

Modelagem *fuzzy* como ferramenta para predição do ganho de peso diário para frangos de corte

Fuzzy modeling as a tool for the prediction of daily weight gain in broiler chickens

Guilherme Farias Tavares ▪ Leonardo Schiassi

GF Tavares (Autor para correspondência)
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo (USP)
email: tavaresguilherme@usp.br

L Schiassi
Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Recebido: 17 de Dezembro, 2015 ▪ Revisado: 16 de Março, 2016 ▪ Aceito: 16 de Março, 2016

Resumo Diversos modelos matemáticos empíricos já foram desenvolvidos para prever o crescimento das aves. Todavia, novas ferramentas surgem na produção animal como facilitadoras para melhorias e solução de problemas, como a modelagem *fuzzy*. Portanto, objetivou-se com este trabalho o desenvolvimento de um modelo matemático computacional, com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, para prever o ganho de peso diário (GPD) de frangos de corte; e, posteriormente, compará-lo com modelo estatístico pertencente à literatura. Obteve-se com o modelo *fuzzy* proposto um desvio-padrão de 0,90 g.dia⁻¹ comparado a 2,02 g.dia⁻¹ do modelo empírico. Porém, ao analisar o modelo *fuzzy* com dados de experimento a campo, o desvio-padrão foi de 8,6 g.dia⁻¹ e 9,8 g.dia⁻¹ para a equação empírica. O modelo *fuzzy* proposto demonstrou maior precisão comparada à equação empírica. Todavia, com o uso de dados experimentais, o modelo apresentou baixa precisão nas simulações resultados ($R^2 = 0,5667$).

Palavras chave: avicultura, desempenho animal, modelagem computacional

Introdução

No Brasil, terceiro maior produtor e maior exportador de carne de frango, foram produzidos 12,69 milhões de toneladas de carne de frango em 2014, das quais 67,7% foram destinadas para o consumo interno. Sendo a carne de frango, o quinto maior produto nacional de exportação, liderando o mercado mundial com 37,34% das exportações totais (UBPA 2015).

Por serem animais homeotermos, as aves possuem um centro termorregulador, localizado no hipotálamo, que controla a temperatura corporal através de respostas comportamentais e mecanismos fisiológicos, por meio de

Abstract Many varied empiric mathematical models have already been developed to predict broiler chicken growth. However, newly developed tools, such as fuzzy modeling, may facilitate resolutions of problems. The objective of this research is to develop a computational mathematical model based on fuzzy logic to predict the daily weight gain (GPD) of broiler chickens, and to compare it to statistical models from the literature. Our results showed that a standard deviation of 0.9 g.day⁻¹ was estimated using fuzzy model compared to 2.02 g.day⁻¹ from the empirical model. However, the standard deviation was 8.6 g.day⁻¹ when field data was used in the fuzzy model, and 9.8 g.day⁻¹ for the empirical model. The proposed fuzzy modeling showed better precision compared to the empiric model. However, the results were not as good when experimental field data was used ($R^2 = 0.5677$).

Keywords: poultry, animal performance, computational modeling

produção e perda de calor, mantendo assim sua temperatura corporal constante (Macari et al 1994). E, por estarem em troca constante de energia, na forma de calor, com o ambiente, são consideradas um sistema termodinâmico aberto (Baêta e Souza 2012). Amaral et al (2011), citam que os elementos climáticos que mais afetam os animais por comprometerem o processo da homeotermia são os térmicos, representados por temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação, uma vez que a ave possui um sistema regulador mais adequado para reter calor do que para dissipá-lo (Bueno e Rossi 2006). Devido a isto, a ave adulta se adapta melhor a baixas temperaturas.

Medeiros et al (2005) constatou que o maior desempenho para aves de 21 a 42 dias de idade ocorreu com

temperatura do ar variando entre 21 e 27°C, umidade relativa entre 50 e 70% e velocidade do ar entre 0,5 e 1,5 m.s⁻¹. Já Cassuce et al (2013) verificou que, mesmo as aves estando em conforto térmico durante as três primeiras semanas de vida, ao serem inseridas num ambiente de desconforto por altas temperaturas entre 21 e 42 dias de idade, têm seu desempenho produtivo alterado, como menor ganho de peso.

Segundo Rondon et al (2002), em produção animal, é comum o uso de modelos para a descrição matemática de fenômenos biológicos, como o crescimento. Medeiros (2001) propôs modelos estatísticos, utilizando diferentes combinações das variáveis (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), para obtenção do desempenho produtivo de frangos de corte, como o ganho de peso diário (GPD). Porém, a lógica clássica aristotélica é bivalente, ou seja, reconhece somente um valor: verdadeiro ou falso (Shaw e Simões 2007). Já a lógica *fuzzy* é multivalorada, reconhecendo diversos valores suscetíveis a um ponto de vista ou graduação permitindo uma generalização de informações, associadas ao gerenciamento de incertezas (Schiassi et al 2008), possibilitando a estimativa do peso diário das aves.

Diante da importância da cadeia produtiva de frangos de corte para o agronegócio brasileiro e a crescente necessidade de otimização da produção, principalmente na fase final do ciclo produtivo, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo matemático computacional, com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, para prever o ganho de peso diário de frangos de corte; e compará-lo com modelo estatístico pertencente à literatura.

Material e Métodos

A primeira etapa da pesquisa propôs o desenvolvimento de um modelo matemático computacional, baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy*, para predição do ganho de peso diário de frangos de corte. Para o desenvolvimento do modelo, foram utilizados os dados das variáveis ambientais, representadas por: temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m.s⁻¹) e desempenho das aves, no caso deste estudo o ganho de peso diário dos animais (GPD, kg.dia⁻¹), obtidos por Medeiros (2001).

Foram utilizados 20 tratamentos (Tabela 1), combinando as variáveis ambientais de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar, verificando o desempenho das aves, a partir dos 22 dias até o período de abate, 42 dias. As aves foram alojadas em câmaras climatizadas, com água e comida à vontade.

O modelo estatístico foi desenvolvido por Medeiros (2001) e para o cálculo, levam em consideração os elementos ambientais: temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (U, %) e velocidade do vento (V, m.s⁻¹). Para estimar o

desempenho das aves, foi utilizado o modelo estatístico para obtenção do ganho de peso diário (GPD, g.dia⁻¹). Desta maneira, para o cálculo do GPD (Eq. 1), tem-se:

$$\text{GPD} = - 92,717789 + 14,292936T + 0,253649U - 9,515579V - 0,290314T^2 + 0,001538U^2 + 0,974936V^2 - 0,016171TU + 0,294444TV - 0,007407UV \quad (1)$$

Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* (Figura 2) foram definidas como variáveis de entrada a temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (U, %) e velocidade do ar (V, m.s⁻¹) e, com base nas variáveis de entrada, o sistema *fuzzy* prediz a variável de saída: ganho de peso diário (GPD, g.dia⁻¹). O modelo foi desenvolvido em ambiente MATLAB[®] 7.1 por meio do *toolbox Fuzzy*. Na análise, o método de inferência utilizado foi o Método de Mamdani, o qual combina os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada através do operador mínimo e agrega as regras através do operador máximo (Leite et al 2010), sendo utilizado por diversos autores (Nascimento et al 2011; Yanagi Junior et al 2012). A defuzzificação foi realizada pelo método de centro de gravidade.

Tabela 1 Tratamentos experimentais utilizados para as regras do modelo *fuzzy* (Adaptado Medeiros 2001).

Tratamentos	Elementos climáticos			GPD (g.dia ⁻¹)
	T (°C)	U (%)	V (m.s ⁻¹)	
T1	20	34	0,6	74,00
T2	20	34	2,4	69,77
T3	20	76	0,6	76,53
T4	20	76	2,4	74,66
T5	32	34	0,6	65,10
T6	32	34	2,4	70,15
T7	32	76	0,6	62,42
T8	32	76	2,4	63,97
T9	16	55	1,5	66,05
T10	36	20	1,5	25,00
T11	26	90	1,5	76,75
T12	26	55	1,5	76,13
T13	26	55	0	74,50
T14	26	55	3	79,00
T15	26	55	1,5	77,97
T16	26	55	1,5	78,52
T17	26	55	1,5	77,14
T18	26	55	1,5	77,04
T19	26	55	1,5	75,76
T20	26	55	1,5	76,12

Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* (Figura 2) foram definidas como variáveis de entrada a temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (U, %) e velocidade do ar (V, m.s⁻¹) e, com base nas variáveis de entrada, o sistema *fuzzy* prediz a variável de saída: ganho de peso diário (GPD, g.dia⁻¹). O modelo foi desenvolvido em ambiente MATLAB[®] 7.1

por meio do *toolbox Fuzzy*. Na análise, o método de inferência utilizado foi o Método de Mamdani, o qual combina os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada através do operador mínimo e agrega as regras através do operador máximo (Leite et al 2010), sendo utilizado por diversos autores (Nascimento et al 2011; Yanagi Junior et al 2012). A defuzzificação foi realizada pelo método de centro de gravidade.

O sistema de regras *fuzzy* foi criado por meio do auxílio de especialistas, em forma de sentenças linguísticas. Conforme metodologia de seleção de especialista *fuzzy* proposta por Cornelissen et al (2002) e utilizada por Schiassi et al (2012), três especialistas foram selecionados, sendo que

dois especialistas possuem experiência em ambiência e um em modelagem matemática e estatística. Todos possuem mais de 10 anos de atuação nas respectivas áreas, caracterizando domínio sobre o tema. Esta característica é desejada de um especialista (Ayyub e Klir 2006), tendo em vista sua influência direta na confiabilidade e na qualidade dos resultados (Taylor 1988). Dessa forma, foram definidas 125 regras, de acordo com as combinações dos dados de entrada. Sendo que, para cada regra, atribuiu-se um fator de ponderação igual a 1, já que este se adequa ao modelo proposto com base nos dados obtidos pelas simulações.

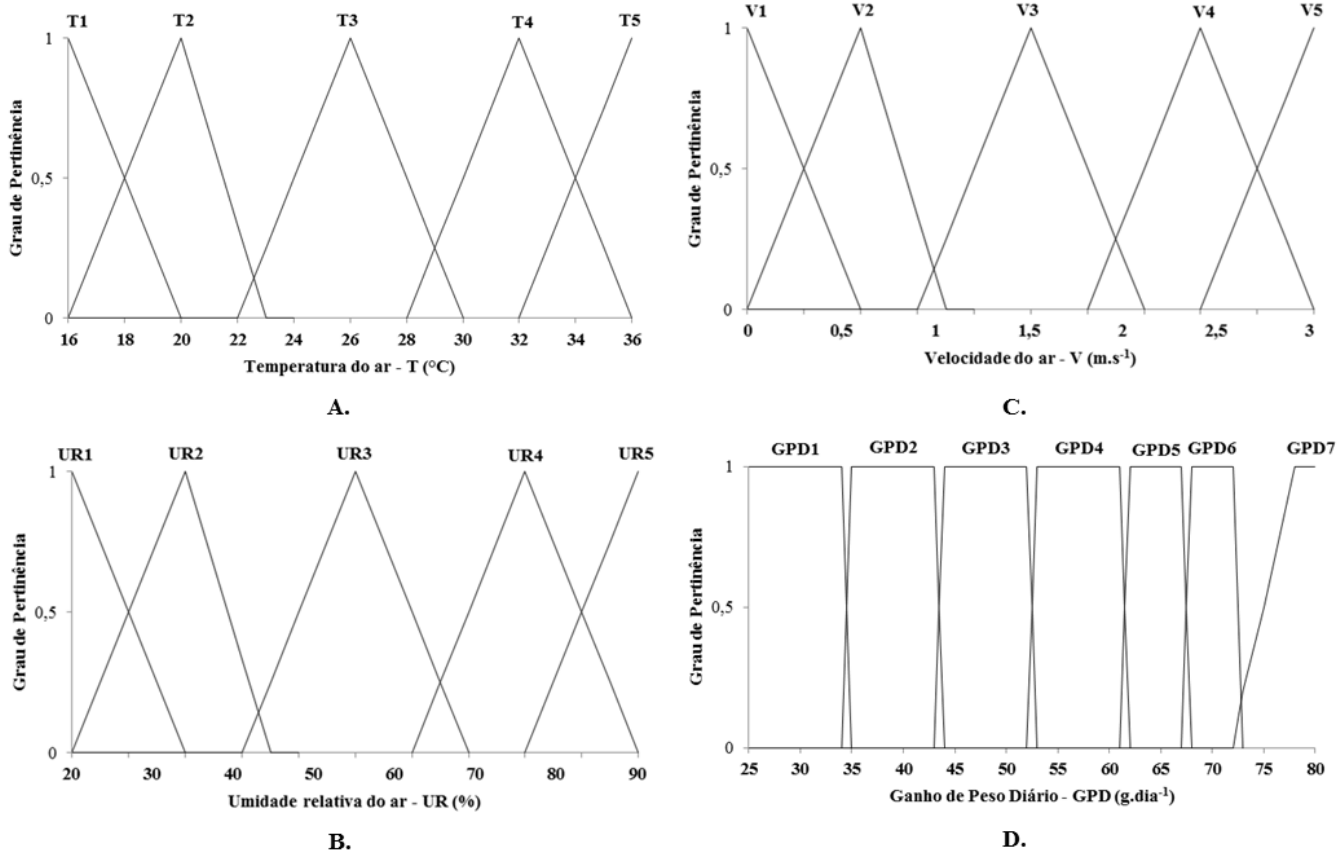


Figura 1 Curvas de pertinência para as variáveis de entrada: (A) temperatura do ar (°C), (B) umidade relativa do ar (%), e (C) velocidade do ar (m.s⁻¹); e para as variáveis de saída: (D) ganho de peso diário (g.dia⁻¹).

A segunda etapa do experimento foi realizada em um galpão comercial para frangos de corte, aberto nas laterais e com sistema convencional de acondicionamento térmico composto por ventilação artificial em modo túnel com pressão positiva, com 22 ventiladores, sendo dez ventiladores em cada lateral e 2 na parte frontal do galpão; e sistema de nebulização com aspersores de água em 5 linhas com 42 nebulizadores cada, durante a fase final de produção, no mês de Julho de 2013 com animais de 35 a 42 dias de idade. O aviário localiza-se no município de Sinop, estado de Mato Grosso. A cidade possui latitude de 11°58' S, longitude de 55°56' W e altitude de 37 m. A região possui clima tropical

quente e úmido (Aw, segundo classificação Köppen), caracterizada por duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa (entre Outubro e Abril) e outra seca (entre Maio e Setembro), e pela pequena variação na amplitude térmica anual.

Foi registrados dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do ar (m.s⁻¹) e massa corporal (g). Para a coleta dos dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), foram utilizados 5 *dataloggers* de temperatura e umidade, modelo HT-500, da marca Instrutherm®, com precisão de ± 0,1 °C para temperatura do ar e ±3% para umidade relativa do ar, os

dados foram registrados em intervalos de 5 min, totalizando um total de 288 dados diários. Para mensurar velocidade do ar ($m.s^{-1}$) foi utilizado termo-higro-anemômetro luxímetro, modelo THAL-300, da marca Instrutherm®, com precisão de $\pm 3\%$ para velocidade do ar. Os dados foram coletados todos os dias, durante o período da tarde entre as 15:00h e 16:30h. Os sensores foram colocados a 0,30 m de altura da cama, correspondendo ao centro geométrico das aves, um *datalogger* colocado no exterior do galpão, para avaliar as condições externas.

A pesagem das aves foi realizada diariamente ao longo do período experimental, sendo o ganho de peso diário (GPD), obtido pela diferença entre o peso vivo das aves ao final e ao início de um período de tempo considerado em $g.dia^{-1}$.

O GPD foi obtido por meio de pesagem com balança analógica do tipo gancho, sendo pesadas duas aves por vez, escolhidas ao acaso. As aves escolhidas estavam próximas ao local onde os sensores internos estavam instalados, dessa maneira, eram realizadas três pesagens em cada ponto, totalizando um total de doze pesagens diariamente, obtendo assim a massa corporal média diária das aves.

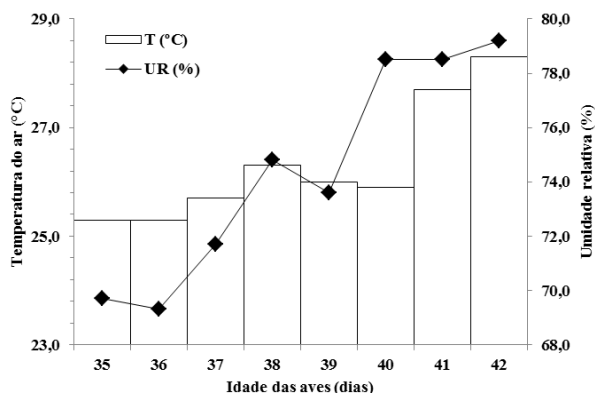


Figura 2 Média diária da temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 35 a 42 dias de idade das aves.

A média do desvio-padrão do GPD foi de $0,90 g.dia^{-1}$, com erro percentual de 2,19% e R^2 de 0,985. Para a equação empírica desenvolvida por Medeiros (2001), o desvio-padrão foi de $2,02 g.dia^{-1}$, com erro percentual de 4,97% e R^2 de 0,894. Comparando com a literatura, nota-se que o modelo proposto possui uma grande capacidade de prever o ganho de peso diário dos animais, uma vez que Ponciano et al (2012), trabalhando com modelagem *fuzzy*, obtiveram para variável ganho de peso desvio-padrão de $4,31 g.dia^{-1}$ e erro percentual de 2,38%. Utilizando outros métodos de sistemas inteligentes para a predição de desempenho de frangos de corte; Roush et al (2006), comparando a utilização da função

Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os dados obtidos para a caracterização do microclima do aviário estudado. Os valores de temperatura dentro do aviário variaram entre 25,3 e 28,3 °C, com umidade relativa variando entre 69,3 e 79,2% e velocidade do ar variando entre 0,7 e 1,1 $m.s^{-1}$. Oliveira et al (2006), constataram que o ambiente pode ser considerado termoneutro com temperaturas de $25,1 \pm 2,99^{\circ}C$, apenas quando a UR varia de $63,1 \pm 6,33\%$. Dessa forma, observa-se que, apesar da temperatura do ar estar dentro da zona de conforto entre os 35 e 40 dias de vida dos animais, as aves só estiveram na zona de conforto nos dois primeiros dias de experimento devido a umidade relativa do ar, a qual esteve acima da faixa confortável a partir do 37º dia. A velocidade do ar esteve dentro da zona de conforto em todo período experimental, conforme limites propostos por Medeiros et al (2005).

A Tabela 2 mostra o resultado dos valores de saída para a variável GPD simulados pelo modelo *fuzzy* proposto e calculado utilizando a equação empírica (Eq.1) proposta por Medeiros (2001) a partir dos dados obtidos pelo autor.

de Gompertz e redes neurais artificiais para a predição de ganho de peso, obtiveram médias de erro de 2,29% para a função de Gompertz e 2,98% para redes neurais artificiais. Para Ahmadi et al (2007), utilizando redes neurais artificiais para predição do ganho de peso de frangos de corte, obtiveram erro de 6,70%.

A Tabela 3 apresenta o resultado da capacidade real, utilizando os dados obtidos no experimento conduzido em galpão comercial, em prever o ganho de peso diário de frango de corte a partir do modelo *fuzzy* desenvolvido, comparando com a equação proposta por Medeiros (2001).

Trat.	Modelo <i>fuzzy</i>			Equação empírica (Medeiros, 2001)			
	GPDe	GPDf	Desvio-padrão	Erro (%)	GPDe	Desvio-padrão	Erro (%)
T1	74,00	76,8	1,98	3,65	74,44	0,31	0,60
T2	69,77	70,0	0,16	0,33	72,73	2,09	4,07
T3	76,53	76,8	0,19	0,35	78,43	1,35	2,43
T4	74,66	76,8	1,51	2,79	76,16	1,06	1,97
T5	65,10	64,5	0,42	0,93	60,33	3,38	7,91
T6	70,15	70,0	0,11	0,21	64,97	3,66	7,97
T7	62,42	64,5	1,47	3,22	56,16	4,42	11,14
T8	63,97	64,5	0,37	0,82	60,25	2,63	6,18
T9	66,05	64,5	1,10	2,40	60,40	4,00	9,36
T10	25,00	29,6	3,25	15,54	35,37	7,34	29,33
T11	76,75	76,8	0,04	0,07	79,11	1,67	2,98
T12	76,13	76,8	0,47	0,87	78,50	1,67	3,01
T13	74,50	76,8	1,63	2,99	78,12	2,56	4,64
T14	79,00	76,8	1,56	2,86	80,10	0,78	1,37
T15	77,97	76,8	0,83	1,52	76,92	0,74	1,37
T16	78,52	76,8	1,22	2,24	76,92	1,13	2,08
T17	77,14	76,8	0,24	0,44	76,92	0,16	0,29
T18	77,04	76,8	0,17	0,31	76,92	0,09	0,16
T19	75,76	76,8	0,74	1,35	76,92	0,82	1,50
T20	76,12	76,8	0,48	0,89	76,92	0,56	1,04
Média			0,90	2,19		2,02	4,97

Tabela 2 Comparação entre os valores de ganho de peso diário do modelo *fuzzy* desenvolvido (GPDf) e a equação empírica (GPDe) proposta por Medeiros (2001), com os resultados obtidos pelo autor (GPDe)

A média do desvio-padrão do GPD foi de 10,9 g.dia⁻¹, com erro percentual de 20,3%. Para a equação empírica desenvolvida por Medeiros (2001), o desvio-padrão foi de 12,2 g.dia⁻¹, com erro percentual de 22,4%. Nota-se que, nos 40 dias de idade das aves foi registrado um ganho de peso bem inferior aos dias anteriores. Este resultado deve-se ao fato dos animais terem ficado em um período de 12 h em jejum, devido à falta de distribuição da ração, o que acarretou num ganho de peso diário menor, acompanhando o dia seguinte (41 dias de idade). Dessa forma, como este resultado refere-se ao manejo e não a condição microclimática, os valores de desvio padrão e erro percentual seriam de 8,6 g.dia⁻¹ e 15,8% para o modelo *fuzzy* e 9,8 g.dia⁻¹ e 17,9% para a equação empírica, respectivamente.

Apesar do bom desempenho do modelo *fuzzy* comparado ao modelo empírico (Tabela 2), quando utilizados resultados práticos para validar o modelo, nenhuma das ferramentas obtiveram sucesso para a predição do ganho de peso para frangos de corte a partir das variáveis estudadas, mesmo o modelo *fuzzy* possuindo erro percentual menor em relação à equação empírica.

Comparando graficamente os valores de GPD simulados pelo modelo *fuzzy* (Figura 3A) e da equação empírica desenvolvida por Medeiros (2001) (Figura 3B) com

aqueles obtidos experimentalmente no galpão comercial para as idades de 36 a 39 dias e 42 dias de vida, excluindo, devido ao problema de falta de ração para os animais, as idades de 40 e 41 dias de vida, verificou-se que o coeficiente de determinação (R²) foi de 0,5667 e 0,1691, respectivamente; indicando a melhor precisão do modelo *fuzzy* proposto quando comparado à equação empírica existente.

Tabela 3. Comparação entre os valores de ganho de peso diário do modelo *fuzzy* desenvolvido (GPDf) e a equação empírica (GPDe) proposta por Medeiros (2001), com os resultados medidos no experimento (GPDm)

Idade (dias)	GPD _m (g.dia ⁻¹)	Modelo <i>fuzzy</i>			Equação empírica (Medeiros, 2001)		
		GPD _f (g.dia ⁻¹)	Desvio-padrão	Erro (%)	GPDe (g.dia ⁻¹)	Desvio-padrão	Erro (%)
36	75,40	77,2	1,3	2,3	78,0	1,9	3,4
37	112,0	78,0	24,0	43,6	77,7	24,2	44,1
38	97,8	77,5	14,4	26,2	76,8	14,9	27,4
39	69,5	70,2	0,5	1,0	77,5	5,7	10,3
40	33,0	73,5	28,6	55,1	78,0	31,8	57,7
41	67,0	73,0	4,2	8,2	74,0	4,8	9,1
42	68,7	73,0	3,0	5,9	72,0	2,3	4,5
Média			10,9	20,3		12,2	22,4

Ponciano et al (2012) obtiveram valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,975 para variável ganho de peso, o que demonstra, segundo estes autores, que o modelo *fuzzy* proposto prediz adequadamente o ganho de peso diário das aves. Portanto, o modelo *fuzzy* desenvolvido alcançou resultados satisfatórios na predição do ganho de peso diário de frangos de corte de 35 a 42 dias de idade quando comparado com os dados obtidos por Medeiros (2001). Todavia, para a coleta de dados realizada experimentalmente, ambos os modelos demonstraram baixa precisão na predição das respostas de GPD.

Este fato pode estar relacionado com as condições fisiológicas de adaptação das aves avaliadas ao ambiente de criação, uma vez que se compararam dados obtidos em câmaras climáticas (desenvolvimento dos modelos) com dados obtidos em galpão convencional de criação (teste dos modelos) evidenciando a necessidade de se adaptar modelos matemáticos às características particulares das regiões e linhagem dos animais para onde serão aplicados.

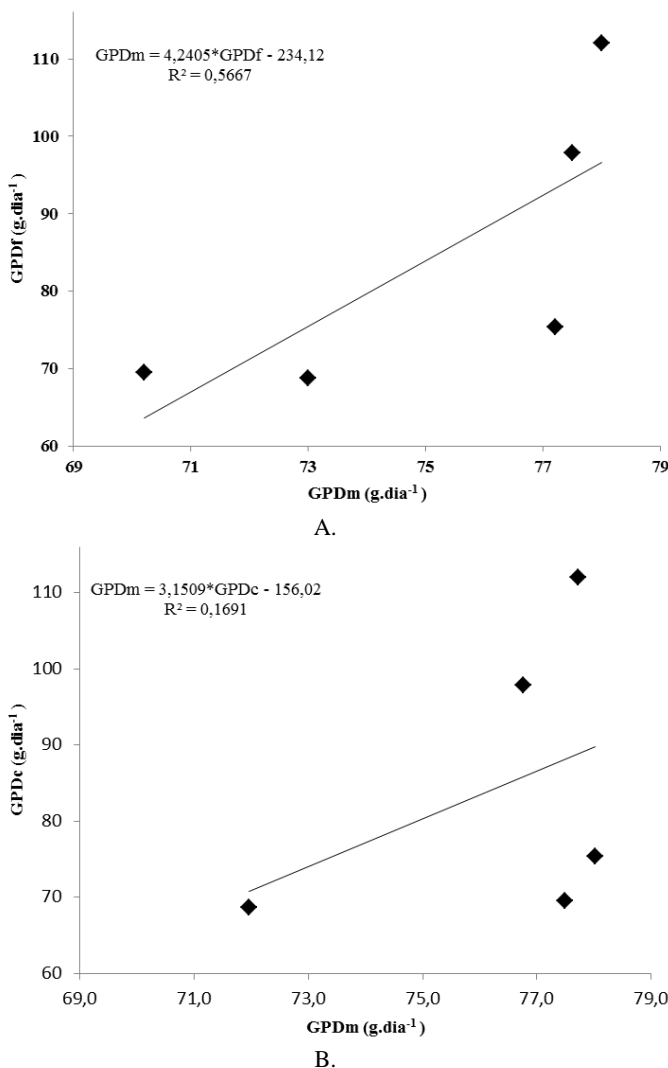


Figura 3 Regressão linear para o ganho de peso diário (GPD), em função dos valores preditos pelo modelo *fuzzy* (A), equação empírica (B) e os valores obtidos em experimentação.

Conclusões

O modelo *fuzzy* proposto demonstrou maior precisão comparado à equação empírica. Todavia, com o uso de dados experimentais, o modelo não apresentou bons resultados ($R^2 = 0,5667$). Devido ao período em que o modelo empírico foi estudado e a constante evolução do melhoramento genético, novas pesquisas devem ser realizadas para determinação da nova faixa de conforto térmico para frangos de corte em clima tropical.

Referências

- Ahmadi H, Mottaghtalab M, Nariman-Zadeh N (2007) Group method of data handling-type neural net work prediction of broiler performance based on dietary metabolizable energy, methionine, and lysine. *Journal of Applied Poultry Research*, 16:494-501.
- Amaral AG, Yanagi Junior T, Lima, RR, Teixeira VH, Schiassi, L (2011) Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63:649-658.
- Ayyub BM, Klir GJ (2006) Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences. CRC Press, Boca Raton.
- Baêta, FC, Souza CF (2012) *Ambiência em Edificações Rurais: Conforto animal*. Editora UFV, Viçosa.
- Bueno L, Rossi LA (2006) Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:497-504.
- Cassuce DC, Tinôco IFF, Baêta FC, Zolnier S, Cecon PR, Vieira MFA (2013) Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola*, 33:28-36.
- Cornelissen AMG, Van den Berg J, Koops WJ, Kaymak U (2002) Eliciting expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. Rotterdam: Erasmus Research Institute of Management. <http://EconPapers.repec.org/RePEc:ems:eureri:259>. Acessado em 17 de Outubro de 2015.
- Leite MS, Fileti AMF, Silva FV. da (2010) Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. *Revista Controle & Automação*, 21:147-158.
- Macari M et al (1994) Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Funep, Jaboticabal.
- Medeiros CM (2001) Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Tese, Universidade Federal de Viçosa.
- Medeiros CM, Baêta FC, Oliveira RFM, Tinôco IFF, Albino LT, Cecon PR (2005) Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, 13:277-286.
- Nascimento G, Pereira DF, Nääs IA, Rodrigues LHA (2011) Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, 31:219-229.

Oliveira HL, Amendola M, Nääs IA (2005) Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Engenharia Agrícola*, 25:300-307.

Oliveira RFM, Donzele JL, Abreu MLT, Ferreira RA, Vaz R, Gomes MV, Cella OS (2006) 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 Zootecnia*, 35:797-803.

Ponciano PF, Yanagi Júnior T, Schiassi L, Campos AT, Nascimento JWB (2012) Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, 32:446-458.

Romanini CEB, Garcia AP, Alvarado LM, Cappelli L, Umezu C (2010) Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:1193-1201.

Rondon EOO, Murakami AE, Sakaguti ES (2002) Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 4:199-207.

Roush WB, Dozier WA, Branton, SL (2006) Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poultry Science*, 85:794-797.

Schiassi L, Yanagi Junior T, Ferreira L, Damasceno FA, Yanagi SNM (2008) Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, 16:180-191.

Schiassi L, Yanagi Junior T, Damasceno FA, Saraz JAO, Machado NS (2012) Fuzzy modeling applied to the welfare of poultry farms workers. *Revista Dyna*, 79:127-135

Shaw IS, Simões MG. *Controle e Modelagem Fuzzy* (2007) FAPESP, São Paulo.

Taylor J (1988) Delphi method applied to tourism. In: Wittis, M. L. *Tourism marketing and management handbook*. Prentice Hall, Nova York.

UBPA – União Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual 2014 (2015). <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/mercado-interno/frango/producao-brasileira-de-carne-de-frango>. Acesso em 23 de Setembro de 2015.

Yanagi Junior T, Schiassi L, Abreu LHP, Barbosa JÁ, Campos AT (2012) Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. *Engenharia Agrícola*, 32:423-434.