



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

## Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte

Leonardo Schiassi<sup>1</sup>, Tadayuki Yanagi Júnior<sup>2</sup>, Gregory M. Reis<sup>3</sup>, Lucas H. P. Abreu<sup>4</sup>, Alessandro T. Campos<sup>5</sup> & Jaqueline de O. Castro<sup>6</sup>

### Palavras-chave:

ambiência animal  
modelagem matemática  
sistemas especialistas

### RESUMO

Com o objetivo de analisar o efeito da idade e a temperatura do ar nas respostas produtivas de frangos de corte, conduziu-se um experimento com animais criados de 1 a 21 dias de idade em túneis de vento climatizados cujos resultados observados foram utilizados no desenvolvimento e teste de um modelo matemático Fuzzy capaz de quantificar esta relação. O modelo desenvolvido tem, como variáveis de entrada: temperatura da primeira semana de vida (°C), temperatura da segunda semana de vida (°C) e a idade das aves (semanas), sendo que as variáveis de saída consideradas foram consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA, g g<sup>-1</sup>). O método de inferência de Mandani foi utilizado para elaboração de 36 regras e na defuzzificação foi aplicado o método do centro de gravidade. Com base nos resultados e ao se comparar os dados medidos com os obtidos pela simulação com o modelo Fuzzy proposto, coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da ordem de 0,9989; 0,9960 e 0,9801 foram verificados para CR, GP e CA, respectivamente.

### Key words:

animal environment  
mathematical modeling  
expert systems

## Fuzzy modeling applied in the evaluation of broiler performance

### ABSTRACT

With the objective of analysing the effect of age and air temperature on the productive responses of broilers, an experiment with bred animals of 1 to 21 days of age was conducted in acclimatized wind tunnels, using the results obtained in the development and testing of a Fuzzy mathematical model able to quantify this relation. The model developed presented as entry variables: temperature in the first week of life (°C), temperature in the second week of life (°C) and age of the bird (in weeks), and as the output variables: feed intake (FI, g), weight gain (WG, g) and feed conversion (FC, g g<sup>-1</sup>). The Mandani inference method was used in the elaboration of 36 rules, and the center of gravity method was applied on the defuzzification. Based on the results, in comparing the measured data with that obtained by simulation with the proposed Fuzzy model, the coefficients of determination (R<sup>2</sup>) of the order of 0.9989; 0.9960 and 0.9801 were verified for FI, WG and FC, respectively.

## INTRODUÇÃO

Destaca-se, dentre os desafios enfrentados pela avicultura de corte, a importância do ambiente de criação. Sabe-se que o sistema de criação intensivo possui influência direta na condição de conforto e no bem-estar animal, podendo ocasionar dificuldades na manutenção do balanço térmico e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando o desempenho produtivo das aves (Vigoderis et al., 2010).

Dados de conforto térmico para frangos de corte durante as primeiras semanas de vida, têm sido bastante citados na literatura e mostram que tanto o estresse por calor, quanto aquele pelo frio, durante as primeiras três semanas de vida, podem causar perda de peso corporal além de outros prejuízos para a saúde da ave (Moura et al., 2008). O pintainho, nos primeiros dias após a eclosão, pode ser comparado a um animal pecilotérmico, ou seja, sua temperatura corporal sofre variações de acordo com a temperatura ambiente; isto ocorre em virtude dessas aves ainda não terem seu sistema termorregulador amadurecido nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptar às condições adversas do ambiente (Teixeira et al., 2009).

O desenvolvimento do pintainho em condições ambientais de termoneutralidade, em particular na primeira semana de idade, é condição relevante para o desenvolvimento futuro do animal (Marchini et al., 2009). Usualmente, os limites de termoneutralidade são fixados em medidas indiretas, como temperatura do ar, umidade relativa, ventilação, entre outras variáveis ambientais. Entretanto, para Menezes et al. (2010) a temperatura e a umidade relativa foram identificadas como sendo alguns dos pontos críticos de controle e de prováveis riscos na criação de frangos. Segundo Oliveira et al. (2006), a temperatura adequada para a criação de pintainhos é de 32 a 34 °C, 28 a 32 °C e de 26 a 28 °C nas primeira, segunda e terceira semanas de vida, respectivamente. A umidade relativa na primeira semana de vida deve manter-se por volta de 70%; posteriormente, para as demais semanas de vida a umidade relativa deve manter-se entre 50-60% (Jácome et al., 2007).

Visando quantificar a interação dessas variáveis na produtividade de frangos de corte pode-se utilizar técnicas de modelagem computacional, como sistemas especialistas inteligentes capazes de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento. Os sistemas mais utilizados e testados são a lógica Fuzzy e as redes neurais artificiais.

A metodologia Fuzzy tem sido utilizada em várias áreas, como bem-estar animal (Pandolfi et al., 2007), desempenho produtivo de frangos de corte (Ponciano et al., 2012), análises de custo de produção (Nääs et al., 2010), sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica (Almeida & Kagan, 2010) e detecção de cio em vacas leiteiras (Ferreira et al., 2007).

Tendo em vista que a interação entre idade e temperatura ambiente influencia o desenvolvimento produtivo de frangos de corte alterando o consumo de ração e, conseqüentemente, o ganho de peso e a conversão alimentar, a aplicação da lógica Fuzzy é uma alternativa interessante, haja vista que possibilita prever as respostas zootécnicas das aves em

diferentes idades quando se parte de um cenário conhecido do ambiente térmico, dentro do período em avaliação.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um modelo matemático, utilizando a teoria dos conjuntos Fuzzy, para prever o desempenho produtivo de frangos de corte, durante as três primeiras semanas de vida.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento e teste do modelo Fuzzy, este trabalho foi dividido em duas etapas: durante a primeira fase esta pesquisa foi desenvolvida em quatro unidades experimentais de túneis de vento climatizados instalados no Laboratório de Ambiente, localizado no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Devido ao número de túneis de vento climatizados foi necessário dividir, para a condução do experimento, os tratamentos em três baterias experimentais.

Em cada túnel de vento climatizado foram alojados 15 animais na primeira semana; posteriormente e em razão da densidade de alojamento, este número foi reduzido para 12 e 8 aves, nas segunda e terceira semanas de vida, respectivamente. Desta forma foram criadas, em cada bateria experimental, 60 aves, totalizando 180 pintainhos, da linhagem Cobb divididos em lotes de sexo misto, durante todo o período experimental.

Na segunda fase os dados experimentais foram utilizados para o desenvolvimento e teste de um modelo matemático Fuzzy sendo definidas, como variáveis de entrada, a idade dos animais (dias), a temperatura do ar na primeira semana de vida (°C) e a temperatura do ar na segunda semana de vida (°C). Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, o modelo Fuzzy prediz as variáveis de saída: consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar ( $g\ g^{-1}$ ).

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 seus respectivos graus de pertinência, através do operador mínimo e em seguida pela superposição das regras, através do operador máximo (Leite et al., 2010). A defuzificação foi feita utilizando-se o método do centro de gravidade, que considera todas as possibilidades de saída transformando o conjunto Fuzzy originado pela inferência em valor numérico (Leite et al., 2010).

A partir dos valores de temperatura para conforto térmico, propostos em literatura, foi realizada a programação do sistema de controle dos túneis de vento climatizados cujos valores foram monitorados durante todo o período experimental.

Na elaboração do experimento foram utilizadas 12 combinações de temperatura do ar para as primeira e segunda semanas de vida dos animais sendo que essas combinações foram obtidas a partir do arranjo fatorial entre as temperaturas da primeira semana (24, 27, 30 e 33 °C) e segunda semana de vida das aves (24, 27 e 30 °C); para a terceira semana a temperatura foi mantida constante em todos os tratamentos (Tabela 1), enquanto que a umidade relativa foi fixada em  $60 \pm 1\%$  e a velocidade do ar em  $0,2 \pm 0,1\ m\ s^{-1}$  durante todos os dias de análise. Diariamente foi feito o registro do consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar dos frangos de

Tabela 1. Média semanal da temperatura do ar com respectivo desvio padrão, no interior dos túneis de vento climatizados correspondentes a cada tratamento

Tratamento <sup>1</sup>	Temperatura (°C)		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3
T <sub>24-24</sub>	24,2 ± 0,02	24,2 ± 0,05	27,1 ± 0,01
T <sub>24-27</sub>	24,2 ± 0,03	27,2 ± 0,04	27,2 ± 0,01
T <sub>24-30</sub>	24,4 ± 0,13	30,0 ± 0,04	27,2 ± 0,02
T <sub>27-24</sub>	27,1 ± 0,03	24,2 ± 0,05	27,1 ± 0,03
T <sub>27-27</sub>	27,1 ± 0,01	27,1 ± 0,02	27,2 ± 0,02
T <sub>27-30</sub>	27,2 ± 0,01	29,9 ± 0,05	27,2 ± 0,02
T <sub>30-24</sub>	30,1 ± 0,02	24,3 ± 0,03	27,2 ± 0,02
T <sub>30-27</sub>	30,0 ± 0,03	27,1 ± 0,01	27,2 ± 0,02
T <sub>30-30</sub>	30,1 ± 0,08	29,8 ± 0,06	27,2 ± 0,02
T <sub>33-24</sub>	33,0 ± 0,05	24,3 ± 0,10	27,2 ± 0,01
T <sub>33-27</sub>	33,1 ± 0,04	27,2 ± 0,02	27,2 ± 0,01
T <sub>33-30</sub>	33,0 ± 0,05	29,9 ± 0,04	27,2 ± 0,01

<sup>1</sup>Temperatura do ar para as primeira e segunda semanas de vida das aves

corde, em que o cálculo da conversão alimentar foi feito em função do ganho de peso diário acumulado.

Os intervalos de temperatura do ar adotados neste experimento, foram baseados em informações da literatura (Medeiros et al., 2005a; Oliveira et al., 2006), para conforto térmico de frangos de corte para as três primeiras semanas de vida; as demais temperaturas testadas foram utilizadas para observar as respostas dos animais ao desconforto por frio. As dietas fornecidas foram formuladas de acordo com as recomendações do NRC (1994), com base nas exigências de nutrientes para as diferentes fases de crescimento e foram iguais para todos os tratamentos. A ração e a água foram disponíveis ad libitum e diariamente foi realizada a limpeza das gaiolas para evitar a formação de gases, como a amônia, que interferissem no desempenho dos animais. Foram adotadas 24 h diárias de luz, como programa de iluminação, em cada um dos túneis de vento climatizados e em todas as baterias experimentais.

Após a coleta dos dados experimentais os valores diários acumulados de consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar (g g<sup>-1</sup>), para cada tratamento analisado, foram tabelados e utilizados no dimensionamento dos intervalos para as funções de pertinência das variáveis de saída; posteriormente esses dados experimentais foram utilizados para ajuste e teste do modelo desenvolvido.

Para cada variável de entrada definida foram atribuídos conjuntos Fuzzy que as caracterizaram sendo que, para

Tabela 3. Conjuntos Fuzzy para as variáveis de entrada

Idade (dias)			Temperatura semana 1 (°C)				Temperatura semana 2 (°C)		
Sem 1	Sem 2	Sem 3	TS1-1	TS1-2	TS1-3	TS1-4	TS2-1	TS2-2	TS2-3
1-8	7-15	14-21	24-27	24-30	27-33	30-33	24-27	24-30	27-30

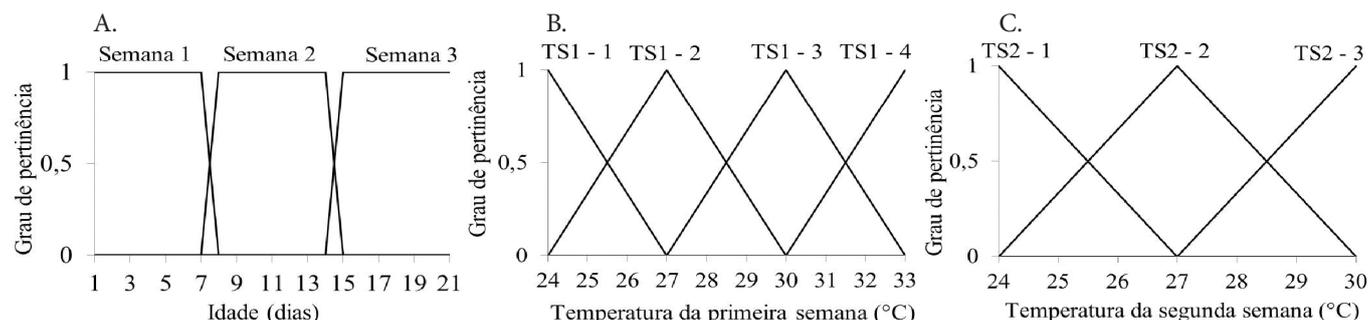


Figura 1. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (A) Idade das aves (dias), (B) Temperatura do ar na primeira semana (°C) e (C) Temperatura do ar na segunda semana (°C)

cada conjunto Fuzzy, foi criada uma função de pertinência. Visando quantificar a influência da temperatura em função da idade nas respostas produtivas das aves foram utilizadas neste trabalho, como variáveis de entrada, a idade das aves (dias), a temperatura do ar na primeira semana de vida (°C) e a temperatura do ar na segunda semana de vida (°C).

Na definição dos conjuntos Fuzzy fez-se uso de variáveis linguísticas genéricas para a temperatura visto que todos os intervalos foram utilizados para as duas semanas de vida das aves e desta forma não existe um nível de temperatura que possa ser considerado ideal para este período experimental, simultaneamente. Cada idade tem um intervalo de temperatura considerado mais adequado (Tabela 2).

Os intervalos admitidos para as variáveis de entrada foram listados na Tabela 3 e representados por curvas de pertinência trapezoidais e triangulares (Figura 1), pelo fato de representarem melhor as classes dos dados de entrada, solução esta encontrada por vários autores, como Pandorfi et al. (2007) e Tolon et al. (2010). Os intervalos adotados foram baseados nas faixas estabelecidas de temperatura, durante a condução do experimento e por meio de consulta a especialistas.

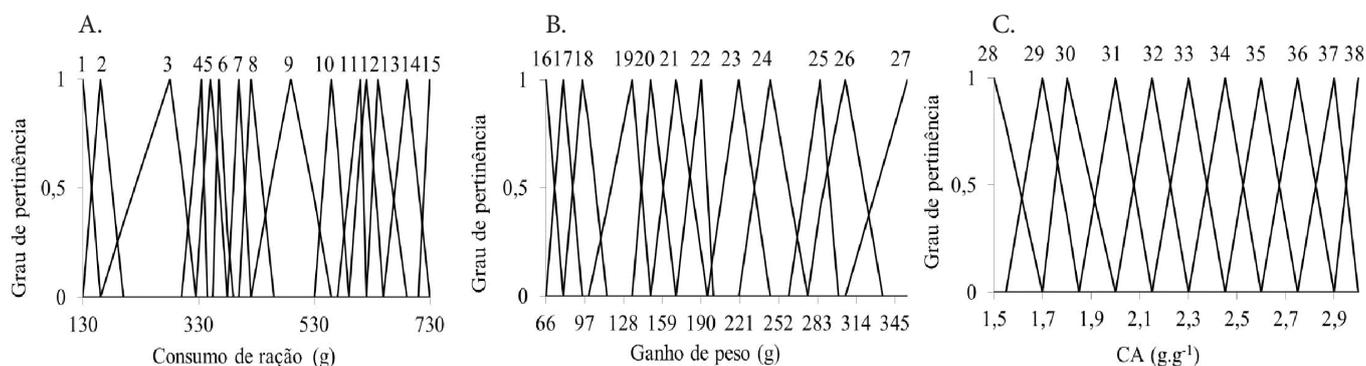
As variáveis de saída demonstram a indicação direta do consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA, g g<sup>-1</sup>) acumulados dos animais, durante as três primeiras semanas de vida levando-se em consideração as variações de temperatura e idade das aves no período, o que interfere diretamente nas respostas produtivas dos animais.

Os intervalos adotados para as variáveis de saída foram definidos com base nos dados coletados experimentalmente e caracterizados por curvas de pertinência do tipo triangular (Figura 2), por representarem melhor o conjunto de dados e por resultarem nos menores valores de desvio padrão, conforme proposto por Pereira et al. (2008) e Santos et al. (2009). O ambiente computacional utilizado foi o MAPLE<sup>®</sup> 13.

Tabela 2. Faixas de temperaturas de conforto para frangos do corte em diferentes idades

Idade (semana)	Faixa de temperatura (°C)
1 <sup>a</sup>	34-32
2 <sup>a</sup>	32-28
3 <sup>a</sup>	28-26

Adaptado de Medeiros et al. (2005a) e Cassuce (2011)



1 a 15 - Curvas de pertinência do CR; 16 a 27 - Curvas de pertinência do GP; 28 a 38 - Curvas de pertinência da CA

Figura 2. Funções de pertinência para as variáveis de saída: (A) consumo de ração (g), (B) ganho de peso (g) e (C) conversão alimentar (CA)

O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, também utilizado por Tolon et al. (2010) e Ponciano et al. (2012).

O sistema de regras Fuzzy foi criado com base em informações da literatura e por meio do auxílio de especialistas, em forma de sentenças linguísticas. Três especialistas foram selecionados, conforme metodologia de seleção de especialista Fuzzy proposta por Cornelissen et al. (2002) e utilizada por Escobar & Galindo (2004) e Yanagi Júnior et al. (2012). Dois especialistas possuem experiência

em ambiência animal e um em produção de frangos de corte, sendo que todos possuem mais de 10 anos de atuação nas respectivas áreas, caracterizando domínio sobre o tema. Tal experiência é desejada por um especialista (Ayyub & Klir, 2006), tendo em vista sua influência direta na confiabilidade e na qualidade dos resultados (Taylor, 1988).

De acordo com as combinações dos dados de entrada, foram definidas 36 regras e, para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1 (Tabela 4). O fator de ponderação igual a 1, usualmente adotado como default, foi escolhido

Tabela 4. Sistema de regras da inferência Fuzzy para as variáveis de entrada e saída consideradas

Regra	Variáveis de entrada			Variáveis de saída		
	Idade	Temperatura da primeira semana	Temperatura da segunda semana	Consumo de ração	Ganho de peso	Conversão alimentar
1	Semana 1	TS1 - 1	TS2 - 1	CR 2	GP 18	CA 30
2	Semana 2	TS1 - 1	TS2 - 1	CR 8	GP 22	CA 33
3	Semana 3	TS1 - 1	TS2 - 1	CR 15	GP 26	CA 33
4	Semana 1	TS1 - 1	TS2 - 2	CR 2	GP 18	CA 30
5	Semana 2	TS1 - 1	TS2 - 2	CR 8	GP 22	CA 32
6	Semana 3	TS1 - 1	TS2 - 2	CR 15	GP 26	CA 34
7	Semana 1	TS1 - 1	TS2 - 3	CR 2	GP 18	CA 30
8	Semana 2	TS1 - 1	TS2 - 3	CR 7	GP 21	CA 32
9	Semana 3	TS1 - 1	TS2 - 3	CR 14	GP 25	CA 34
10	Semana 1	TS1 - 2	TS2 - 1	CR 2	GP 18	CA 29
11	Semana 2	TS1 - 2	TS2 - 1	CR 7	GP 20	CA 34
12	Semana 3	TS1 - 2	TS2 - 1	CR 14	GP 25	CA 34
13	Semana 1	TS1 - 2	TS2 - 2	CR 1	GP 16	CA 31
14	Semana 2	TS1 - 2	TS2 - 2	CR 4	GP 19	CA 34
15	Semana 3	TS1 - 2	TS2 - 2	CR 13	GP 26	CA 32
16	Semana 1	TS1 - 2	TS2 - 3	CR 1	GP 17	CA 30
17	Semana 2	TS1 - 2	TS2 - 3	CR 4	GP 21	CA 31
18	Semana 3	TS1 - 2	TS2 - 3	CR 15	GP 27	CA 32
19	Semana 1	TS1 - 3	TS2 - 1	CR 1	GP 16	CA 30
20	Semana 2	TS1 - 3	TS2 - 1	CR 6	GP 21	CA 31
21	Semana 3	TS1 - 3	TS2 - 1	CR 14	GP 27	CA 32
22	Semana 1	TS1 - 3	TS2 - 2	CR 1	GP 16	CA 30
23	Semana 2	TS1 - 3	TS2 - 2	CR 5	GP 20	CA 34
24	Semana 3	TS1 - 3	TS2 - 2	CR 14	GP 25	CA 33
25	Semana 1	TS1 - 3	TS2 - 3	CR 1	GP 17	CA 28
26	Semana 2	TS1 - 3	TS2 - 3	CR 5	GP 20	CA 32
27	Semana 3	TS1 - 3	TS2 - 3	CR 10	GP 23	CA 35
28	Semana 1	TS1 - 4	TS2 - 1	CR 1	GP 18	CA 28
29	Semana 2	TS1 - 4	TS2 - 1	CR 7	GP 21	CA 32
30	Semana 3	TS1 - 4	TS2 - 1	CR 10	GP 23	CA 35
31	Semana 1	TS1 - 4	TS2 - 2	CR 1	GP 18	CA 28
32	Semana 2	TS1 - 4	TS2 - 2	CR 7	GP 22	CA 31
33	Semana 3	TS1 - 4	TS2 - 2	CR 13	GP 24	CA 35
34	Semana 1	TS1 - 4	TS2 - 3	CR 1	GP 18	CA 28
35	Semana 2	TS1 - 4	TS2 - 3	CR 6	GP 21	CA 32
36	Semana 3	TS1 - 4	TS2 - 3	CR 11	GP 23	CA 38

por se mostrar adequado ao modelo proposto com base no comportamento dos resultados obtidos pelas simulações. Ademais, este valor tem sido adotado em diversos modelos Fuzzy reportados pela literatura (Ferreira et al., 2007; Schiassi et al., 2008).

A validação do modelo Fuzzy foi feita por meio de experimento realizado em túneis de vento climatizados, com frangos da linhagem Cobb, no município de Lavras, MG, com coordenadas geográficas de 21° 14' S de latitude, 45° 00' W de longitude, 918,8 m de altitude, no período de 5 de julho a 20 de setembro de 2011. Utilizaram-se quatro túneis de vento climatizados com controle automático de temperatura e umidade relativa do ar.

Nos testes desenvolvidos foram simuladas as respostas produtivas das aves utilizando-se o modelo Fuzzy proposto cujos resultados foram comparados com os dados coletados experimentalmente. Esses testes foram propostos para avaliar a capacidade do modelo em prever o CR, GP e CA, para todas as possibilidades de combinação dos dados de entrada e desta forma ser utilizado como ferramenta de auxílio na tomada de decisão quanto ao controle de perdas produtivas relacionadas às situações de estresse térmico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Cordeiro et al. (2010), as primeiras semanas de vida da ave são as mais críticas e erros cometidos nesta fase não poderão ser corrigidos a contento no futuro, o que fará com que o desempenho final das aves seja afetado; daí a importância de se adaptar o ambiente às condições ideais de bem-estar para as aves mais jovens.

O ajuste do modelo Fuzzy foi feito com base no intervalo de dados coletados durante a condução do experimento sendo que o intervalo para cada função de pertinência das variáveis de saída foi adotado de forma a resultar no menor erro possível quando comparado com os dados medidos experimentalmente.

Assim foram utilizados, para testar o modelo Fuzzy, dados de idade das aves e temperatura do ar, para a primeira e segunda semanas de vida enquanto os resultados de saída do modelo foram comparados com os valores de CR, GP e CA obtidos através do experimento conduzido em túneis de vento climatizados (Tabela 5).

As médias dos desvios padrão das variáveis CR, GP e CA foram de 4,15 g; 3,10 g e 0,03 g g<sup>-1</sup>, respectivamente correspondendo aos erros percentuais medidos de 2,12; 2,74 e

Tabela 5. Comparação dos valores de consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA, g g<sup>-1</sup>) acumulados obtidos experimentalmente (ME) e simulados pelo modelo Fuzzy (SF)

Trat <sup>1</sup>	Semana	ME			SF			Desvio padrão			Erro (%)		
		CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA
T <sub>24</sub> <sup>24</sup>	1	166,4	94,0	1,77	163,4	96,6	1,83	2,09	1,84	0,05	1,78	2,76	3,61
	2	418,8	181,6	2,31	426,7	186,7	2,30	5,64	3,61	0,00	1,90	2,81	0,24
	3	720,9	307,1	2,35	725,1	305,0	2,30	3,00	1,47	0,03	0,59	0,68	2,03
T <sub>24</sub> <sup>27</sup>	1	168,9	94,5	1,79	163,4	96,6	1,83	3,83	1,50	0,03	3,21	2,24	2,62
	2	415,5	187,9	2,21	426,7	186,7	2,15	7,92	0,80	0,04	2,70	0,60	2,79
	3	722,6	304,1	2,38	725,1	305,0	2,45	1,73	0,63	0,05	0,34	0,29	3,10
T <sub>24</sub> <sup>30</sup>	1	172,5	95,7	1,80	163,4	96,6	1,83	6,43	0,66	0,02	5,27	0,98	1,70
	2	391,6	175,6	2,23	400,0	171,7	2,15	5,95	2,74	0,06	2,15	2,21	3,60
	3	681,5	277,1	2,46	689,9	281,6	2,45	5,96	3,23	0,01	1,24	1,65	0,39
T <sub>27</sub> <sup>24</sup>	1	166,0	99,0	1,68	163,4	96,6	1,70	1,82	1,69	0,02	1,55	2,41	1,40
	2	395,6	160,3	2,47	400,0	151,6	2,45	3,09	6,12	0,01	1,10	5,40	0,74
	3	698,2	289,5	2,41	689,9	281,6	2,45	5,84	5,54	0,03	1,18	2,71	1,58
T <sub>27</sub> <sup>27</sup>	1	132,9	66,5	2,00	138,0	69,7	2,00	3,61	2,31	0,00	3,84	4,92	0,04
	2	332,1	136,4	2,44	326,6	128,3	2,45	3,90	5,69	0,01	1,66	5,90	0,60
	3	657,8	305,9	2,15	649,9	305,0	2,15	5,55	0,65	0,00	1,19	0,30	0,01
T <sub>27</sub> <sup>30</sup>	1	139,4	79,6	1,75	138,0	80,3	1,83	0,98	0,52	0,06	0,99	0,92	4,72
	2	326,5	167,1	1,95	326,6	171,7	2,00	0,07	3,28	0,03	0,03	2,78	2,33
	3	729,3	352,2	2,07	725,1	339,3	2,15	2,97	9,10	0,06	0,58	3,66	3,82
T <sub>30</sub> <sup>24</sup>	1	130,9	71,1	1,84	138,0	69,7	1,83	5,01	0,95	0,01	5,41	1,89	0,44
	2	371,0	180,5	2,06	369,9	171,7	2,00	0,80	6,20	0,04	0,30	4,86	2,72
	3	704,7	336,7	2,09	689,9	339,3	2,15	10,45	1,81	0,04	2,10	0,76	2,73
T <sub>30</sub> <sup>27</sup>	1	131,1	72,9	1,80	138,0	69,7	1,83	4,87	2,21	0,02	5,25	4,29	1,90
	2	349,9	142,9	2,45	351,7	151,6	2,45	1,26	6,19	0,00	0,51	6,12	0,06
	3	675,7	290,0	2,33	689,9	281,6	2,30	10,01	5,91	0,02	2,10	2,88	1,29
T <sub>30</sub> <sup>30</sup>	1	142,1	87,2	1,63	138,0	80,3	1,56	2,92	4,84	0,05	2,91	7,85	4,19
	2	346,6	155,2	2,23	351,7	151,6	2,15	3,61	2,53	0,06	1,47	2,31	3,70
	3	559,3	214,3	2,61	560,0	220,0	2,60	0,48	4,02	0,01	0,12	2,65	0,39
T <sub>33</sub> <sup>24</sup>	1	150,1	98,0	1,53	138,0	96,6	1,56	8,53	0,94	0,02	8,04	1,35	1,96
	2	396,3	180,6	2,19	400,0	171,7	2,15	2,61	6,27	0,03	0,93	4,91	2,04
	3	572,1	220,6	2,59	560,0	220,0	2,60	8,56	0,47	0,00	2,12	0,30	0,27
T <sub>33</sub> <sup>27</sup>	1	147,7	97,5	1,51	138,0	96,6	1,56	6,85	0,63	0,03	6,56	0,91	3,14
	2	398,0	192,9	2,06	400,0	186,7	2,00	1,44	4,34	0,04	0,51	3,18	3,07
	3	645,8	242,2	2,67	649,9	245,0	2,60	2,89	1,97	0,05	0,63	1,15	2,48
T <sub>33</sub> <sup>30</sup>	1	145,5	92,6	1,57	138,0	96,6	1,56	5,30	2,83	0,01	5,15	4,32	0,56
	2	370,3	172,9	2,14	369,9	171,7	2,15	0,29	0,88	0,01	0,11	0,72	0,42
	3	604,5	209,9	2,88	600,2	220,0	2,97	3,02	7,14	0,06	0,71	4,81	3,17
Média								4,15	3,10	0,03	2,12	2,74	1,94

<sup>1</sup> Temperaturas das primeira e segunda semanas de avaliação experimental

1,94%. Ponciano et al. (2012) encontraram, ao desenvolver um modelo matemático Fuzzy para prever as respostas produtivas de frangos de corte durante as primeiras semanas de vida, valores médios de desvios-padrão de 4,31 g; 4,76 g e 0,02 g g<sup>-1</sup> e erros percentuais de 2,38; 2,94 e 2,16%, para as variáveis CR, GP e CA, respectivamente comprovando, portanto, a eficiência do modelo proposto em simular as respostas produtivas das aves, para os diversos cenários analisados.

Analisando as respostas produtivas das aves em função das diferentes temperaturas e idades avaliadas, observa-se grande variação dos dados medidos experimentalmente ao mesmo tempo em que os resultados do modelo Fuzzy desenvolvido se adequaram a essas variações deixando evidente a precisão deste sistema em se adaptar às diferentes condições e combinações de valores do banco de dados utilizadas no teste desta modelagem.

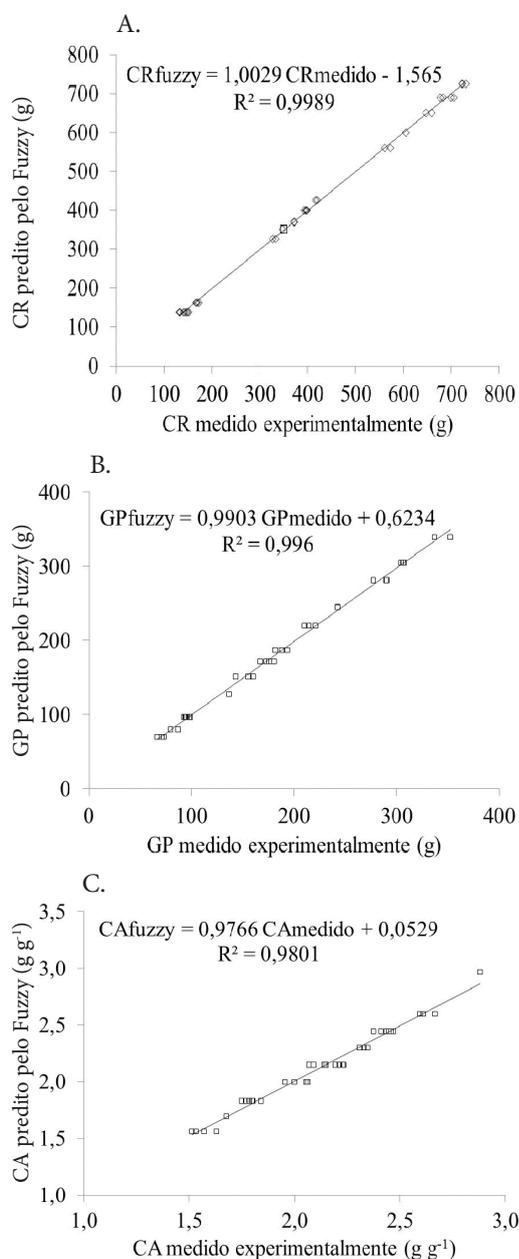


Figura 3. Regressões lineares para as variáveis de saída: (A) consumo de ração (CR); (B) ganho de peso (GP) e (C) conversão alimentar (CA), em função dos valores preditos pela lógica fuzzy e os valores medidos experimentalmente

De acordo com as regressões lineares simples e com o ajuste da reta passando pela origem, os resultados apresentaram coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9989; 0,9960; 0,9801$ , para CR, GP e CA, respectivamente (Figura 3A, B e C). Esses resultados indicam boa precisão do modelo Fuzzy. Medeiros et al. (2005b) encontraram, ao criar modelos matemáticos para estimar CR, GP e CA de frangos adultos com idade de 42 dias de vida, em função da temperatura (variando de 20 a 32 °C), umidade relativa (variando de 20 a 90%) e velocidade do ar (variando de 0 a 3,0 m s<sup>-1</sup>), valores de  $R^2 = 0,91; 0,89$  e 0,72, respectivamente.

Esses valores de  $R^2$  mais elevados, obtidos por meio do modelo Fuzzy proposto, em relação ao modelo criado por Medeiros et al. (2005b), permitiram que a predição das respostas produtivas CR, GP e CA fosse mais realística; desta forma, os resultados encontrados neste trabalho indicam ser possível a estimativa de GP, CR e CA em função da temperatura do ar e da idade das aves por meio de modelo matemático Fuzzy. A operacionalização desses resultados ajuda no suporte à decisão do controle da climatização do galpão garantindo, assim, melhor produção.

## CONCLUSÕES

1. O modelo Fuzzy proposto permite estimar, com eficiência, o consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte com idade entre 1 a 21 dias.
2. A condução do experimento em ambiente controlado permitiu avaliar a influência da temperatura do ar em função da idade das aves, nas respostas produtivas durante as semanas de avaliação.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG, pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

## LITERATURA CITADA

- Almeida, C. F. M.; Kagan, N. Aplicação de algoritmos genéticos e teoria dos conjuntos Fuzzy no dimensionamento de sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica. *Revista Controle & Automação*, v.21, p.363-378, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592010000400004>
- Ayyub, B. M.; Klir, G. J. *Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2006. 378p. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420011456>
- Cassuce, D. C. Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil. Viçosa: UFV, 2011. 103p. Tese Doutorado
- Cordeiro, M. B.; Tinôco, I. de F. F.; Silva, J. N. da; Vigoderis, R. B.; Pinto, F. de A. de C.; Cecon, 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, p.217-224, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000100029>
- Cornelissen, A. M. G.; Berg, J. van den; Koops, W. J.; Kaymak, U. Eliciting expert knowledge for Fuzzy evaluation of agricultural production systems. Erasmus Research Institute of Management, Rotterdam School of Management, Erasmus University, Rotterdam, Netherlands, Report, ERS-2002-108-LIS. 2002. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=371055](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=371055). 20 Dez. 2011.

- Escobar, C.; Galindo, J. Fuzzy control in agriculture: Simulation Software. In: Marín, J.; Koncar, V. Industrial Simulation Conference. Málaga: ISC Spain, 2004. p.45-49.
- Ferreira, L.; Yanagi Júnior, T.; Nääs, I. A.; Lopes, M. A. Development of algorithm using Fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: Part I. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*, v.9, p.1-16, 2007.
- Jacomé, I. M. T. D.; Furtado, D. A.; Leal, A. F.; Silva, J. H. V.; Moura, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.527-531, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000500013>
- 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*, v.21, p.147-158, 2010.
- Marchini, C. F. P.; Silva, P. L.; Nascimento, M. R. B. M.; Beletti, M. E.; Guimarães, E. C.; Soares, H. L. Intestinal morphometry of the duodenal mucosa in broiler chickens underwent to high cyclic environment temperature. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.61, p.491-497, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352009000200029>
- Medeiros, C. M.; Baeta, F. C.; Oliveira, R. F. M.; Tinôco, I. F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, v.13, p.277-286, 2005a.
- Medeiros, C. M.; Baeta, F. C.; Oliveira, R. F. M.; Tinôco, I. F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.660-665, 2005b. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400033>
- Menezes, A. G.; Nääs, I. A.; Baracho, M. S. Identification of critical points of thermal environment in broiler production. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v.12, p.21-29, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2010000100003>
- Moura, D. J.; Nääs, I. A.; Alves, E. C. de S.; Carvalho, T. M. R. de; Vale, M. M. do; Lima, K. A. O. de. Análise de ruído para a avaliação do conforto térmico de pintinhos. *Scientia Agrícola*, v.65, p.438-443, 2008.
- Nääs, I. A.; Romanini, C. E. B.; Salgado, D. D.; Lima, K. A. O.; Vale, M. M. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. *Scientia Agrícola*, v.67, p.1-8, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000100001>
- NRC - National Research Council. Nutrient requirements of poultry. Washington: National Academy Press, 1994. 151p.
- Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Cella, P. S. 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, p.797-803, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000300023>
- Pandorf, H.; Silva, I. J. O.; Guiselini, C.; Piedade, S. M. S. Uso da lógica Fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.83-92, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000100001>
- Pereira, D. F.; Bigli, C. A.; Gabriel Filho, L. R.; Gabriel, C. P. C. Sistema Fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.624-633, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000400002>
- Ponciano, P. F.; Yanagi Júnior, T.; Schiassi, L.; Campos, A. T.; Nascimento, J. W. B. do. Sistema Fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, v.32, p.446-458, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300004>
- Santos, R. C.; Nääs, I. A.; Moreira, F. R.; Gomes Filho, R. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. *Enciclopédia Biosfera*, v.5, p.1-6, 2009.
- Schiassi, L.; Yanagi Júnior, T.; Ferreira, L.; Damasceno, F. A.; Yanagi, S. N. M. Metodologia Fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, v.16, p.181-191, 2008.
- Taylor, J. Delphi method applied to tourism. In: Wittis, M. L. Tourism marketing and management handbook. New York: Prentice Hall, 1988. p.95-99.
- Teixeira, E. N. M.; Silva, J. H. V.; Costa, F. G. P.; Martins, T. D. D.; Givisiez, P. E. N.; Furtado, D. A. Efeito do tempo de jejum pós-eclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de pintos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.314-322, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000200014>
- Tolon, Y. B.; Baracho, M. S.; Nääs, I. A.; Rojas, M.; Moura, D. J. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.1-13, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000100001>
- Vigoderis, R. B.; Cordeiro, M. B.; Tinôco, I. F. F.; Menegali, I.; Souza Júnior, J. P.; Holanda, M. C. R. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p.381-386, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000600030>
- Yanagi Júnior, 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, p.423-434, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300002>