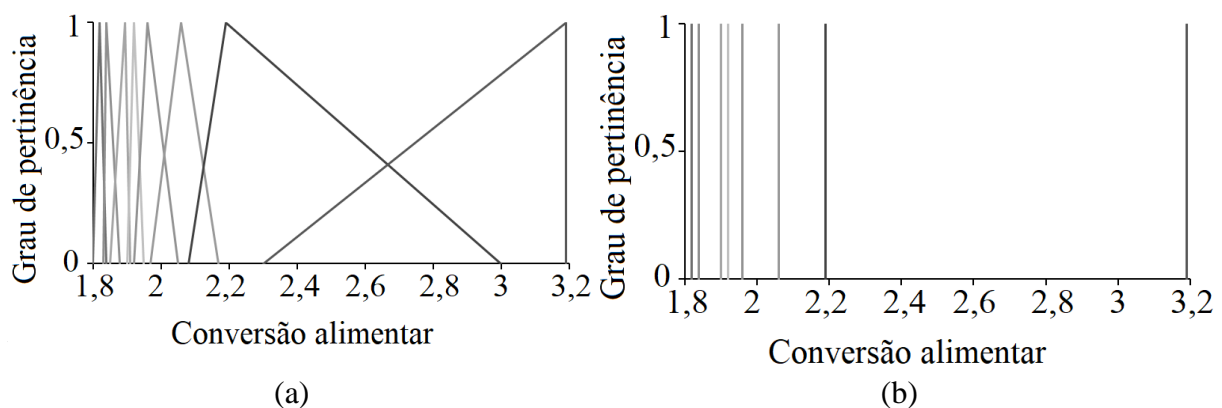


FIGURA 2. Variável de saída (conversão alimentar) (a) representada por conjuntos triangulares no FIS Mamdani e (b) por funções *singletons* no FIS Sugeno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores preditos para CA dos frangos de corte foram comparados com os valores obtidos experimentalmente. Os indicadores estatísticos para comparação estão listados na Tabela 2.

TABELA 2. Comparativo entre FIS Mamdani e Sugeno e seus métodos de defuzzificação.

Inferência	Defuzzificação	Desvio Padrão	Erro percentual	Erro absoluto	RMSE	R^2
Mamdani	centroide	0,033	1,92	0,047	0,099	0,9249
	bisetor	0,025	1,44	0,036	0,084	0,9509
	mon/ lom/ som	0,003	0,23	0,005	0,007	0,9996
Sugeno	wtaver/ wtsum	0,002	0,18	0,003	0,006	0,9997

No geral, os melhores resultados foram obtidos pelo FIS Sugeno, independentemente do método de defuzzificação aplicado. O desempenho superior do FIS Sugeno em relação ao FIS Mamdani, vem sendo reportado por estudos em outras áreas de conhecimento, que também usufruem como ferramenta de predição (FAHMY et al., 2015; KHOSRAVANI et al., 2016).

Além do mais, quando aplicado em controladores, a metodologia Sugeno possui melhor tempo de resposta, pois solicita menor demanda computacional em relação as operações de defuzzificação da metodologia Mamdani. Quando analisado apenas os resultados dos FIS Mamdani, verifica-se similaridade entre os métodos *mom*, *lom* e *som* por apresentarem valores iguais para todos os indicadores, mesmo esses métodos utilizando princípios diferentes para determinação dos valores de saída. Ademais, os resultados desses modelos foram superiores às defuzzificações *centroide* e *bissetor*. Damasceno et al. (2017), ao desenvolverem FIS Mamdani com defuzzificação *centroide* para prever a CA de frangos de corte, obtiveram desvio padrão médio, erro percentual médio e R^2 equivalentes a 1,88; 2,17 e 0,995, respectivamente, sendo considerados resultados de boa acurácia pelos autores. Desse modo, os resultados expressos nesse trabalho, indicam que a avaliação de outros métodos de defuzzificação na inferência Mamdani, podem conduzir a melhores resultados.

CONCLUSÕES: Os sistemas de inferência *fuzzy* desenvolvidos, possuem alta capacidade preditiva da conversão alimentar de frangos de corte, submetidos a diversas condições de desafios térmicos. No entanto, a consideração por outros métodos de defuzzificação e inferência, podem melhorar o desempenho dos modelos.

REFERÊNCIAS:

BAHUTI, M.; ABREU, L. H. P.; YANAGI JUNIOR, T. 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.

BARRIOS, J. A.; TORRES-ALVARADO, M.; CAVAZOS, A. Neural, fuzzy and grey-box modelling for entry temperature prediction in a hot strip mill. *Expert systems with applications*, v. 39, n. 3, p. 3374-3384, 2012.

DAMASCENO, F. A.; CASSUCE, C. C.; ABREU, L. H. P. et al. Effect of thermal environment on performance of broiler chickens using fuzzy modeling. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p. 337-343, 2017.

FAHMY, R.; ZAHER, H.; KANDIL, A. E. A comparison between fuzzy inference systems for prediction (with application to prices of fund in Egypt). **International Journal of Computer Applications**, v. 109, n. 13, 2015.

KISI, Ozgur. Applicability of Mamdani and Sugeno fuzzy genetic approaches for modeling reference evapotranspiration. **Journal of hydrology**, v. 504, p. 160-170, 2013.

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

MARQUES, J. I.; NETO, J. P. L.; LOPES, F. F. M. et al. Fuzzy modeling in the prediction of climate indices and productive performance of quails kept in climate chamber. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 4, p. 604-612, 2016.

MEDEIROS, C. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 115 p. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade de Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SARGOLZAEI, J.; Khoshnoodi, M., Saghatoleslami, N. et al. Fuzzy inference system to modeling of crossflow milk ultrafiltration. **Applied Soft Computing**, v. 8, n. 1, p. 456-465, 2008.

TAKAGI, T; SUGENO, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, n. 1, p. 116-132, 1985.