



DIAN LOURENÇONI

**MODELAGEM FUZZY E EFEITO DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS RESPOSTAS
PRODUTIVAS DE FRANGOS DE CORTE
CRIADOS EM DIFERENTES SISTEMAS
COMERCIAIS DE PRODUÇÃO**

**LAVRAS - MG
2017**

DIAN LOURENÇONI

**MODELAGEM FUZZY E EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NAS RESPOSTAS PRODUTIVAS DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS
EM DIFERENTES SISTEMAS COMERCIAIS DE PRODUÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Paulo Giovanni de Abreu

Dr. Alessandro Torres Campos

Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

**LAVRAS - MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lourençoni, Dian.

Modelagem *fuzzy* e efeito das mudanças climáticas nas respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção / Dian Lourençoni. - 2017.

119 p.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Avicultura de corte. 2. Inteligência artificial. 3. Sistemas *fuzzy*. I. Junior, Tadayuki Yanagi. II. Título.

DIAN LOURENÇONI

**MODELAGEM FUZZY E EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NAS RESPOSTAS PRODUTIVAS DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS
EM DIFERENTES SISTEMAS COMERCIAIS DE PRODUÇÃO**

**FUZZY MODELING AND THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON
THE PRODUCTIVE RESPONSES OF BROILERS CREATED IN
DIFFERENT COMMERCIAL PRODUCTION SYSTEMS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de abril de 2017.

Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Dr. Paulo Giovanni de Abreu	EMBRAPA
Dr. Flávio Alves Damasceno	UFLA
Dr. Sérgio Martins de Souza	UFLA

Orientador
Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores
Dr. Paulo Giovanni de Abreu
Dr. Alessandro Torres Campos
Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

**LAVRAS - MG
2017**

A DEUS.

*Aos meus pais, João Osvaldo Lourençoni e Francini de Fátima Reis
Lourençoni, pelo amor, pela confiança, pela dedicação e acima de tudo, pelos
ensinamentos de vida.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida, pelas oportunidades e pelos momentos inesquecíveis.

Aos meus pais, pelo amor e por toda a luta que garantem a realização dos sonhos de nossa família.

Ao meu irmão Junior, pela união e pelas alegrias que passamos juntos.

Aos meus avós, inclusive aos que deixaram saudades, pela preocupação constante com meu bem-estar.

À minha noiva Mariela, que sempre esteve ao meu lado.

A todos os meus familiares e amigos, que torcem pelas minhas conquistas e marcam presença em minha vida.

A todos que me acolheram em Lavras e se tornaram família nos momentos de saudades de casa.

Aos meus amigos e colegas de turma, pela convivência, momentos de alegria, incentivo e companheirismo.

Ao professor e orientador, Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pela orientação, pelos sábios ensinamentos, e acima de tudo pela amizade e confiança.

Aos membros da banca de defesa pelas correções, sugestões e avaliação deste trabalho.

A EMBRAPA Suínos e Aves, que cedeu os dados das instalações para a pesquisa e em especial ao Pesquisador Dr. Paulo Giovanni de Abreu, pela coorientação, oportunidade e pelo apoio técnico.

À Universidade Federal de Lavras, professores, funcionários, colegas e todos que colaboraram para o êxito da minha formação acadêmica e hoje são parte da minha história.

Ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos e ou apoio financeiro ao projeto.

RESUMO GERAL

A manutenção do ambiente térmico dentro de intervalos de conforto é primordial para que todo o potencial genético da linhagem de frangos de corte seja evidenciado. Para tanto, o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) para o controle do ambiente, que possam ser embarcados em microcontroladores, torna-se necessário. Contudo, até então os trabalhos de modelagem do desempenho produtivo de frangos de corte eram realizados individualmente em cada sistema de produção ou em laboratórios onde as condições ambientais são controladas. Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa desenvolver um sistema *fuzzy* para prever os índices produtivos de frangos de corte, com base em dados oriundos de três sistemas comerciais de produção coletados ao longo do ano, para cenários atuais e futuros. Foram avaliados os sistemas convencional, de pressão negativa e *dark house*, sendo que esses sistemas compreendem os diversos níveis tecnológicos disponíveis para os produtores. Para cada sistema, foram avaliados seis lotes de animais ao longo de um ano, sendo coletados os dados do ambiente térmico e de produtividade (consumo de ração, CR; ganho de peso, GP; conversão alimentar, CA; e índice de eficiência produtiva, IEP). O teste não paramétrico de Mann-Kendall e análise de regressão linear foram aplicados aos dados de temperatura das normais climatológicas do local para análise de tendências de mudanças climáticas, permitindo simulações para os cenários futuros. Os modelos *fuzzy*, independente do tipo de curva de pertinência utilizada (triangular, trapezoidal ou gaussiana) permitiu estimar com eficiência aceitável, o CR, GP, CA e IEP de frangos de corte submetidos a diferentes sistemas de produção comercial existentes. Entretanto, a seleção dos tipos de curvas de pertinência deve ser estudada, caso a caso, para que se obtenha os menores erros de simulação possíveis. Pesquisando tendências de mudanças climáticas previstas para a região de estudo, o aviário que obteve o melhor resultado foi o *Dark House*, seguido do Pressão Negativa e por último o Convencional.

Palavras-chave: Avicultura de corte. Inteligência artificial. Sistemas *fuzzy*. Curvas de pertinência. Mudanças climáticas.

GENERAL ABSTRACT

Maintaining the thermal environment within the comfort ranges is essential for highlighting full genetic potential of the broiler lineage. So, the development of algorithms (mathematical models) to control the environment that can be embedded in microcontrollers becomes necessary. However, until now, modeling works on productive performance of broilers were individually performed for each production system or in laboratories where environmental conditions are controlled. Based on the exposed, this research aimed to develop a fuzzy system to predict the productive indexes of broilers, based on data from three commercial production systems collected throughout the year, for actual and future scenarios. The conventional, negative pressure and dark house systems were evaluated, and these systems comprise the diverse technological levels available to the producers. For each system, it was evaluated six flocks during one year, being collected data about the thermal environment and productivity (feed intake, FI; weight gain, WG; feed conversion, FC; and productive efficiency index, PEI). The non-parametric Mann-Kendall test and linear regression analyze were applied to the temperature data of the climatologic local series to analyze the climate change trends, allowing future scenarios simulation. The *fuzzy* models, independently of the used pertinence curve type (triangular, trapezoidal or Gaussian), allowed estimating FI, WG, FC and PEI, with certain efficiency, of broilers submitted to different commercial production systems. However, the selection of the types of pertinence curves must be studied case-by-case, in order to obtain the smallest possible simulation errors. Studying the expected climate change trends for the studied region, the broiler house that obtained the best result was the Dark House, followed by the Negative Pressure and, finally, the Conventional.

Keywords: Poultry farming. Artificial intelligence. *Fuzzy* systems. Pertinence curves. Climatic changes.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Comportamento da produção de calor e temperatura corporal de uma ave adulta em função da temperatura ambiental efetiva externa.26
- Figura 2 - Esquema ilustrativo de um sistema *fuzzy*.34

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe do ventilador no aviário sistema convencional.....53
- Figura 2 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe dos exaustores no aviário sistema Pressão Negativa.55
- Figura 3 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe dos exaustores no aviário sistema *dark house*.56
- Figura 4 - Croqui dos aviários, A - Sistema Convencional, B – Sistema Pressão Negativa e C – Sistema Convencional, com esquema de distribuição dos sensores. (Unidade: metros).58
- Figura 5 - Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (a) Entalpia na fase 1, (b) Entalpia na fase 2, (c) Entalpia na fase 3, (d) Entalpia na fase 4 e (e) Entalpia na fase 5.61
- Figura 6 - Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) Consumo de ração (CR), (b) Ganho de peso (GP), (c) Conversão alimentar (CA) e (d) Índice de eficiência produtiva (IEP).63

ARTIGO 2

- Figura 1 - Tendência temporal da entalpia nos meses de fevereiro (A) e junho (B) para a cidade de Concórdia - SC no período de 1987 a 2015.84

ARTIGO 3

Figura 1 - Visão do aviário sistema convencional.....	101
Figura 2 - Visão do aviário sistema Pressão Negativa.	103
Figura 3 - Visão do aviário sistema <i>dark house</i>	104
Figura 4 - Croqui dos aviários, A – sistema convencional, B – sistema pressão negativa e C – sistema <i>dark house</i> com esquema de distribuição dos sensores. (Unidade: metros).	106

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

- Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.27
- Tabela 2 - Metas de desempenho para frangos de corte da linhagem *Cobb*, criados em condições de conforto para frangos de corte machos. ...32

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Divisão das fases de vida das aves e sua respectiva descrição..... 60
- Tabela 2 - Limites inferiores e superiores das temperaturas e entalpias ideais para frangos de corte em cada fase de vida..... 62
- Tabela 3 - Valores médios de entrada e saída observados experimentalmente. 64
- Tabela 4 - Comparação dos valores de conversão alimentar (CA, g g⁻¹), ganho de peso médio (GP, g), consumo de ração (CR, g) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo..... 67
- Tabela 5 - Simulação com o modelo *fuzzy*, avaliando diferentes níveis de entalpia em diferentes fases de vida dos animais. 68

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Lotes de cada sistema avaliado e seus respectivos períodos de avaliação. 83
- Tabela 2 - Fases e lotes afetados pelos cenários futuros de mudanças climáticas e seus respectivos resultados de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, simulados pelo modelo *fuzzy* para os cenários futuros. (Continua) 88
- Tabela 3 - Valores de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, simulados pelo modelo *fuzzy* para os cenários futuros. 90

ARTIGO 3

Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas e entalpias ideais para frangos de corte em cada fase de vida.....	108
Tabela 2 - Combinações das curvas de pertinência nas variáveis de entrada e saída.....	109
Tabela 3 - Valores médios de entrada e saída coletados nos experimentos e utilizados nos modelos <i>fuzzy</i>	111
Tabela 4 - Desvios-padrão médios e erros percentuais médios (entre parênteses) entre os valores medidos e simulados de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g ⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP, adimensional) para as diferentes curvas de pertinência utilizadas.	114

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

CR	Consumo de ração (g)
GP	Ganho de peso (g)
CA	Conversão alimentar (g g^{-1})
t_{bs}	Temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$)
UR	Umidade relativa do ar (%)
W	Razão de mistura ($\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$)
H	Entalpia ($\text{kJ kg de ar seco}^{-1}$)
ea	Pressão atual de vapor d'água (KPa)
P_{atm}	Pressão atmosférica do local (KPa)
IEP	Índice de eficiência produtiva (adimensional)
P	Peso vivo das aves (kg)
V	Viabilidade (%)
I	Idade das aves (dias)

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	21
1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivo geral.....	23
2.2	Objetivos específicos.....	23
3	REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1	Ambiente de produção	25
3.2	Sistemas de produção	29
3.2	Respostas produtivas.....	31
3.3	O modelo <i>fuzzy</i>	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	39
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	47
	ARTIGO 1 Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção – Parte I: Modelagem <i>fuzzy</i>	47
	ARTIGO 2 Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção – Parte II: Impacto das mudanças climáticas.....	75
	ARTIGO 3 Efeito dos tipos de curvas de pertinência na modelagem <i>fuzzy</i> das respostas produtivas de frangos de corte.....	97

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A produção de frangos de corte tem crescido nas últimas décadas, assim como o investimento em novas metodologias e tecnologias que possam otimizar a produtividade e qualidade do produto final, a fim de se aumentar a competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor. Dessa forma, tem-se buscado constantemente o conhecimento dos parâmetros que afetam essa atividade para que se obtenha a máxima produtividade de carne com o menor custo.

O ambiente de produção é um dos principais causadores de perdas na produção animal em escala agroindustrial, pois os frangos de corte são classificados como animais homeotérmicos, sendo capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos, por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais. Quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto, a energia usada para a produção de carne é dispendida nos processos termorregulatórios, ocasionando perdas produtivas (BARBOSA FILHO; VIEIRA; SILVA, 2009; LARA; ROSTAGNO, 2013; MENEGALI et al., 2009).

Nesse contexto, a manutenção do ambiente térmico dentro de intervalos de conforto é primordial para que todo o potencial genético da linhagem seja explorado. Para tanto, o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) de controle do ambiente, que possam ser embarcados em microcontroladores, torna-se necessário. Entre os possíveis modelos a serem desenvolvidos, aqueles baseados em inteligência artificial, especificamente na metodologia *fuzzy* tem se mostrado bastante adequados (CAMPOS et al., 2013; CASTRO et al., 2012; FERRAZ et al., 2014; JULIO et al., 2015; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015;

NASCIMENTO et al., 2011; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015; ZARE MEHRJERDI et al., 2015).

Segundo Simões (1999) a lógica *fuzzy* é considerada uma técnica que associa a natureza humana de pensar quando utilizada para controlar um sistema. A metodologia *fuzzy* tem demonstrado boa eficiência quando aplicada para auxiliar na tomada de decisões que se caracterizam pela presença de incerteza nas afirmações de “sim” e “não” (FERREIRA et al., 2010).

Contudo, até então os trabalhos são realizados individualmente em cada sistema de produção ou realizados em laboratórios onde as condições ambientais são controladas. Sendo assim, as modelagens *fuzzy* realizadas nessas condições não foram desenvolvidas e testadas por meio de uma base de dados abrangente em condições comerciais de produção, considerando diversos sistemas de produção e lotes de animais. Entre os sistemas de produção de frangos de corte existentes, destaca-se o sistema convencional, o sistema de pressão negativa e o sistema *dark house*. Esses sistemas compreendem os diversos níveis tecnológicos disponíveis para o empreendedor rural.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar e modelar matematicamente com base na teoria *fuzzy* o desempenho produtivo de frangos de corte criados em diferentes sistemas de confinamentos comerciais.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho produtivo (ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar) de frangos de corte criados em diferentes sistemas de confinamento comerciais.
- Desenvolver e validar um modelo matemático baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* para predição do desempenho de frangos de corte criados em diferentes sistemas de confinamentos comerciais.
- Testar diferentes curvas de pertinência nas variáveis de entrada e saída dos modelos *fuzzy* desenvolvidos para a predição do desempenho produtivo de frangos de corte criados em diferentes sistemas de confinamentos comerciais, avaliando qual melhor se adequa aos dados experimentais.
- Avaliar o desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes sistemas comerciais de produção em cenários futuros considerando a tendência de mudanças climáticas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ambiente de produção

Segundo Baêta e Souza (2010), o ambiente de produção é definido como o conjunto de todos os fatores que afetam direta ou indiretamente os animais, com exceção da alimentação e de patógenos.

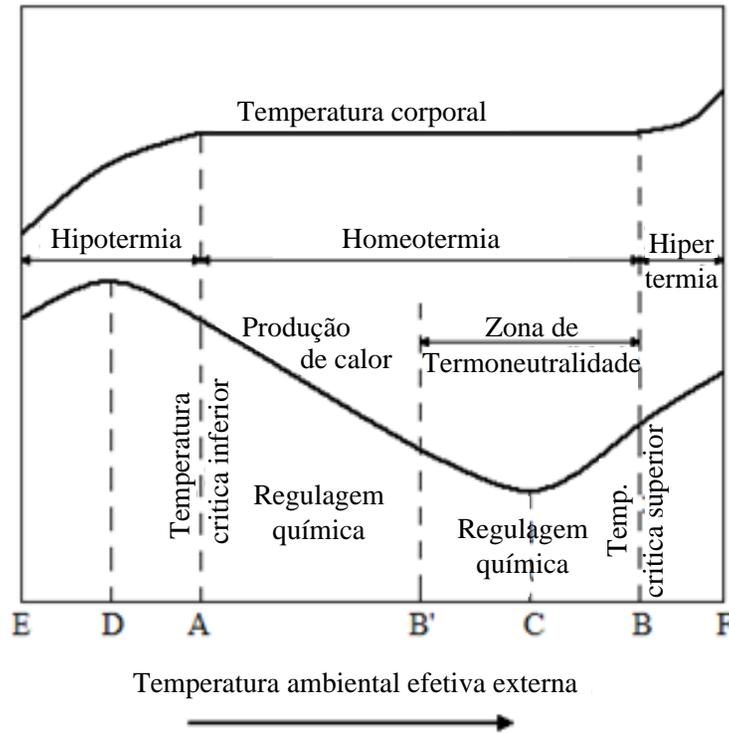
Diversos autores enfatizam que o ambiente de produção é de fundamental importância para avicultura de corte. A criação intensiva adotada nos galpões comerciais influencia diretamente o conforto e bem-estar animal, promovendo dificuldade na manutenção do balanço térmico no interior das instalações e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando o desempenho produtivo e à saúde das aves (BARACHO et al., 2013; CORDEIRO et al., 2010; NAZARENO et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2009).

Os frangos de corte são animais homeotérmicos e requerem para o desempenho máximo das suas potencialidades genéticas de condições ambientais de conforto térmico para manutenção do seu meio interno e do controle homeostático que regula a temperatura corporal (CASSUCE, 2011).

Segundo Abreu et al. (2012) e Yanagi Júnior et al. (2011), para que os animais expressem todo o seu potencial genético deve-se garantir a alimentação com nível nutricional adequado, ambiente asséptico e termicamente ajustado às necessidades dos frangos de corte.

Esmay (1974) desenvolveu um gráfico (Figura 1) que mostra a variação das respostas da ave em função dos parâmetros ambientais, sendo que a zona de termoneutralidade, ou zona de conforto térmico para as aves é a faixa de temperatura ambiente em que a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menor gasto energético pela ave.

Figura 1 - Comportamento da produção de calor e temperatura corporal de uma ave adulta em função da temperatura ambiental efetiva externa.



Fonte: Adaptado de Esmay (1974).

Vários autores tentam estabelecer temperaturas ideais para o ambiente de criação de frangos de corte (Tabela 1), essas temperaturas estão divididas em limites superior e inferior caracterizadas por diferentes idades das aves.

Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.

Período (Semana)	Limites de temperatura do ar (°C)
Primeira	32 – 34
Segunda	28 – 32
Terceira	26 – 28
Quarta	24 – 26
Quinta	18 – 24
Sexta	18 – 24

Fonte: Adaptado de Cândido et al. (2016), Cassuce (2011) e Medeiros, Baêta e Oliveira (2005).

Com relação à umidade relativa do ar e à velocidade do ar, Ferreira (2005) descreve que essas podem oscilar entre 40 a 80% e entre 0,2 a 3,0 m s⁻¹, respectivamente.

Diversos autores mostraram que o desconforto térmico em frangos de corte provoca uma série de consequências, como queda no consumo de ração, maior consumo de água, menor taxa de crescimento, aceleração do ritmo cardíaco e alteração da conversão alimentar (JÁCOME et al., 2007; SILVA et al., 2005; TINÔCO, 2001).

Diversos autores mostraram o efeito atenuante da ventilação sobre o desconforto térmico por calor para frangos de corte (LOPES, 1986; MEDEIROS, 2001), aumentando-se a velocidade do ar, aumenta-se a região de máxima produção e a região de conforto térmico para os frangos de corte.

A ventilação adequada dentro de uma instalação deve permitir a renovação do ar contaminado, favorecer a entrada de ar puro e reduzir o excesso de calor existente. O movimento de ar também, sobre a superfície corporal das aves, facilita a perda de calor do animal para o ambiente por processos

convectivos, sendo este, o processo de maior eficiência quando se trata de condições com altas temperaturas associadas a altas umidades relativas do ar.

A temperatura, a umidade, o movimento do ar e a radiação são fatores ambientais que influenciam muito no conforto térmico ambiental (BUFFINGTON et al., 1981; GARCIA et al., 2012). Entretanto, a utilização isolada desses fatores não permite caracterizar adequadamente o ambiente térmico. Dessa forma, têm-se proposto a utilização de índices térmicos ambientais ou grandezas físicas para caracterizar o ambiente térmico dentro do aviário, como a entalpia (H).

Com relação aos índices térmicos ambientais, pode-se citar o índice de temperatura e umidade - ITU (THOM, 1959), índice de temperatura do globo negro e umidade - ITGU (BUFFINGTON et al., 1981) e o índice de temperatura, umidade e velocidade do ar - ITUV (TAO; XIN, 2003).

A entalpia é uma grandeza física que indica a quantidade de energia (expressa em kJ kg^{-1} de ar seco), contida em uma mistura de vapor-d'água. Portanto, na mudança de temperatura para umidade relativa constante, ou vice-versa, há alteração da energia envolvida no processo, afetando a troca térmica. A entalpia é considerada por Rodrigues et al. (2010), a melhor forma de se avaliar o nível de conforto térmico, pois quantifica a energia do ar, que é a combinação entre as condições de temperatura e umidade relativa. Um animal criado em condições térmicas de altas temperaturas dispense maior quantidade de energia para ajustar seu metabolismo e temperatura corporal, o que pode levá-lo a uma considerável queda na produção.

Segundo Rodrigues et al. (2010), a condição considerando temperatura, umidade relativa e pressão barométrica local da equação 1, desenvolvida originalmente por Albright (1990), para determinar os valores de entalpia, apresenta melhores resultados por não ser limitada a um determinado tipo de ambiente.

$$H = 1,006 t_{bs} + W (2501 + 1,805 t_{bs}) \quad (1)$$

sendo,

H = entalpia ($\text{kJ kg de ar seco}^{-1}$);

t_{bs} = temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$);

W = razão de mistura ($\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$).

Por sua vez, a razão de mistura pode ser calculada pela equação 2.

$$W = 0,622 (ea / P_{\text{atm}}) \quad (2)$$

em que,

ea = pressão atual de vapor-d'água (kPa);

P_{atm} = pressão atmosférica do local (kPa).

3.2 Sistemas de produção

Abreu e Abreu (2011) descrevem que a introdução de diferentes tecnologias e adaptações nos aviários levaram ao surgimento de diferentes sistemas produtivos de frangos. Segundo Franca et al. (2007), o estudo de características como a inclinação do telhado, tipo de cobertura, pé direito, forro, pintura, dimensões do aviário, sistemas mecânicos e o entorno da edificação podem ser aplicados de forma adequada para solucionar os problemas do bioclima em caráter permanente.

De acordo com Abreu e Abreu (2011) e Curi (2014), as instalações podem variar quanto ao uso de ventiladores ou exaustores, às entradas de ar, ao tipo de resfriamento evaporativo, ao material isolante, à cobertura, ao forro e ao material da cama. Os exaustores podem ser localizados na face frontal e/ou

lateral do aviário. O resfriamento evaporativo pode ser realizado por meio de nebulização e/ou painel evaporativo (placas de celulose, placas de argila expandida ou tijolo cerâmico inclinado). As entradas de ar podem ou não conter painéis de resfriamento evaporativo e devem ser localizadas na face oposta à dos exaustores. O material usado para o isolamento lateral do aviário pode ser constituído de cortinas de polietileno na cor branca ou prata na face externa e preta na face interna para o sistema *dark house*; na cor branca ou prata na face externa e azul na face interna para o sistema *blue house*; cortinas de ráfia amarela, azul ou branca para o sistema convencional e pressão negativa; entre outros.

Ainda segundo estes autores, o telhado pode ser construído com telhas cerâmicas, de fibrocimento, de alumínio e sanduíche com material isolante entre as faces, além das diferentes inclinações. Pode haver forro de polietileno ou ráfia (materiais idênticos aos usados na cortina) com diferentes espessuras resultando em diferentes isolamentos. Com relação aos materiais usados na cama de frango, pode-se citar a maravalha, a casca de café, a casca de arroz, o bagaço de cana, a areia, entre outros.

Entre os diferentes sistemas de produção de frangos de corte, pode-se destacar o convencional, pressão negativa e *dark house*. O convencional é um sistema onde se utiliza a ventilação natural por meio da abertura das cortinas em conjunto com o uso de ventiladores. Os ventiladores podem ser dispostos no sentido longitudinal ou transversal, voltados para dentro do aviário, possuindo duas formas distintas: fluxo de ar transversal com as cortinas laterais abertas ou fluxo de ar longitudinal com cortinas laterais abertas ou fechadas. Quando as cortinas laterais se encontram fechadas, esse modo de ventilação é também conhecido como sistema de ventilação tipo túnel (ABREU; ABREU, 2000).

Para o sistema de pressão negativa, o aviário fica com as cortinas laterais fechadas, de um lado são instalados exaustores e do outro lado fica

aberto para entrada do ar, podendo ou não ser instaladas placas de resfriamento evaporativo. Nesse processo o ar é forçado por meio de exaustores de dentro para fora do aviário, criando um vácuo parcial dentro da instalação. Os ventiladores podem ser posicionados no sentido longitudinal ou transversal, voltados para fora em uma das extremidades do aviário e, na outra extremidade são dispostas aberturas para entrada do ar (ABREU; ABREU, 2000). Segundo estes mesmos autores, os exaustores devem possibilitar uma renovação de ar do interior do aviário a cada minuto a uma velocidade de 2 a 2,5 m s⁻¹, sendo sua eficiência dependente de uma boa vedação do aviário, evitando perdas de ar.

No sistema *dark house*, o aviário fica totalmente vedado, inclusive para entrada de luminosidade, permitindo maior densidade de frangos por metro quadrado de galpão (GALLO, 2009). Em uma extremidade é instalado os exaustores e na outra as placas de resfriamento evaporativo, nele, além de serem controladas a temperatura e umidade relativa, também se controla artificialmente a luminosidade, de acordo com a idade da ave. Gallo (2009) descreve um melhor ganho de peso diário e menor taxa de conversão alimentar em frangos de corte criados no sistema *dark house*.

3.2 Respostas produtivas

A avaliação do desempenho produtivo dos frangos é realizada por meio dos índices zootécnicos, tais como: consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar (ABREU; BAETA; ABREU, 2000).

A influência das condições ambientais na produtividade pode ser avaliada por meio desses índices, tornando-se possível determinar ganhos ou perdas produtivas, quando os animais estão submetidos a estresse por baixas ou altas temperaturas.

Os índices zootécnicos devem ser mensurados e comparados com valores medidos com os frangos criados em condições de conforto, a fim de que se possam verificar possíveis perdas na produção. O potencial genético está diretamente associado aos parâmetros de desempenho, ou seja, para cada linhagem existem metas de desempenho e rendimento. A linhagem *Cobb* fornece uma tabela internacional especificando as metas para os frangos de corte da respectiva linhagem (Tabela 2).

Tabela 2 - Metas de desempenho para frangos de corte da linhagem *Cobb*, criados em condições de conforto para frangos de corte machos.

Semana de vida	Ganho de peso acumulado (g)	Conversão alimentar acumulada (g g ⁻¹)	Consumo de ração acumulado (g)
Primeira	144	0,898	167
Segunda	428	1,162	546
Terceira	929	1,265	1228
Quarta	1543	1,402	2222
Quinta	2257	1,531	3520
Sexta	3002	1,667	5073

Fonte: Cobb-Vantress (2015).

Em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2006), submetendo frangos de cortes a diferentes temperaturas e umidades relativas do ar, observaram que as altas temperaturas afetam o desempenho dos frangos e o aumento da umidade relativa intensifica a redução da produtividade.

Segundo Tinôco (2001), a redução no desempenho de frangos de corte submetidos a estresse por altas temperaturas, está associada ao menor consumo de ração, pois facilita o controle da homeotermia. Por sua vez, frangos de corte em crescimento ou adultos submetidos a estresse térmico por baixas temperaturas modificam o seu comportamento, o qual afeta suas funções

fisiológicas e metabólicas, prejudicando o desempenho e, conseqüentemente, a produtividade (CASSUCE, 2011).

3.3 O modelo *fuzzy*

Segundo Ferreira et al. (2010), os sistemas *fuzzy*, baseados na lógica *fuzzy* ou logica nebulosa, são sistemas capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional. Esse sistema é constituído por variáveis de entrada e saída (OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; SCHIASSI et al., 2008). Para cada variável, são atribuídos conjuntos *fuzzy* que as caracterizam, sendo que, para cada conjunto *fuzzy*, é criada uma função de pertinência, ou seja, o quanto um elemento pertence a um conjunto. Segundo Melo (2009), a teoria dos conjuntos *fuzzy* permite escolher um valor real arbitrário de pertinência entre 0 e 1, enquanto nos conjuntos clássicos deve-se decidir o grau de pertinência 0 ou 1.

Para realização da técnica dos conjuntos *fuzzy*, as variáveis de entrada precisam sofrer uma fuzzificação, ou seja, um processo que traduz as variáveis de entrada do sistema em conjuntos *fuzzy* em seus respectivos domínios, por meio de especialistas ou de uma base de dados. As variáveis e suas classificações linguísticas são catalogadas e modeladas em conjuntos *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2006).

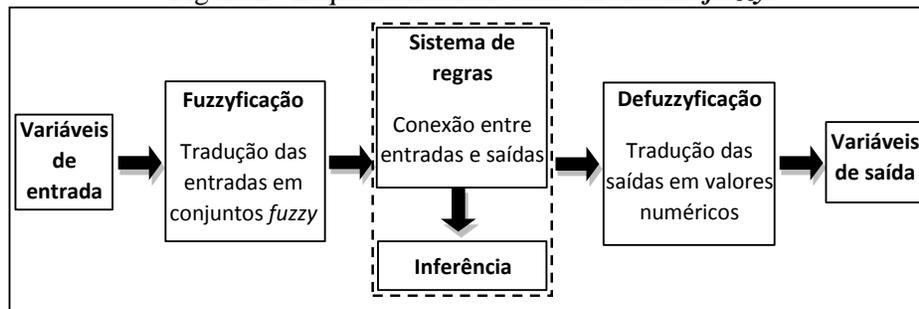
Em seguida, é realizada a inferência *fuzzy*, que consiste na realização do raciocínio *fuzzy* com base num sistema de regras que relaciona as variáveis de entrada com as de saída. O sistema de regras pode ser construído com base em bancos de dados e opiniões de especialistas. Cada regra é composta por conectivos lógicos (se, e, ou, então), como, por exemplo,

Regra: SE x é A E y é B ENTÃO z é C

em que, A, B e C são conjuntos *fuzzy* (OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; SCHIASSI et al., 2008).

E, por último, ocorre a defuzzificação, que é a tradução da saída num valor numérico real (MENDEL, 1995). Alguns dos métodos que podem ser utilizados são o método da média dos máximos, do primeiro dos máximos, do último dos máximos e do centro de massa ou centroide, sendo este último um dos mais utilizados. Na defuzzificação pelo centroide o valor numérico obtido representa o centro de gravidade da distribuição de possibilidade de saída do sistema *fuzzy*. A Figura 2 representa o esquema ilustrativo de um sistema *fuzzy*.

Figura 2 - Esquema ilustrativo de um sistema *fuzzy*.



Fonte: Adaptado de Schiassi (2013).

Segundo Mendel (1995), para o desenvolvimento computacional de um sistema *fuzzy* pode-se utilizar um *software* capaz de realizar todos os procedimentos necessários à sua construção. Entretanto, um modelo *fuzzy* pode ser desenvolvido diretamente em uma linguagem de programação qualquer, proporcionando assim, maior portabilidade, uma vez que a partir de um arquivo

executável, poder-se-á implantar o modelo em qualquer computador ou microprocessador (sistema embarcado).

Segundo Amendola, Mollo Neto e Cruz (2005) a versatilidade da utilização da teoria dos conjuntos *fuzzy* é a possibilidade de se modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) ao caracterizar os processos estudados.

A ideia central da teoria dos conjuntos *fuzzy*, segundo Castanho et al. (2004) é a pertinência gradual de elementos a um conjunto. No caso clássico há somente dois graus de pertinência, ou o elemento pertence ao conjunto ou não, já no *fuzzy*, um elemento pode pertencer parcialmente ao conjunto, com um grau de pertinência que pode ser modelado em função de curvas denominadas trapezoidais, triangulares, gaussianas, entre outras.

Na área de ambiência e produção animal, existem diversas aplicações reportadas pela literatura, dentre elas, destaca-se os trabalhos realizados por Amendola, Mollo Neto e Cruz. (2005), Brunassi (2008), Cadenas et al. (2004), Campos et al. (2013), Castro et al. (2012), Ferraz et al. (2014), Ferreira et al. (2007), Gates, Chao e Sigrimis (2001), Julio et al. (2015), Nascimento et al. (2011), Pandorfi et al. (2007), Pereira et al. (2008), Perissinotto et al. (2009), Ponciano et al. (2012), Queiroz, Nääs e Sampaio (2005), Santos et al. (2009), Schiassi et al. (2008, 2015), Tolon et al. (2010), Yanagi Junior et al. (2006).

A lógica *fuzzy* pode ser aplicada para estimar o conforto térmico de frangos de corte em função de sua temperatura superficial, temperatura da pele e do empenamento (NASCIMENTO et al., 2011). Também pode ser aplicada para prever, de forma satisfatória, a temperatura cloacal com base nas variáveis climáticas em que os animais estão submetidos (FERREIRA et al., 2012).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, verificou-se o crescimento na produção de frangos de corte, assim como o investimento em novas metodologias e tecnologias que possam otimizar a produtividade e qualidade do produto final, a fim de se aumentar a competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor. Dessa forma, tem-se buscado de forma constante o conhecimento dos parâmetros que afetam essa atividade para que se obtenha a máxima produtividade de carne com o menor custo. Entre eles, os diferentes sistemas de criação que visam um maior conforto térmico para os frangos de corte.

Nesse contexto, a proposição de modelos com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, avaliando os diversos tipos de curvas de pertinência que a compõe, para predição do desempenho de frangos de corte em função do ambiente térmico pode auxiliar na tomada de decisão em relação ao uso de sistemas de acondicionamento térmico do ambiente de criação. Ademais, esses modelos poderão ser embarcados, no futuro, em controladores de sistemas de aquecimento, ventilação e resfriamento evaporativo a fim de se propiciar melhores condições de bem-estar aos frangos de corte criados em condições comerciais.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Ventilação na avicultura de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 50 p. (Documentos, 63).

ABREU, P. G.; BAETA, F. C.; ABREU, V. M. N. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 159-167, 2000.

ABREU, P. G. et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 795-801, jul. 2012.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-14, 2011. (Supl. especial).

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453 p. (Textbook, 4).

AMENDOLA, M.; MOLLO NETO, M.; CRUZ, V. F. Using fuzzy sets to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Biomatemática**, Campinas, n. 15, p. 29-40, 2005.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2010. 269 p.

BARACHO, M. S. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 12, p. 2442-2446, dez. 2009.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006. 354 p.

BRUNASSI, L. A. **Desenvolvimento de um sistema fuzzy para detecção de estro em rebanhos leiteiros**. 2008. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, Campinas, 2008.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.

CADENAS, J. M. et al. Application of Fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 158, n. 1, p. 218-228, Oct. 2004.

CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, p. 1079-1089, 2013.

CÂNDIDO, M. G. et al. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 760-767, 2016.

CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico de frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. 2011. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CASTANHO, M. J. P. et al. Avaliação de um teste em medicina usando uma curva *ROC fuzzy*. **Biomatemática**, Campinas, v. 14, p. 19-28, 2004.

CASTRO, J. O. et al. Estimate of the weight of Japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 108-116, 2012.

COBB. **Suplemento de nutrição e desempenho do frango de corte: Cobb-Vantress USA**. 2015. 14 p. Disponível em: <http://www.cobb-vantress.com/languages/guidefiles/fa217990-20c9-4ab1-a54e-3bd02d974594_pt.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 217-224, jan. 2010.

CURI, T. M. R. C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens**. 2014. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2014.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2nd ed. West port: AVI, 1974. 325 p.

FERRAZ, P. F. P. et al. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 559-568, 2014.

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

FERREIRA, L. et al. Desenvolvimento de uma rede neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. **RITA**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 221-233, 2010.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows. **Agricultural Engineering International**, Beijing, v. 9, p. 1-16, 2007.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 317 p.

FRANCA, M. L. et al. Diagnóstico bioclimático para aves de corte no município de campina grande - PB. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília, v. 22, p. 53-56, 2007.

GALLO, B. B. Dark House: manejo x desempenho frente ao sistema tradicional. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 10, 2009, Chapecó. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009. 140 p.

GARCIA, R. G. et al. Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 71-158, Apr./June 2012.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Bornsesteeg, v. 31, n. 1, p. 61-74, 2001.

JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 527-531, 2007.

JULIO, Y. F. H. et al. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellin, v. 28, p. 42-53, 2015.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impacto do estresse térmico sobre a produção de aves. **Animals**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 356-369, 2013.

LOPES, S. P. **Estudo de galpões para a criação de frangos de corte, do ponto de vista higrotérmico, nas condições climáticas brasileiras**. 1986. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

MEDEIROS, C. M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 1, p. 277-286, 2005.

MELO, G. J. A. **Princípios de extensão de Zadeh aplicado a funções não monótonas com dois parâmetros fuzzy**. 2009. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of IEEE**, Washington, n. 83, p. 345-377, Mar. 1995.

MENEGALI, I. et al. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 984-990, nov./dez. 2009.

MIRZAEI-GHALEHV, E. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 110, p. 187-195, 2015.

NASCIMENTO, G. R. et al. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 219-229, abr. 2011.

NAZARENO, A. C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 802-808, nov./dez. 2009.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, maio/ago. 2005.

OLIVEIRA, R. F. M. 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**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, jan./abr. 2007.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, out./dez. 2008.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, ago. 2009.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 446-458, jun. 2012.

QUEIROZ, M.; NÄÄS, I. A.; SAMPAIO, C. Estimating thermal comfort of piglets considering ammonia concentration. **Agricultural Engineering International**, Beijing, v. 3, 2005.

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, Berlim, v. 55, n. 3, p. 455-459, July 2010.

SANTOS, R. C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-6, ago. 2009.

SCHIASSI, L. **Desempenho e comportamento de frangos de corte em túneis de vento climatizados**. 2013. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 181-191, abr/jun. 2008.

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

SILVA, J. H. V. et al. Efeito do bebedouro e da densidade de alojamento no desempenho de frangos de corte em alta temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 636-641, 2005.

SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: E. Blücher, 1999. 165 p.

TAO, X.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, Washington, v. 46, n. 2, p. 491-497, 2003.

TEIXEIRA, E. N. M. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 314-322, fev. 2009.

THOM, E. The discomfort index. **Weatherwise**, Washington, v.12, n. 1, p. 57-60, 1959.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, p. 1-26, 2001.

TOLON, Y. B. et al. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2010.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2011.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

ZARE MEHRJERDI, M. R. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. *Journal of Livestock Science and Technologies*, **Foulum**, v. 3, n. 1, p. 34-40, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção – Parte I: Modelagem *fuzzy*

Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola

**RESPOSTAS PRODUTIVAS DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM
DIFERENTES SISTEMAS COMERCIAIS DE PRODUÇÃO – PARTE I:
MODELAGEM FUZZY**

RESUMO: Objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um modelo *fuzzy* para a predição do desempenho produtivo de frangos de corte em função do ambiente térmico nas diversas fases de criação. Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* foram usados os métodos de inferência de Mandani e de defuzzificação por meio do centro de gravidade. Duzentos e quarenta e três regras com fator de ponderação igual a 1,0 foram elaboradas. Para o teste do modelo, três galpões comerciais (sistema convencional, túnel de vento com pressão negativa e *dark house*) foram avaliados, sendo registrados os dados do ambiente térmico (temperatura de bulbo seco - t_{bs} e umidade relativa - UR) e de produtividade (consumo de ração - CR, ganho de peso – GP, conversão alimentar – CA e índice de eficiência produtiva - IEP) ao longo de seis lotes em cada aviário. O modelo *fuzzy* desenvolvido foi capaz de predizer o CR, GP, CA e IEP com desvios-padrões e erros percentuais médios de 4,16 g e 5,05 %, 146,53 g e 8,04 %, 0,06 g g⁻¹ e 4,96 %, e 24,51 e 12,29 %, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência artificial, lógica *fuzzy*, avicultura de corte, desempenho produtivo.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da avicultura brasileira tem obtido suporte na adoção de novas metodologias e tecnologias que buscam a otimização da produção animal, permitindo o aumento da competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor.

O ambiente de produção é um dos principais causadores de perdas na produção animal em escala comercial. Para que os animais expressem o seu potencial genético dever-se-á, entre outras exigências, fornecer alimentação adequada, ambiente asséptico e termicamente ajustado às necessidades dos frangos (YANAGI JUNIOR et al., 2011; ABREU et al., 2012; ALMEIDA & PASSINI, 2013; CAMPOS et al., 2013b; NASCIMENTO et al., 2014; TINÔCO et al., 2014).

Os frangos de corte são classificados como animais homeotérmicos, sendo capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos, por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais. Entretanto, quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto, a energia usada para a produção de carne é dispendida nos processos termorregulatórios, ocasionando perdas produtivas (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; LARA & ROSTAGNO, 2013; CASTRO, 2014; SANTOS et al., 2014).

Nesse contexto, a manutenção do ambiente térmico dentro de intervalos de conforto é primordial para que o potencial genético da linhagem seja alcançado. Para tanto, o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) de controle do ambiente, que possam ser embarcados em microcontroladores, torna-se necessário. Entre os possíveis modelos a serem desenvolvidos, aqueles baseados em inteligência artificial, especificamente na teoria dos conjuntos *fuzzy* têm se mostrado bastante adequados em pesquisas de conforto animal (GATES & CHAO, 2001; CASTRO et al., 2012; PONCIANO et al., 2012; CAMPOS et

al., 2013a; ABORISADE & STEPHEN, 2014; FERRAZ et al., 2014; XIANG-JIE, 2014; JULIO et al., 2015; MIRZAEI-GHALEHV et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; ZARE MEHRJERDI et al., 2015).

Contudo, poucos modelos *fuzzy* têm sido desenvolvidos ou validados com base em dados obtidos em condições comerciais de produção e quando são, geralmente, os dados são advindos, geralmente, de um único lote e sistema de criação.

Nesse contexto, objetivou-se com a presente pesquisa, desenvolver um modelo *fuzzy* para predição do desempenho produtivo de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Detalhamento dos sistemas produtivos

Para o desenvolvimento e teste do modelo *fuzzy*, três aviários comerciais (convencional, túnel com pressão negativa e *dark house*) para a criação de frangos de corte foram avaliados durante 12 meses. Os aviários estão localizados no município de Concórdia – SC, cujo clima da região é classificado como Cfa, de acordo com a classificação de KÖPPEN (PEEL et al., 2007), clima temperado úmido com verão quente.

O aviário no sistema convencional (Figura 1) possuía dimensões de 12 x 100 x 2,4 m (largura, comprimento e pé-direito), cobertura em duas águas com telhas de cimento amianto com 6 mm de espessura orientada no sentido Leste-Oeste, muretas laterais de 0,45 m de altura, forro e cortinas laterais na cor amarela. O aviário possuía 2 linhas de iluminação com 16 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W cada, totalizando 32 lâmpadas. O aquecimento dos pintinhos nas fases iniciais era feito por meio de tambor a lenha e campânulas a gás. O aviário era equipado com ventilação cruzada (pressão positiva) com 10 ventiladores e 4 linhas com 10 nebulizadores cada, distribuídas

longitudinalmente no aviário, totalizando 40 emissores de água. A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

Os ventiladores possuíam motor de indução monofásico com potência de 0,5 CV e vazão entre 240 a 280 m³ min⁻¹ (ventilador 3 pás). O acionamento ocorria em três estágios: estágio 1 (4 ventiladores); estágio 2 (8 ventiladores) e estágio 3 (10 ventiladores). O estágio 1 era ligado com temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) de 27,0 °C, o estágio 2 era ligado com 27,2 °C e o estágio 3 era ligado com 27,5 °C. Os nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm⁻²) possuíam vazão de 6,5 L h⁻¹, sendo que, o sistema moto bomba trifásico possuía 7 CV de potência. Os nebulizadores eram acionados quando a umidade relativa do ar (UR) era menor que 70%.

O programa de luz adotado foi: do 1º ao 3º dia (24 horas de luz), do 4º ao 7º dia (22 horas de luz), 8º ao 21º dia (20 horas de luz) e do 22º dia até o abate (16 horas de luz). Água e ração eram fornecidas *ad libitum* e o manejo das cortinas era realizado de acordo com as condições climáticas.

Figura 1 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe do ventilador no aviário sistema convencional.



Fonte: Do autor (2017).

O aviário no sistema pressão negativa (Figura 2) possuía dimensões de 12 x 100 x 2,4 m (largura, comprimento e pé-direito), cobertura em duas águas com telhas cerâmicas tipo francesa orientada no sentido Leste-Oeste, muretas

laterais de 0,43 m de altura, forro e cortinas laterais na cor amarela. O aviário possuía 2 linhas de iluminação com 16 lâmpadas fluorescentes compactas de 25W cada, totalizando 32 lâmpadas. O aquecimento dos frangos nas fases iniciais era feito com campânulas a gás. O aviário era equipado com ventilação em modo túnel (pressão negativa) com 8 exaustores e 8 linhas com 8 nebulizadores distribuídos paralelamente à largura do aviário, totalizando 64 emissores de água. A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

Os exaustores possuíam 3 pás, diâmetro de 1,80 m, motor de indução monofásico, potência de 1 CV e vazão entre 441 a 564 m³ min⁻¹. O acionamento ocorria em quatro estágios: estágio 1 (2 exaustores); estágio 2 (4 exaustores); estágio 3 (6 exaustores) e estágio 4 (8 exaustores). O estágio 1 correspondia à condição de ventilação mínima, permanecendo sempre ligado, o estágio 2 ligava com $t_{bs} \geq 28$ °C, o estágio 3 com $t_{bs} \geq 29$ °C e estágio 4 com $t_{bs} \geq 30$ °C. Nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm⁻²), com vazão de 6,5 L h⁻¹ e sistema moto-bomba de 2 CV bifásico foram usados. Os nebulizadores eram acionados com $t_{bs} \geq 31$ °C.

O programa de luz adotado foi: do 1° ao 2° dia (24 horas de luz), do 3° ao 7° dia (23 horas de luz), 8° ao 35° dia (14 horas de luz) e do 36° dia até o abate (22 horas de luz). Água e ração eram fornecidas *ad libitum* e as cortinas ficavam sempre fechadas.

Figura 2 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe dos exaustores no aviário sistema Pressão Negativa.



Fonte: Do autor (2017).

O aviário no sistema *dark house* (Figura 3) possuía dimensões de 12 x 100 x 2,2 m (largura, comprimento e pé-direito), cobertura de telhas cerâmicas tipo francesa em duas águas orientada no sentido Leste-Oeste, muretas laterais de 0,45 m de altura e cortinas laterais na cor preta na face interna e prata na face externa. O aviário estava equipado com 2 linhas de iluminação com 20 lâmpadas incandescentes de 100W cada, totalizando 40 lâmpadas. O aquecimento dos frangos na fase inicial era feito com sistema de fornalha a lenha. O aviário estava equipado com ventilação em modo túnel (pressão negativa) com 8 exaustores, 8 linhas com 8 nebulizadores distribuídos paralelamente à largura do aviário, totalizando 64 emissores de água e sistema de resfriamento evaporativo do tipo placa de tijolo umedecido, com 2 placas de 15 m de comprimento cada e 3 linhas com 18 nebulizadores distribuídos externamente na placa de tijolo (totalizando 54 emissores de água). A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

Exaustores de 3 pás, diâmetro de 1,80 m, motor de indução trifásico, potência de 1 CV e vazão entre 441 a 564 m³ min⁻¹ foram usados. O acionamento ocorreu em quatro estágios: estágio 1 (2 exaustores); estágio 2 (4 exaustores); estágio 3 (6 exaustores) e estágio 4 (8 exaustores). O estágio 1 correspondia à ventilação mínima ($t_{bs} \leq 22$ °C), os estágios 2, 3 e 4 eram

acionados com t_{bs} igual a 23 °C, 24 °C e 25 °C, respectivamente. Nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm⁻²), com vazão de 6,5 L h⁻¹ e sistema moto-bomba de 7 CV trifásico foram usados. As placas evaporativas e os nebulizadores eram acionados com UR menores que 70% e 65%, respectivamente.

O programa de luz adotado foi: do 1° ao 3° dia (24 horas de luz), do 4° ao 21° dia (10 horas de luz), do 22° ao 35° dia (8 horas de luz) e do 36° dia até o abate (22 horas de luz). Água e ração eram fornecidas à vontade (*ad libitum*) e as cortinas sempre fechadas.

Figura 3 - Visão (A) interna, (B) externa e (C) detalhe dos exaustores no aviário sistema *dark house*.



Fonte: Do autor (2017).

Animais e medições

Em cada aviário, foram criados 6 lotes de frangos de corte da linhagem Cobb. As densidades de alojamento das aves nos aviários com sistemas convencional, pressão negativa e *dark house* foram de 12,00 a 12,92 aves m⁻², 12,83 a 14,00 aves m⁻² e 14,50 a 15,58 aves m⁻², respectivamente. As variáveis avaliadas foram as térmicas e as respostas produtivas dos frangos.

O ambiente térmico foi avaliado por meio da média das variáveis t_{bs} (HOMIS 404A, precisão de $\pm 0,5$ °C e resolução de 0,1°C), e UR (HOMIS 404A, precisão de $\pm 2,5\%$ e resolução de 0,1%), coletadas em 12 pontos distribuídos uniformemente no interior do aviário e um ponto externo, à altura

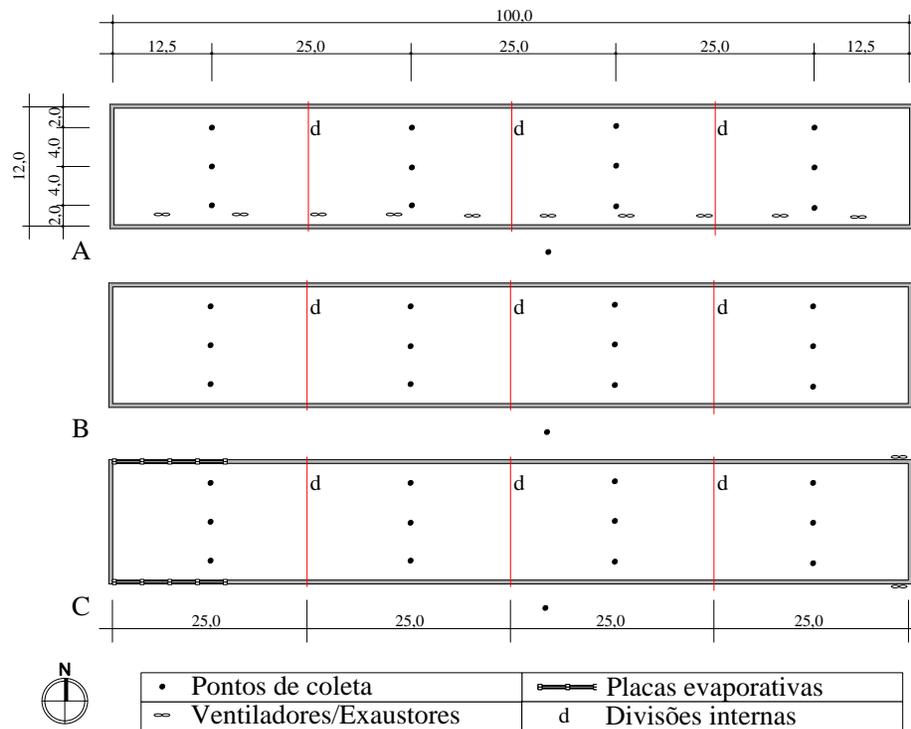
das aves (30 cm da cama), com variáveis coletadas a cada 2 horas por seis lotes consecutivos (Figura 4). Além da t_{bs} e UR o ambiente no interior foi caracterizado por meio da entalpia (H), calculada empregando-se a equação 1 (ALBRIGHT, 1990) utilizando os dados médios coletados nos 12 pontos.

$$H = 1,006 t_{bs} + W (2501 + 1,805 t_{bs}) \quad (1)$$

sendo, H a entalpia ($\text{kJ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$), t_{bs} a temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$) e W a razão de mistura ($\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$). Por sua vez, a razão de mistura foi calculada pela equação 2 em função da pressão atual de vapor d'água (ea, kPa) e pressão atmosférica do local (P_{atm} , kPa).

$$W = 0,622 (ea / P_{\text{atm}}) \quad (2)$$

Figura 4 - Croqui dos aviários, A - Sistema Convencional, B – Sistema Pressão Negativa e C – Sistema Convencional, com esquema de distribuição dos sensores. (Unidade: metros).



Fonte: Do autor (2017).

As respostas produtivas avaliadas foram: o consumo de ração (CR), ganho de peso médio (GP), conversão alimentar média (CA) e o índice de eficiência produtiva (IEP). O CR foi calculado em função da quantidade de ração consumida durante o período considerado dividido pelo período em dias. O GP foi obtido pela diferença entre o peso vivo dos frangos ao final e ao início do lote. A conversão alimentar (CA) é a relação entre a quantidade de ração consumida e o ganho de peso correspondente ao período de tempo considerado, sendo que, a relação inversa é denominada de eficiência

alimentar. O índice de eficiência produtiva (IEP) é um índice calculado em função do peso vivo, viabilidade, idade e a conversão alimentar (CA), sendo calculado pela equação 3.

$$IEP = ((P \cdot V)/(I \cdot CA)) \cdot 100 \quad (3)$$

em que, P é o peso vivo das aves (kg), V é a viabilidade (%), I é a idade das aves em dias e CA é a conversão alimentar ($g \cdot g^{-1}$). Sendo a viabilidade, a diferença entre as aves alojadas e as retiradas para o abate, em percentagem.

Desenvolvimento e validação do modelo *fuzzy*

Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy*, foi utilizado o método de inferência de Mandani (MANDANI, 1976), utilizado por diversos autores (PONCIANO et al., 2012; LIN et al., 2013; MÚNERA BEDOYA et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015), 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). Foram definidas como variáveis de entrada: a entalpia (H) nas fases de vida das aves, definidas conforme Tabela 1 e representadas por curvas de pertinência trapezoidais (Figura 5), curvas estas escolhidas por reproduzirem melhor o conjunto de dados (SCHIASSI et al., 2015).

Para realizar a validação do modelo *fuzzy* desenvolvido foram utilizados os dados mensurados nos aviários comerciais. O desenvolvimento e as simulações foram empregadas com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564 (R2011b)*, onde toda a modelagem foi elaborada. Na avaliação dos modelos propostos, as respostas produtivas simuladas e observadas foram comparadas por meio do desvio-padrão e do erro percentual.

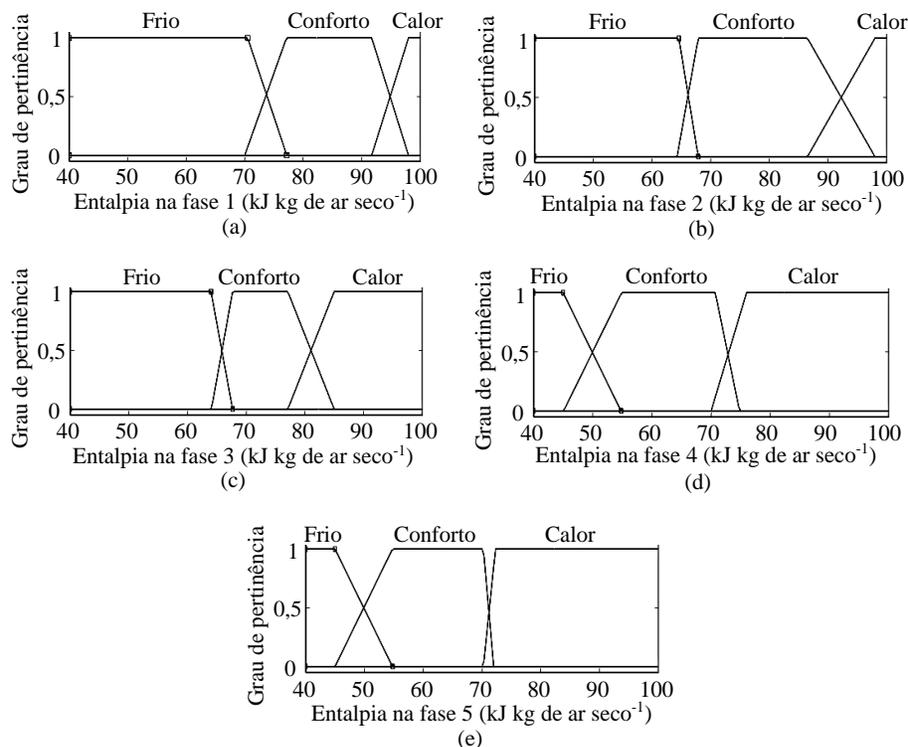
A partir do modelo *fuzzy* desenvolvido foram realizadas simulações considerando valores de entalpia para cada fase de criação que caracterizasse condições de estresse por frio, conforto e estresse por calor.

Tabela 1 - Divisão das fases de vida das aves e sua respectiva descrição.

Fases	Descrição
1	1ª semana de vida (fase inicial)
2	2ª semana de vida (fase inicial)
3	3ª semana de vida (fase inicial)
4	4ª e 5ª semanas de vida (fase crescimento)
5	6ª semana de vida em diante (fase final)

Fonte: Do autor (2017).

Figura 5 - Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (a) Entalpia na fase 1, (b) Entalpia na fase 2, (c) Entalpia na fase 3, (d) Entalpia na fase 4 e (e) Entalpia na fase 5.



Fonte: Do autor (2017).

Os limites de conforto/desconforto da entalpia (Tabela 2) para cada fase de vida dos frangos de corte foram calculados através dos limites de t_{bs} e UR indicados por diversos autores para cada uma das fases (MEDEIROS et al., 2005; CASSUCE et al., 2013; CÂNDIDO et al., 2016).

Tabela 2 - Limites inferiores e superiores das temperaturas e entalpias ideais para frangos de corte em cada fase de vida.

Fase de vida	Limites de temperatura do ar (t_{bs} , °C)	Umidade relativa (UR, %)	Limites de entalpia (H, kJ kg _{ar seco} ⁻¹)
1	32 – 34	60 – 80	80 – 84,4
2	28 – 32	60 – 80	72 – 80
3	26 – 28	60 – 80	68,2 – 72
4	18 – 26	60 – 80	54,8 – 68,2
5	18 – 24	60 – 80	54,8 – 64,6

Fonte: Do autor (2017).

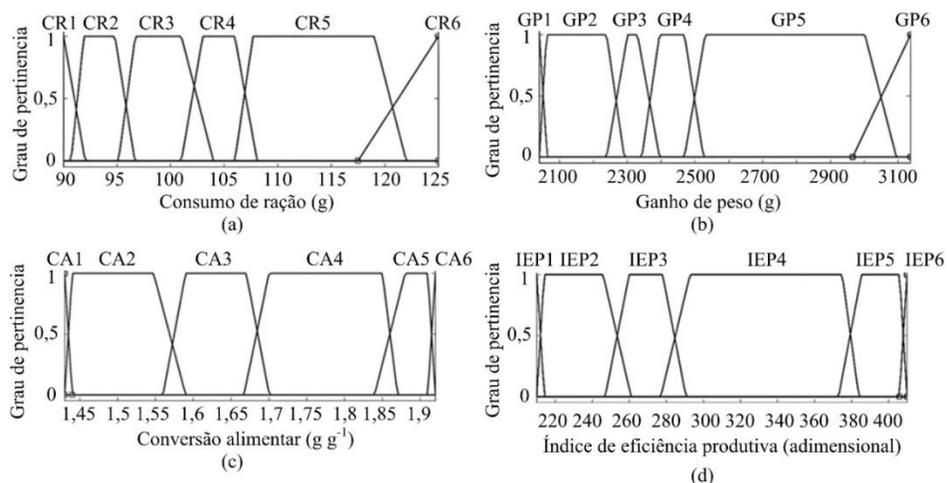
De acordo com as combinações das fases de vida das aves e da entalpia (H) (Figura 5), foram definidas 243 regras e, para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a 1, pelo fato de todas as regras possuírem a mesma importância na determinação das respostas do modelo, conforme adotado por diversos autores (YANAGI JUNIOR et al., 2012; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2013; SCHIASSI et al., 2014).

As regras foram definidas em forma de sentenças linguísticas com base nos dados coletados na primeira fase desse experimento e com auxílio de especialistas. Para a escolha dos especialistas, foi utilizada a metodologia proposta por CORNELISSEN et al. (2002), conforme empregado por YANAGI JUNIOR et al. (2012) e SCHIASSI et al. (2015). Dessa forma, quatro especialistas com experiência em ambiência animal e modelagem *fuzzy* por mais de dez anos auxiliaram na montagem das regras.

Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, os modelos *fuzzy* predizem as variáveis de saída CR, GP, CA e IEP, também caracterizadas por curvas de pertinência do tipo trapezoidais (Figura 6). A defuzificação foi feita utilizando-se o método do centro de gravidade (Centroide ou Centro de Área), que considera todas as alternativas de

saída, convertendo o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (LEITE et al., 2010).

Figura 6 - Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) Consumo de ração (CR), (b) Ganho de peso (GP), (c) Conversão alimentar (CA) e (d) Índice de eficiência produtiva (IEP).



Fonte: Do autor (2017).

A partir do modelo *fuzzy* desenvolvido foram realizadas simulações considerando valores de entalpia para cada fase de criação que caracterizasse condições de estresse por frio, conforto e estresse por calor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ajuste do modelo *fuzzy* foi realizado com base nos dados coletados no experimento (Tabela 3), 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.

Tabela 3 - Valores médios de entrada e saída observados experimentalmente.

Sistemas de produção comercial	Lotes	Variáveis de entrada					Variáveis de saída			
		Entalpia nas fases de vida (kJ kg _{ar seco} ⁻¹)					CR (g)	GP (g)	CA (g g ⁻¹)	IEP
		1	2	3	4	5				
<i>Dark house</i>	1	74,98	66,52	67,91	66,79	65,18	132,01	3137	1,61	333
	2	73,09	70,60	69,40	70,66	70,25	116,92	2807	1,47	387
	3	74,85	72,57	70,36	68,98	65,08	108,72	2528	1,51	383
	4	73,50	73,62	70,79	68,96	68,16	111,54	2546	1,49	392
	5	73,21	73,68	70,85	68,98	67,02	124,54	3018	1,44	400
	6	70,58	67,95	67,73	65,25	60,66	116,11	2820	1,45	406
Convencional	1	72,74	64,24	72,61	66,72	67,18	112,98	2422	1,90	268
	2	74,27	70,67	70,29	72,24	72,59	109,14	2417	1,75	300
	3	80,45	70,70	71,94	70,04	69,30	109,42	2469	1,70	214
	4	69,64	73,51	71,24	70,90	68,98	119,21	2985	1,55	347
	5	73,87	70,46	68,05	69,31	65,06	118,87	2818	1,70	314
	6	77,97	73,26	74,67	70,30	63,89	116,45	2815	1,58	352
Pressão negativa	1	73,15	66,46	73,95	68,24	67,70	119,32	2730	1,65	328
	2	73,24	74,02	72,13	73,30	71,85	100,59	2113	1,68	325
	3	77,84	75,79	71,24	70,04	68,84	121,40	3081	1,46	370
	4	78,03	75,88	71,73	70,20	69,10	114,72	2829	1,46	393
	5	77,11	73,27	70,75	69,39	67,48	114,28	2888	1,45	383
	6	73,20	71,82	73,07	68,46	65,32	112,89	2827	1,44	404

Fonte: Do autor (2017).

Desse modo, os valores de CR, GP, CA e IEP simulados pelo modelo *fuzzy* em função da entalpia nas fases de vida dos frangos, foram comparados aos dados obtidos experimentalmente (Tabela 4). Pode-se observar que o modelo *fuzzy* foi capaz de prever o CR, o GP e a CA nos diferentes sistemas de produção comerciais de frangos de corte. Os desvios-padrão médios de 4,16 g, 146,53 g e 0,06 g g⁻¹ e erros percentuais médios de 5,05 %, 8,04 % e 4,96 %, respectivamente.

Em trabalhos realizados por diferentes autores utilizando a modelagem *fuzzy* para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtiveram valores médios de desvios-padrão e erros percentuais para CR, GP e CA de 4,31 g e 2,38 %, 4,76 g e 2,94 %, e 0,02 g g⁻¹ e 2,16%, respectivamente (PONCIANO et al., 2012) e CR, GP e CA de 4,15 g e 2,12 %, 3,10 g e 2,74 %, e 0,03 g g⁻¹ e 1,94%, respectivamente (SCHIASSI et al., 2015).

Os erros padrão e erros percentuais obtidos nesta pesquisa foram maiores que os observados por PONCIANO et al. (2012) e SCHIASSI et al. (2015), entretanto, podem ser explicados devido ao fato de essas pesquisas terem sido realizadas em tuneis de vento climatizados com controle das condições térmicas, de manejo, além do tempo de experimento se limitar apenas nas três primeiras semanas de vida, não sendo avaliada toda a fase de criação dos frangos. Considerando que o modelo foi desenvolvido e validado com dados oriundos de sistemas comerciais de produção, com diferentes níveis tecnológicos e diferentes lotes de animais e abrangendo todo o ciclo produtivo dos frangos, esse aumento observado nos desvios-padrão e erro percentual podem ser considerados aceitáveis.

Superfícies de resposta ajustadas por MEDEIROS (2001) a partir de experimento laboratorial para estimar o CR, GP e CA de frangos adultos em função da t_{bs} , UR e velocidade do ar, obtiveram valores de desvio-padrão e erro

percentual de 2,36 g e 2,79 % para CR, 2,02 g e 4,97 % para GP e 0,08 g g⁻¹ e 5,67 % para CA, respectivamente.

Analisando a CA e o IEP dos frangos em função dos lotes e dos diferentes sistemas de produção comercial avaliados, observa-se na Tabela 4 grande variação dos dados medidos experimentalmente ao mesmo tempo em que os resultados do modelo *fuzzy* desenvolvido se adequaram a essas variações, com exceção dos lotes 1, 3 e 5 do sistema de produção comercial convencional que obtiveram erros percentuais acima de 10 %, resultado este que pode ser explicado devido ao sistema de produção convencional ter um baixo controle do ambiente interno e todas as operações de manejo serem realizadas manualmente, podendo assim ter uma alta variação nas respostas produtivas dos animais.

De acordo com o Suplemento de desempenho e nutrição para frangos de corte (COBB-VANTRESS, 2015), a conversão alimentar cumulativa para frangos de corte machos aos 42 dias de vida é em torno de 1,667 g g⁻¹. Neste estudo, o valor médio de conversão alimentar encontrado para cada sistema avaliado foi de 1,49 g g⁻¹ para o sistema *dark house*, 1,68 g g⁻¹ para o sistema convencional e 1,52 g g⁻¹ para o sistema de pressão negativa.

Os desempenhos produtivos dos frangos de corte criados nos sistemas *dark house* e pressão negativa estão próximos dos valores esperados para a linhagem (COBB-VANTRESS, 2015) e para o sistema convencional é ligeiramente superior (1,68). Entre eles, o mais eficiente com relação à conversão alimentar foi o *dark house*, seguido pelo sistema de pressão negativa e por último o sistema convencional, resultado que reflete os diferentes níveis de controle do sistema.

Tabela 4 - Comparação dos valores de conversão alimentar (CA, g g⁻¹), ganho de peso médio (GP, g), consumo de ração (CR, g) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.

Sistema de produção comercial	Lote	Dados experimentais				Simulação <i>Fuzzy</i>				Desvio-padrão				Erro percentual (%)			
		CR	GP	CA	IEP	CR	GP	CA	IEP	CR	GP	CA	IEP	CR	GP	CA	IEP
<i>Dark house</i>	1	132,01	3137	1,61	333	114	2780	1,55	349	12,73	252,44	0,05	11,31	13,64	11,38	3,97	4,80
	2	116,92	2807	1,47	387	115	2790	1,52	370	1,36	12,02	0,04	12,02	1,64	0,61	3,68	4,39
	3	108,72	2528	1,51	383	117	2840	1,50	394	5,85	220,62	0,01	7,78	7,61	12,34	0,53	2,87
	4	111,54	2546	1,49	392	116	2810	1,50	393	3,15	186,68	0,01	0,71	4,00	10,37	0,81	0,26
	5	124,54	3018	1,44	400	115	2800	1,50	393	6,74	154,15	0,04	4,95	7,66	7,22	4,09	1,75
	6	116,11	2820	1,45	406	114	2780	1,50	393	1,49	28,28	0,04	9,19	1,82	1,42	3,81	3,20
Convencional	1	112,98	2422	1,90	268	110	2680	1,58	340	2,11	182,43	0,22	50,91	2,64	10,65	16,71	26,87
	2	109,14	2417	1,75	300	110	2690	1,63	335	0,61	193,04	0,08	24,75	0,79	11,29	6,59	11,67
	3	109,42	2469	1,70	214	122	3070	1,44	408	8,90	424,97	0,18	137,18	11,50	24,34	15,14	90,65
	4	119,21	2985	1,55	347	113	2760	1,52	370	4,39	159,10	0,02	16,26	5,21	7,54	2,19	6,63
	5	118,87	2818	1,70	314	116	2820	1,50	394	2,03	1,41	0,14	56,57	2,41	0,07	11,56	25,48
	6	116,45	2815	1,58	352	121	3010	1,47	402	3,21	137,89	0,07	35,36	3,90	6,93	6,73	14,20
Pressão negativa	1	119,32	2730	1,65	328	113	2750	1,55	349	4,47	14,14	0,07	14,85	5,30	0,73	6,29	6,40
	2	100,59	2113	1,68	325	108	2650	1,67	325	5,24	379,72	0,01	0,00	7,36	25,41	0,83	0,00
	3	121,40	3081	1,46	370	122	3070	1,44	408	0,43	7,78	0,02	26,87	0,50	0,36	1,57	10,27
	4	114,72	2829	1,46	393	122	3030	1,46	404	5,15	142,13	0,00	7,78	6,34	7,10	0,21	2,80
	5	114,28	2888	1,45	383	122	3060	1,45	407	5,46	121,62	0,00	16,97	6,75	5,96	0,07	6,27
	6	112,89	2827	1,44	404	115	2800	1,50	393	1,49	19,09	0,05	7,78	1,87	0,96	4,46	2,72
							Média			4,16	146,53	0,06	24,51	5,05	8,04	4,96	12,29

Fonte: Do autor (2017).

Simulações realizadas por meio do sistema *fuzzy* indicam que, independente da fase de criação, as condições de estresse térmico causam redução do desempenho produtivo dos frangos de corte. Na fase inicial de criação, observa-se que os frangos são mais sensíveis ao estresse por frio do que ao calor, resultados que corroboram com trabalho realizado por ABREU et al. (2015). Por sua vez, na fase de terminação o inverso é observado.

Tabela 5 - Simulação com o modelo *fuzzy*, avaliando diferentes níveis de entalpia em diferentes fases de vida dos animais.

	Variáveis de entrada					Variáveis de saída			
	Entalpia ($J\ kg^{-1}$) nas fases de criação					Desempenho produtivo			
	1	2	3	4	5	CR	GP	CA	IEP
1	82,2	76	70,1	61,5	59,7	123	3080	1,43	409
2	92,2	76	70,1	61,5	59,7	121	2970	1,48	400
3	82,2	90	70,1	61,5	59,7	117	2850	1,50	395
4	82,2	76	86	61,5	59,7	114	2770	1,50	393
5	82,2	76	70,1	84,1	59,7	114	2770	1,50	393
6	82,2	76	70,1	61,5	82,3	114	2770	1,50	393
7	60	76	70,1	61,5	59,7	114	2770	1,50	393
8	82,2	56	70,1	61,5	59,7	114	2770	1,50	393
9	82,2	76	54,1	61,5	59,7	114	2770	1,50	393
10	82,2	76	70,1	47,4	59,7	114	2790	1,50	393
11	82,2	76	70,1	61,5	47,4	114	2790	1,50	393
12	60	56	70,1	61,5	59,7	105	2430	1,63	332
13	92,2	90	70,1	61,5	59,7	117	2830	1,52	368
14	82,2	76	54,1	47,4	47,4	105	2600	1,71	311
15	82,2	76	86	84,1	82,3	99,2	2320	1,77	269
16	82,2	76	70,1	47,4	47,4	105	2670	1,59	337
17	82,2	76	70,1	84,1	82,3	105	2430	1,63	332

Legenda: Preenchimento de fundo na cor verde: valor médio de conforto térmico; na cor vermelha: valor médio de estresse por calor e na cor azul: valor médio de estresse por frio.

Fonte: Do autor (2017).

CONCLUSÕES

O modelo *fuzzy* proposto permite estimar, com boa eficiência, o consumo de ração médio diário, ganho de peso, conversão alimentar e índice de eficiência produtiva de frangos de corte submetidos a diferentes sistemas de produção comercial existentes no setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES, ao CNPq e a à EMBRAPA Suínos e Aves pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABORISADE, D. O.; STEPHEN, O. Poultry house temperature control using Fuzzy-PID controller. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, Chennai, v. 11, n. 6, p. 310-314, 2014.

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

ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; HASSEMER, M. J.; TOMAZELLI, I. L. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 795-801, jul. 2012.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453 p. 9ASAE Textbook, 4).

ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Conforto térmico em modelos reduzidos de casas de frangos de corte, sob diferentes tipos de materiais de cobertura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

BARACHO, M. S.; CASSIANO, J. A.; NÄÄS, I. A.; TONON, G. S.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R. Ambiente interno em galpões de

frango de corte com cama nova e reutilizada. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BOIAGO, M. M.; BARBA, H.; SOUZA, P. A.; SCATOLINI, A. M.; FERRARI, F. B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

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

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; SOUSA, F. A.; PONCIANO, P. F.; NAVARINI, F. C.; YANAGI JUNIOR, T. Eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários, com base nos índices de conforto térmico. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 703-711, 2013b.

CÂNDIDO, M. G.; TINÔCO, I. D. F.; PINTO, F. D. A. D. C.; SANTOS, N. T.; ROBERTI, R. P. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 760-767, 2016.

CASSUCE, D. C.; TINOCO, I. D. F.; BAETA, F. C.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; VIEIRA, M. D. A. Atualização da temperatura de conforto térmico para frangos de corte de até 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013.

CASTRO, J. O. **Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos**. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

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**, Lavras, v. 36, p. 108-116, 2012.

COBB. **Suplemento de nutrição e desempenho do frango de corte**: Cobb-Vantress USA. 2015. 14 p. Disponível em: <http://www.cobb-vantress.com/languages/guidefiles/fa217990-20c9-4ab1-a54e-3bd02d974594_pt.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CORNELISSEN, A. M. G.; VAN DEN BERG, J.; KOOPS, W. J.; KAYMAK, U. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, Rotterdam, v. 95, n. 1, p. 1-18, Sept. 2002.

FERRAZ, P. F. P.; YANAGI JUNIOR, T.; JULIO, Y. F. H.; CASTRO, J. O.; GATES, R. S.; REIS, G. M.; CAMPOS, A. T. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 559-568, 2014.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 31, n. 1, p. 61-74, 2001.

JULIO, Y. F. H.; YANAGI JUNIOR, T.; PIRES, M. F. A.; LOPES, M. A.; LIMA, R. R. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 28, p. 42-53, 2015.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impacto do estresse térmico sobre a produção de aves. **Animals**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 356-369, 2013.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

LIN, C. S., YE, P. T., CHEN, D. C., CHIOU, Y. C., & LEE, C. H. The identification and filtering of fertilized eggs with a thermal imaging system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 91, p. 94-105, 2013.

MANDANI, E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, London, v. 8, n. 6, p. 669-678, 1976.

MEDEIROS, C. M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, 2005.

MIRZAEI-GHALEHV, E.; OMID, M.; KEYHANI, A.; DALVAND, M. J. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 110, p. 187–195, 2015.

MÚNERA BEDOYA, O. D., YANAGI JUNIOR, T., ÁVILA PIRES, M. F., AURÉLIO LOPES, M., & RIBEIRO DE LIMA, R. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 28, n. 1, p. 42-53, 2015.

NASCIMENTO, G. R.; NÄÄS, I. A.; BARACHO, M. S.; PEREIRA, D. F.; NEVES, D. P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 658–663, 2014.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, Munich, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

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

SANTOS, G. B.; SOUSA, I. F.; BRITO, C. O.; SANTOS, V. S.; BARBOSA, R. J.; SOARES, C. Estudo biológico das regiões litorâneas, agreste e semiárida do estado de Sergipe para a avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.1, p. 123-128, 2014.

SCHIASSI, L.; MELO, N. S. M.; TAVARES, G. F.; SOUZA, Í. P.; ARAÚJO, H. B.; DELLA GIUSTINA, C. Modelagem *fuzzy* em parâmetros de bem-estar humano. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2013.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F. A.; SARAZ, J. A. O.; AMARAL, A. G. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications** (IJERA), Berlin, v. 4, n. 9, p. 60-64, set. 2014.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G. M.; ABREU, L. H. P.; CAMPOS, A. T.; CASTRO, J. O. Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 140-146, 2015.

TINÔCO, I. F. F.; SOUZA, C. F.; BAÊTA, F. C.; COELHO, D. J. R.; MENDES, M. A. S. A. Ambiência e instalações na avicultura de postura brasileira: avanços e perspectivas. **Animal Business Brasil**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 14, p. 6-9, 2014.

XIANG-JIE, N. Research on the temperature control algorithm of the poultry farm. **Applied Mechanics and Materials**, Zurich, v. 602, p. 1206-1209, 2014.

YANAGI JUNIOR, T.; AMARAL, A. G.; TEIXEIRA, V. H.; LIMA, R. R. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2011.

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**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 423-434, maio/jun. 2012.

ZARE MEHRJERDI, M. R.; ZIAABADI, M.; AYATOLLAHI MEHRGARDI, A.; DAYANI, O. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Journal of Livestock Science and Technologies**, Foulum, v. 3, n. 1, p. 34-40, 2015.

ARTIGO 2

Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção – Parte II: Impacto das mudanças climáticas

Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola

**RESPOSTAS PRODUTIVAS DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM
DIFERENTES SISTEMAS COMERCIAIS DE PRODUÇÃO – PARTE II:
IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

RESUMO: Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar o desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes sistemas comerciais de produção e em cenários futuros considerando a tendência de mudanças climáticas. Para isso foi desenvolvido e validado um modelo *fuzzy* capaz de prever o desempenho dos frangos em função da entalpia nas diversas fases da vida. O modelo foi desenvolvido e validado na parte I deste artigo com base em dados experimentais coletados ao longo de um ano em três aviários: sistemas convencional, pressão negativa e *dark house*. O teste não paramétrico de Mann-Kendall e análise de regressão linear foram aplicados aos valores de entalpia calculados em função dos dados de temperatura e umidade relativa do ar obtidos das normais climatológicas do local para análise de tendências de mudanças climáticas. Posteriormente, simulações foram realizadas por meio do modelo *fuzzy* para os cenários futuros de 2025, 2050, 2075 e 2100. Melhoras pontuais quando as tendências de aquecimento coincidiram com as fases iniciais de criação foram observadas, porém, no geral, houve piora nas respostas produtivas nos diferentes sistemas avaliados. Frente as tendências de mudanças climáticas, o sistema que obteve o melhor resultado foi o *dark house*, seguido pelos sistemas de pressão negativa e convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Avicultura de corte, inteligência artificial, sistema *fuzzy*, mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

Em climas tropicais e subtropicais, como no Brasil, os altos valores de temperatura e umidade relativa do ar geram condições de desconforto térmico para as aves e conseqüentemente redução no desempenho produtivo (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; LARA & ROSTAGNO, 2013; CASTRO, 2014; SANTOS et al., 2014). Para frangos de corte, o ambiente de criação é um dos principais causadores de perdas na produção animal em escala comercial. Diversos autores destacam que para animais com alto potencial genético, deve-se garantir alimentação com nível nutricional adequado, ambiente asséptico e termicamente ajustado às necessidades das aves para que estas possam expressar todo seu potencial (ABREU et al., 2012, ALMEIDA & PASSINI, 2013; CAMPOS et al., 2013b; NASCIMENTO et al., 2014; TINÔCO et al., 2014).

As mudanças climáticas representam um grande desafio para a avicultura brasileira, visto que os frangos, animais homeotérmicos, capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos, têm consideráveis perdas produtivas quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; LARA & ROSTAGNO, 2013; CASTRO, 2014; SANTOS et al., 2014).

A produção de frangos de corte vê-se negativamente afetada com o crescimento das emissões dos gases (Dióxido de carbono - CO₂, Metano -CH₄, Óxido nitroso - N₂O, Clorofluorcarbonos - CFC-11 e CFC-12) causadores de efeito estufa (GOMES et al., 2011). PENEREIRO et al. (2012) relataram que entre as capitais dos estados brasileiros, cerca de 40% apresentaram tendência de aumento de temperatura média, sendo quatro na região Norte, duas na região Nordeste, duas na região Centro-Oeste, uma na região Sudeste e uma na região Sul do país, sendo esta última, Curitiba – PR. SILVA & STRECK (2014) avaliaram mudanças climáticas através do índice de calor médio mensal, por

meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall, para a cidade de Santa Maria – RS, estes obtiveram como resultado que nos meses de março às 9h, janeiro, março, abril e novembro às 15h apresentaram tendência positiva significativa, enquanto as séries dos meses de setembro às 15h e agosto às 21h apresentaram tendência negativa. Para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, o método mais apropriado é o teste de Mann-Kendall (GOOSSENS & BERGER, 1986).

Nesse contexto, a previsão do desempenho de frangos de corte em locais sujeitos às mudanças climáticas é primordial para que se possa melhorar os mecanismos de manutenção do ambiente térmico dentro de intervalos de conforto ou seleção genética visando à exploração de todo o potencial genético da linhagem. Para tanto, o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) de controle do ambiente, que possam ser embarcados em microcontroladores, torna-se necessário. Entre os possíveis modelos a serem desenvolvidos, aqueles baseados em inteligência artificial, especificamente na teoria dos conjuntos *fuzzy* têm se mostrado adequados em pesquisas de conforto animal (GATES et al., 2001; CASTRO et al., 2012; PONCIANO et al., 2012; CAMPOS et al., 2013a; ABORISADE & STEPHEN, 2014; FERRAZ et al., 2014; XIANG-JIE, 2014; JULIO et al., 2015; MIRZAEI-GHALEHV et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; ZARE MEHRJERDI et al., 2015).

Contudo, até então os trabalhos com modelagem *fuzzy* são realizados individualmente em cada sistema de produção ou são realizados em laboratórios onde as condições ambientais são controladas. Sendo assim, as modelagens *fuzzy* realizadas nessas condições podem ter limitações ao serem aplicadas em sistemas de produção diferentes dos que foram usados para sua implementação. Entre os sistemas de produção de frangos de corte existentes, pode-se destacar o sistema convencional, o sistema de pressão negativa e o sistema *dark house*.

Nesse contexto, objetivou-se com a presente pesquisa, aplicar um modelo *fuzzy* capaz de prever o desempenho de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção para simular cenários futuros, considerando possíveis mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelo *fuzzy*

O modelo *fuzzy* aplicado às simulações foi desenvolvido com base em dados oriundos de três aviários contemplando os sistemas de criação convencional, túnel de vento com pressão negativa e *dark house*. Os dados foram obtidos a partir de seis lotes para cada sistema, ao longo de um ano.

O modelo *fuzzy* considera como dados de entrada as entalpias em cinco fases de criação: Fase 1 (primeira semana de vida), Fase 2 (segunda semana de vida), Fase 3 (terceira semana de vida), Fase 4 (quarta e quinta semanas de vida) e Fase 5 (sexta semana de vida das aves em diante). As fases 1, 2 e 3 correspondem a fase inicial de criação, a fase 4 refere-se a fase de crescimento e a fase 5 a terminação. As variáveis de saída correspondem as respostas produtivas dos frangos de corte, o consumo de ração (CR), ganho de peso médio (GP), conversão alimentar média (CA) e o índice de eficiência produtiva (IEP).

Os métodos de inferência de Mandani (PONCIANO et al., 2012; LIN et al., 2013; MÚNERA BEDOYA et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015) e de defuzzificação por meio do centro de gravidade (LEITE et al., 2010) foram usados. Duzentos e quarenta e três regras com fator de ponderação igual a 1,0 foram elaboradas (YANAGI JUNIOR et al., 2012; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2013; SCHIASSI et al., 2014). Curvas de pertinência trapezoidais foram usadas para representar as variáveis de entrada (SCHIASSI et al., 2015) e de saída.

O modelo *fuzzy* desenvolvido prediz o CR, GP, CA e IEP com desvios-padrões e erros percentuais médios de 4,16 g e 5,05 %, 146,53 g e 8,04 %, 0,06 g g⁻¹ e 4,96 %, e 24,51 e 12,29 %, respectivamente. Maiores detalhes sobre o desenvolvimento e validação do modelo *fuzzy* por ser obtidos na Parte I deste artigo (LOURENÇONI et al., 2017).

Teste de Mann-Kendall

O teste não paramétrico de Mann-Kendall proposto inicialmente por SNEYERS (1975) e a análise de regressão linear foram aplicadas às séries históricas de entalpia (ÁVILA et al., 2014, TIAN et al., 2016). Os valores das entalpias (equação 1) foram calculados a partir de valores médios mensais de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, para o período de 1987 a 2015, medidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa Suínos e Aves, em Concórdia – SC.

$$H = 1,006 t_{bs} + W (2501 + 1,805 t_{bs}) \quad (1)$$

sendo, H a entalpia (kJ kg_{ar seco}⁻¹), t_{bs} a temperatura de bulbo seco do ar (°C) e W a razão de mistura (kg_{vapor d'água} kg_{ar seco}⁻¹). Por sua vez, a razão de mistura foi calculada pela equação 2 em função da pressão atual de vapor d'água (ea, kPa) e pressão atmosférica do local (P_{atm}, kPa).

$$W = 0,622 (ea / P_{atm}) \quad (2)$$

O teste Mann-Kendall (MK) tem por conceito a comparação em ordem sequencial do valor da série temporal com os valores restantes, sendo contado o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. A estatística S é obtida pelas expressões 3 e 4.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{ sinal } (X_i - X_j) \quad (3)$$

sendo,

$$\text{ sinal } (X_i - X_j) = \begin{cases} -1, & \text{para } (X_i - X_j) < 0 \\ 0, & \text{para } (X_i - X_j) = 0 \\ 1, & \text{para } (X_i - X_j) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

A estatística S tende à normalidade para n grande, com média e variância dadas pelas expressões 5 e 6, respectivamente.

$$E(S) = 0 \quad (5)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (6)$$

em que, n é o tamanho da série temporal. Assim, o teste estatístico Z_{MK} é dado pela expressão 7.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Por meio do valor de Z_{MK} pode-se verificar a tendência estatisticamente significativa na série temporal, sendo esta estatística usada para testar a hipótese de nulidade de que nenhuma tendência existe. A partir dos valores positivos ou negativos de Z_{MK} pode-se inferir se a tendência dos dados é crescente ou

decrecente. O nível de significância adotado foi de 5%, sendo realizada por meio do teste p-valor.

Simulações

As simulações foram empregadas com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*[®] do Matlab[®], *software version 7.13.0.564 (R2011b)*, em que toda a modelagem foi elaborada (LOURENÇONI et al., 2017). Por meio dos dados experimentais de entalpia mensurados no interior dos aviários e no ambiente externo foi calculado o coeficiente de amortecimento dos galpões, por meio da relação entre entalpia externa e interna.

Para composição dos cenários futuros, foram escolhidos os anos de 2025, 2050, 2075 e 2100. Os aumentos de entalpia para cada cenário futuro foram obtidos por meio dos coeficientes angulares das regressões lineares aplicadas às séries de dados de entalpia para os meses que foram observadas tendências de mudanças climáticas multiplicados pelo número de anos a partir de 2016. Posteriormente, acrescentou-se aos dados experimentais de entalpia externa de cada fase de criação, o aumento de entalpia calculado anteriormente e multiplicou-se o resultado pelo coeficiente de amortecimento de cada aviário. Em seguida, os valores de CR, GP, CA e IEP foram simulados por meio do sistema *fuzzy* desenvolvido e validado na parte I deste artigo. As simulações foram realizadas apenas para os lotes que foram criados nos meses nos quais foi detectada tendência de mudanças climáticas (fevereiro e junho), lotes identificados na Tabela 1

Tabela 1 - Lotes de cada sistema avaliado e seus respectivos períodos de avaliação.

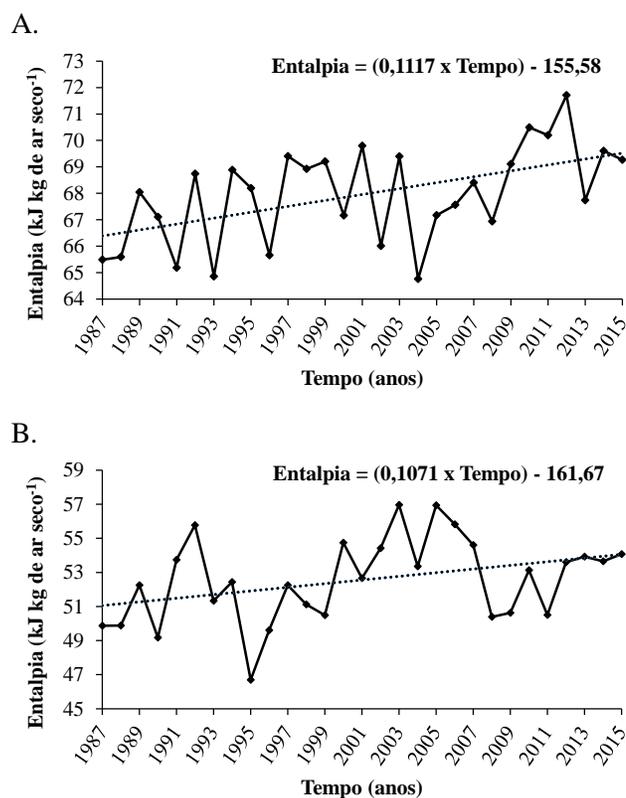
<i>Dark House</i>		Convencional		Pressão Negativa	
Lote	Período	Lote	Período	Lote	Período
1	Set – Out	1	Set – Out	1	Set – Out
2	Out – Nov	2	Nov – Dez	2	Nov – Dez
3	Jan – Fev	3	Jan – Fev	3	Dez – Fev
4	Fev - Mar	4	Fev – Mar	4	Fev – Mar
5	Abr – Mai	5	Abr – Mai	5	Abr – Mai
6	Mai - Jul	6	Jun – Jul	6	Jun – Jul

Fonte: Do autor (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do teste de tendência de Mann-Kendall para a entalpia média mensal evidencia que, para a cidade de Concórdia - SC houve tendência crescente para os meses de fevereiro e junho, conforme ilustrado na Figura 1, sendo que para os demais meses não houve tendência de mudanças climáticas. Diversos autores ressaltam que as mudanças climáticas resultam em ondas de calor mais frequentes, mais intensas e mais longas (RENAUDEAU et al., 2012; SKUCE et al., 2013; SOSSIDOU et al., 2014).

Figura 1 - Tendência temporal da entalpia nos meses de fevereiro (A) e junho (B) para a cidade de Concórdia - SC no período de 1987 a 2015.



Fonte: Do autor (2017).

Em trabalho realizado por VALE et al. (2016) simulando o efeito de ondas de calor no ambiente térmico e aéreo para frangos de corte, observaram que as elevações da temperatura aumentaram linearmente a concentração de amônia e a temperatura da cama. Estes autores também observaram que a elevação da temperatura diminui linearmente a concentração de oxigênio do ar.

De acordo com os cenários de tendência de aquecimento para os meses de fevereiro e junho, observa-se na Tabela 1 que os lotes afetados por estes meses foram os lotes 3, 4 e 6 e os resultados de desempenho produtivo obtidos

pelo modelo *fuzzy* para os lotes afetados por estes meses estão listados na Tabela 3. Pode-se observar que para o cenário de 2025, todos os lotes dos diferentes sistemas avaliados mantiveram os mesmos desempenhos produtivos.

Para o aviário Convencional, observa-se que as respostas produtivas pioraram nos cenários de 2050, 2075 e 2100 para os lotes 3 e 6. Para o lote 4, houve piora nos cenários de 2050 e 2075 para as respostas produtivas CA e IEP. Por sua vez, para CR e GP em 2050, 2075 e 2100 e CA e IEP em 2100 houve uma melhora nas respostas produtivas do respectivo lote.

Para o aviário Pressão Negativa, as respostas produtivas pioraram nos cenários de 2050, 2075 e 2100 para os lotes 3 e 6. Para o lote 4 observa-se que os resultados de CA e IEP mantiveram-se inalterados até o cenário de 2075 e também para todos os cenários das respostas CR e GP.

Para o aviário *Dark House*, as respostas produtivas de quase todos os lotes se mantiveram inalteradas ou melhoraram até o cenário de 2050, com exceção do IEP para 2050 que caiu de 393 para 392. No lote 4 pode-se observar uma melhora em todas as respostas produtivas para os cenários de 2050 e 2075.

Trabalhos realizados por VALE et al. (2010) e VALE et al., (2016) demonstram que a elevação da temperatura associada ao aumento da concentração de amônia e a redução na disponibilidade de oxigênio durante períodos de ondas de calor podem justificar o aumento da mortalidade em eventos de ondas de calor ou até mesmo dar explicações razoáveis para o menor desempenho dos frangos, conforme observado nesta pesquisa.

No geral, para todos os sistemas de confinamento avaliados, o lote 4 criado de fevereiro a março (Tabela 1), obtiveram os melhores resultados frente a tendência de aquecimento para os cenários futuros. Este foi o único lote que conseguiu melhorar as respostas produtivas frente a tendência de aquecimento, para os aviários *dark house* e convencional ou mantê-las inalteradas por mais tempo para o aviário com pressão negativa. Esses resultados podem ser

explicados devido ao fato da tendência de aquecimento ter coincido com a fase inicial de produção do lote, em que os frangos requerem uma condição de temperatura ambiental mais elevada (MENEGALI et al., 2013), e ao fato dos mesmos estarem em uma condição de estresse por frio, fazendo com que a tendência de aquecimento dos cenários futuros reflita em uma melhora no ambiente de produção para essas fases.

Segundo CASSUCE et al. (2013) as aves submetidas a estresse por frio na fase de crescimento modificam seu comportamento, afetando funções fisiológicas e metabólicas, conseqüentemente reduzindo sua produtividade.

Para os lotes 3 e 6, onde a tendência de aquecimento afetou as fases finais de produção, observa-se uma piora nos resultados produtivos a partir de meados do século XXI em que os frangos sofreram estresse por calor e conseqüentemente, queda do desempenho final do lote, prejudicando a rentabilidade da atividade (CARVALHO, 2012).

Observando a média anual das respostas produtivas com todos os 6 lotes inclusos (Tabela 4), entre os três galpões, o que obteve os melhores resultados frente as tendências de mudanças climáticas foi o *Dark House*, seguido do Pressão Negativa e por último o Convencional, resultado já esperado devido aos diferentes níveis de controle dos sistemas.

Mesmo com melhoras pontuais devido à fase de criação afetada com as tendências de aquecimento dos referidos meses, observa-se no geral, que houve piora nas respostas produtivas nos diferentes sistemas avaliados, reforçando não só a necessidade de uso de sistemas artificiais de condicionamento térmico e uso de materiais com características térmicas melhores, como também seu manejo correto propiciando a redução das variações do ambiente térmico no interior dos aviários e conseqüentemente problemas relacionados ao desconforto térmico (SANTOS et al., 2014).

Segundo o Suplemento de desempenho e nutrição para frangos de corte (COBB-VANTRESS, 2015), a conversão alimentar cumulativa para frangos de corte machos aos 42 dias de vida é em torno de $1,667 \text{ g g}^{-1}$. Neste estudo, pode-se observar que para todos os cenários futuros os valores médios de conversão alimentar estimados estão abaixo do estipulado pelo índice da linhagem (COBB-VANTRESS, 2015).

Tabela 2 - Fases e lotes afetados pelos cenários futuros de mudanças climáticas e seus respectivos resultados de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, simulados pelo modelo *fuzzy* para os cenários futuros. (Continua)

∞

Sistemas de produção comercial	Lotes	Fases de vida					CR					GP				
		1	2	3	4	5	Atual	2025	2050	2075	2100	Atual	2025	2050	2075	2100
<i>Dark house</i>	3						117	117	117	113	112	2840	2840	2840	2750	2740
	4						117	117	123	120	116	2840	2840	3080	2960	2820
	6						114	114	114	111	105	2780	2780	2780	2700	2510
Convencional	3						116	116	108	105	105	2830	2830	2600	2430	2430
	4						113	113	115	118	119	2770	2770	2790	2890	2920
	6						121	121	116	114	114	3010	3010	2820	2780	2770
Pressão negativa	3						122	122	114	114	114	3070	3070	2770	2770	2770
	4						122	122	122	122	122	3030	3030	3030	3030	3030
	6						117	117	114	110	105	2840	2840	2770	2690	2430

Tabela 2 - Fases e lotes afetados pelos cenários futuros de mudanças climáticas e seus respectivos resultados de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, simulados pelo modelo *fuzzy* para os cenários futuros. (Conclusão)

Sistemas de produção comercial	Lotes	Fases de vida					CA					IEP				
		1	2	3	4	5	Atual	2025	2050	2075	2100	Atual	2025	2050	2075	2100
<i>Dark house</i>	3					■	1,50	1,50	1,50	1,54	1,54	394	394	394	353	353
	4	■	■	■			1,50	1,50	1,43	1,49	1,50	394	394	409	399	394
	6		■	■	■		1,50	1,50	1,50	1,57	1,67	393	393	392	342	326
Convencional	3					■	1,55	1,55	1,61	1,63	1,63	351	351	335	332	332
	4	■	■				1,52	1,52	1,53	1,53	1,49	370	370	363	359	397
	6		■	■	■		1,47	1,47	1,51	1,51	1,51	402	402	377	383	384
Pressão negativa	3					■	1,44	1,44	1,50	1,50	1,50	408	408	392	392	392
	4	■	■				1,46	1,46	1,46	1,46	1,47	404	404	404	404	402
	6		■	■	■		1,51	1,51	1,53	1,58	1,63	388	388	363	340	332

Legenda: Nas fases hachuradas em amarelo corresponde aos lotes que foram criados ao longo do mês de fevereiro e azul ao longo do mês de junho. Nas respostas com fonte na cor verde, o resultado se manteve inalterado, em azul o resultado melhorou e em vermelho o resultado piorou.

Fonte: Do autor (2017).

Tabela 3 - Valores de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP) em função da entalpia e das fases de vida dos frangos de corte, simulados pelo modelo *fuzzy* para os cenários futuros.

Cenários	Resposta produtiva	Média dos lotes afetados			Média geral de todos os lotes		
		<i>Dark House</i>	Convencional	Pressão Negativa	<i>Dark House</i>	Convencional	Pressão Negativa
Atual	CR	116	119	120	115	115	117
	GP	2810	2947	2967	2800	2838	2893
	CA	1,50	1,48	1,47	1,51	1,52	1,51
	IEP	393	393	402	382	375	381
2025	CR	116	117	120	115	114	117
	GP	2820	2870	2980	2805	2800	2900
	CA	1,50	1,51	1,47	1,51	1,54	1,51
	IEP	394	374	400	382	365	380
2050	CR	118	113	117	116	113	116
	GP	2900	2737	2857	2845	2733	2838
	CA	1,48	1,55	1,50	1,50	1,56	1,53
	IEP	398	358	386	385	357	373
2075	CR	115	112	115	115	112	115
	GP	2803	2700	2830	2797	2715	2825
	CA	1,53	1,56	1,51	1,53	1,56	1,54
	IEP	365	358	379	368	357	370
2100	CR	111	113	114	113	112	114
	GP	2690	2707	2743	2740	2718	2782
	CA	1,57	1,54	1,53	1,55	1,56	1,55
	IEP	358	371	375	364	364	368

Fonte: Do autor (2017).

CONCLUSÕES

Frente as tendências de mudanças climáticas previstas para a região estudada, o aviário que obteve o melhor resultado foi o *Dark House*, seguido do Pressão Negativa e por último o Convencional.

Observou-se melhoras pontuais quando as tendências de aquecimento coincidiram com as fases iniciais de criação, porém, no geral, houve piora nas respostas produtivas nos diferentes sistemas avaliados. Dessa forma, o uso de materiais com maiores valores de resistência e inércia térmica e de sistemas artificiais de condicionamento térmico, como também o seu manejo correto, podem propiciar redução das variações do ambiente térmico no interior dos aviários e conseqüentemente problemas relacionados ao desconforto térmico.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES, ao CNPq e à EMBRAPA Suínos e Aves pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABORISADE, D. O.; STEPHEN, O. Poultry house temperature control using Fuzzy-PID controller. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, Chennai, v. 11, n. 6, p. 310-314, 2014.

ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; HASSEMER, M. J.; TOMAZELLI, I. L. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 795-801, jul. 2012.

ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Conforto térmico em modelos reduzidos de casas de frangos de corte, sob diferentes tipos de materiais de cobertura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.

BARACHO, M. S.; CASSIANO, J. A.; NÄÄS, I. A.; TONON, G. S.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BOIAGO, M. M.; BARBA, H.; SOUZA, P. A.; SCATOLINI, A. M.; FERRARI, F. B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

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

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; SOUSA, F. A.; PONCIANO, P. F.; NAVARINI, F. C.; YANAGI JUNIOR, T. Eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários, com base nos índices de conforto térmico. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 703-711, 2013b.

CARVALHO, L. S. S. Nutrição de poedeiras em clima quente. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, v. 18, p. 1-15, 2012.

CASTRO, J. O. **Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos**. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

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**, Lavras, v. 36, p. 108-116, 2012.

CASSUCE, D. C.; TINOCO, I. D. F.; BAETA, F. C.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; VIEIRA, M. D. A. Atualização da temperatura de conforto térmico para frangos de corte de até 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013.

COBB. **Suplemento de nutrição e desempenho do frango de corte**: Cobb-Vantress USA, 2015. 14 p. Disponível em: <http://www.cobb-vantress.com/languages/guidefiles/fa217990-20c9-4ab1-a54e-3bd02d974594_pt.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

FERRAZ, P. F. P.; YANAGI JUNIOR, T.; JULIO, Y. F. H.; CASTRO, J. O.; GATES, R. S.; REIS, G. M.; CAMPOS, A. T. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 559-568, 2014.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 31, n. 1, p. 61-74, 2001.

GOMES, R. C. C.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; YANAGI, S. N. M.; CARVALHO, V. F.; DAMASCENO, F. A. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1645-1651, set. 2011.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Toulouse, v. 4, p. 385-400, 1986.

JULIO, Y. F. H.; YANAGI JUNIOR, T.; PIRES, M. F. A.; LOPES, M. A.; LIMA, R. R. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 28, p. 42-53, 2015.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impacto do estresse térmico sobre a produção de aves. **Animals**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 356-369, 2013.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores *fuzzy* e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

LIN, C. S., YEH, P. T., CHEN, D. C., CHIOU, Y. C., & LEE, C. H. The identification and filtering of fertilized eggs with a thermal imaging system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 91, p. 94-105, 2013.

LOURENÇONI, D. et al. Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção – Parte I: Modelagem *fuzzy*.

Engenharia Agrícola, v.XX, n.X, p. xxx-xxx, XXXX.

MENEGALI, I.; TINOCO, I. F. F.; CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 106, jan. 2013.

MIRZAEI-GHALEHV, E.; OMID, M.; KEYHANI, A.; DALVAND, M. J. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 110, p. 187–195, 2015.

MÚNERA BEDOYA, O. D., YANAGI JUNIOR, T., ÁVILA PIRES, M. F., AURÉLIO LOPES, M., & RIBEIRO DE LIMA, R. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 28, n. 1, p. 42-53, 2015.

NASCIMENTO, G. R.; NÄÄS, I. A.; BARACHO, M. S.; PEREIRA, D. F.; NEVES, D. P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 658–663, 2014.

PENEREIRO, J. C. FERREIRA, D. H. L. GARCIA, V. F. V. Caracterização estatística de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais Estaduais do Brasil. **Revista GEINTEC**, Aracaju, v. 3, n. 4, p. 1-15, 2012.

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

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; DE BASILIO, V.; GOURDINE, J. L.; COLLIER, R. J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.

SANTOS, G. B.; SOUSA, I. F.; BRITO, C. O.; SANTOS, V. S.; BARBOSA, R. J.; SOARES, C. Estudo biológico das regiões litorâneas, agreste e semiárida do estado de Sergipe para a avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 123-128, 2014.

SCHIASSI, L.; MELO, N.S.M.; TAVARES, G.F.; SOUZA, Í.P.; ARAÚJO, H.B.; DELLA GIUSTINA, C. Modelagem *fuzzy* em parâmetros de bem-estar humano. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2013.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F. A.; SARAZ, J. A. O.; AMARAL, A. G. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)**, Berlin, v. 4, n. 9, p. 60-64, Sept. 2014.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G. M.; ABREU, L. H. P.; CAMPOS, A. T.; CASTRO, J. O. Modelagem *fuzzy* aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 140-146, 2015.

SILVA, S. D.; STRECK, N. A. Tendências das séries históricas do índice de calor no município de Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 8, p. 1360-1366, ago. 2014.

SKUCE, P. J. et al. Animal health aspects of adaptation to climate change: beating the heat and parasites in a warming Europe. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 2, p. 333-345, 2013.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Genève: Secrétariat de l' Organisation Météorologique Mondiale, 1975.

SOSSIDOU, E. N.; TSIPLAKOU, E.; ZERVAS, G. Options for managing livestock production systems to adapt to climate change. **Journal of Earth Science and Engineering**, Wisdow, v. 4, n. 1, p. 15-427, 2014.

TIAN, Q.; PRANGE, M.; MERKEL, U. Precipitation and temperature changes in the major Chinese river basins during 1957–2013 and links to sea surface temperature. **Journal of Hydrology**, v. 536 n 1, p. 208-221, 2016.

TINÔCO, I. F. F.; SOUZA, C. F.; BAÊTA, F. C.; COELHO, D. J. R.; MENDES, M. A. S. A. Ambiência e Instalações na Avicultura de Postura Brasileira – Avanços e Perspectivas. **Animal Business Brasil**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 14, p. 6-9, 2014.

VALE, M. M.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; CURI, T. M. R. C.; LIMA, K. A. O. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 271-280, 2016.

VALE, M. M.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; PEREIRA, D. F. Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 279-285, 2010.

XIANG-JIE, N. Research on the temperature control algorithm of the poultry farm. **Applied Mechanics and Materials**, Zurich, v. 602, p. 1206-1209, 2014.

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**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 423-434, maio/jun. 2012.

ZARE MEHRJERDI, M. R.; ZIAABADI, M.; AYATOLLAHI MEHRGARDI, A.; DAYANI, O. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Journal of Livestock Science and Technologies**, Foulum, v. 3, n. 1, p. 34-40, 2015.

ARTIGO 3

**Efeito dos tipos de curvas de pertinência na modelagem *fuzzy* das respostas
produtivas de frangos de corte**

Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola

**EFEITO DOS TIPOS DE CURVAS DE PERTINENCIA NA
MODELAGEM *FUZZY* DAS RESPOSTAS PRODUTIVAS DE FRANGOS
DE CORTE**

RESUMO: A seleção do tipo de curva de pertinência de sistemas *fuzzy* possibilita a melhor representação do sistema a ser modelado matematicamente, podendo resultar em menores erros de simulação. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho estudar o efeito de diferentes tipos de curvas de pertinência na modelagem do desempenho de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção por meio da modelagem *fuzzy*. Para o desenvolvimento e teste dos modelos *fuzzy*, três aviários comerciais (convencional, túnel com pressão negativa e *dark house*) para a criação de frangos de corte foram avaliados durante o período de um ano, totalizando 6 lotes por sistema. Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* adotou-se como variáveis de entrada a entalpia em cada fase de criação (Fase 1, 2 e 3 - inicial, fase 4 - crescimento e fase 5 - final) e, como variáveis de saída o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP), a conversão alimentar (CA) e o índice de eficiência produtiva (IEP). Curvas de pertinência triangulares, trapezoidais e gaussianas foram combinadas e então usadas para representação dos conjuntos *fuzzy* de entrada e saída, totalizando nove modelos *fuzzy* para cada variável de saída. As combinações de curvas de pertinência resultaram em respostas adequadas para a predição do CA, GP, CR e IEP. No entanto, a seleção dos tipos de curvas deve ser estudada caso a caso para que sejam obtidos os menores erros de simulação possíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência artificial, lógica *fuzzy*, frangos de corte, desempenho produtivo.

INTRODUÇÃO

Na avicultura de corte, o ambiente de produção é um dos pontos mais estudados para o aumento da eficiência produtiva, visto que já se detém uma alta tecnologia em genética e nutrição animal. De acordo com diversos autores, para que os animais possam expressar todo seu potencial genético, deve-se garantir, entre outras exigências, alimentação adequada, ambiente asséptico e termicamente ajustado às necessidades dos frangos (ABREU et al., 2012; YANAGI JUNIOR et al., 2011).

Os frangos de corte são classificados como animais homeotérmicos, classe de animais que são capazes de manter a temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos, por meio de mecanismos comportamentais e fisiológicos. Quando a temperatura ambiente se encontra dentro do intervalo definido como zona de conforto, os frangos gastam o mínimo de energia para manter sua temperatura corporal. Entretanto, quando o ambiente térmico extrapola esses limites, a energia usada para a produção de carne é dispendida nos processos termorregulatórios, ocasionando perdas produtivas (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; CASTRO, 2014; SANTOS et al., 2014).

Diante do exposto, é imprescindível o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) para o controle do ambiente no interior dos galpões avícolas que possam ser embarcados em microcontroladores. Entre eles, os modelos baseados em inteligência artificial, mais especificamente os baseados em metodologia *fuzzy*, tem se mostrado bastante eficientes em pesquisas com conforto animal (ABORISADE; STEPHEN, 2014; CAMPOS et al., 2013; CASTRO et al., 2012; FERRAZ et al., 2014; GATES; CHAO; SIGRIMIS, 2001; JULIO et al., 2015; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015; XIANG-JIE, 2014; ZARE MEHRJERDI et al., 2015).

Contudo, até então os sistemas *fuzzy* na área de ambiência animal têm sido desenvolvidos apenas com o uso de um ou dois tipos de curvas de pertinência, sendo usadas comumente as triangulares ou trapezoidais. Sendo que em outras áreas, já existem estudos avaliando o uso de diferentes curvas de pertinência, como o trabalho realizado por Yilmaz e Arslan (2008). Portanto, objetivou-se com a presente pesquisa, desenvolver diferentes modelos *fuzzy*, aplicando diferentes curvas de pertinência a cada um e avaliando quais são os melhores modelos para prever o desempenho de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalações e sistemas de iluminação, aquecimento, ventilação e resfriamento

Para o desenvolvimento e teste dos modelos *fuzzy* com diferentes curvas de pertinência, três aviários comerciais (convencional, túnel com pressão negativa e *dark house*) para a criação de frangos de corte foram avaliados durante 1 ano. Os aviários estão localizados no município de Concórdia – SC, com clima Cfa de acordo com Köppen (PEEL et al., 2007), ou seja, clima temperado úmido com verão quente.

O aviário no sistema convencional (Figura 1) possuía as seguintes características: Largura de 12 m, comprimento de 100 m e pé-direito de 2,4 m; cobertura em duas águas com telhas de cimento amianto com 6 mm de espessura; orientação da cumeeira no sentido Leste-Oeste; muretas laterais com 0,45 m de altura; forro e cortinas laterais na cor amarela; 2 linhas de iluminação com 16 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W cada, totalizando 32 lâmpadas; aquecimento dos pintinhos nas fases iniciais feito por radiação por meio de tambor a lenha e campânulas a gás; 10 ventiladores com motor de indução monofásico com potência de 0,5 CV e vazão entre 240 a 280 m³ min⁻¹

(ventilador 3 pás), dispostos no sistema de ventilação cruzada (pressão positiva); 4 linhas com 10 nebulizadores cada, distribuídas longitudinalmente no aviário, totalizando 40 emissores de água, sendo nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm^{-2}) com vazão de $6,5 \text{ L h}^{-1}$, sendo que, o sistema moto-bomba trifásico possuía 7 CV de potência. A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

O acionamento dos ventiladores ocorria em três estágios: estágio 1 (4 ventiladores) era ligado com t_{bs} de $27,0 \text{ }^\circ\text{C}$; estágio 2 (8 ventiladores) era ligado com $27,2 \text{ }^\circ\text{C}$ e estágio 3 (10 ventiladores) ligado a partir de $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Os nebulizadores eram acionados quando a umidade relativa era menor que 70%. O programa de luz adotado foi: do 1º ao 3º dia 24 horas de luz (L) e 0 horas de escuro (E) (24L:0E), do 4º ao 7º dia 22L:2E, 8º ao 21º dia 20L:4E e do 22º dia até o abate 16L:8E. Água e ração eram fornecidas *ad libitum*.

Figura 1 - Visão do aviário sistema convencional.



Fonte: Do autor (2017).

O aviário no sistema pressão negativa (Figura 2) possuía as seguintes características: Largura de 12 m, comprimento de 100 m e pé-direito de 2,4 m; cobertura em duas águas com telhas cerâmicas tipo francesa; orientação da cumeeira no sentido Leste-Oeste; muretas laterais de 0,43 m de altura; forro e cortinas laterais na cor amarela; 2 linhas de iluminação com 16 lâmpadas fluorescentes compactas de 25W cada, totalizando 32 lâmpadas; aquecimento dos pintinhos nas fases iniciais realizado com campânulas a gás; ventilação em modo túnel (pressão negativa) com 8 exaustores de 3 pás, diâmetro de 1,80 m, motor de indução monofásico, potência de 1 CV e vazão entre 441 a 564 m³ min⁻¹; 8 linhas com 8 nebulizadores distribuídos paralelamente à largura do aviário, totalizando 64 emissores de água, sendo nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm⁻²), com vazão de 6,5 L h⁻¹ e sistema moto-bomba de 2 CV bifásico. A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

O acionamento dos exaustores ocorria em quatro estágios: estágio 1 (2 exaustores) correspondia à condição de ventilação mínima, permanecendo sempre ligado; estágio 2 (4 exaustores) ligava com $t_{bs} \geq 28$ °C; estágio 3 (6 exaustores) ligava com $t_{bs} \geq 29$ °C e estágio 4 (8 exaustores) ligava com $t_{bs} \geq 30$ °C. Os nebulizadores eram acionados com $t_{bs} \geq 31$ °C. O programa de luz adotado foi: do 1º ao 2º dia 24L:0E, do 3º ao 7º dia 23L:1E, 8º ao 35º dia 14L:10E e do 36º dia até o abate 22L:2E. Água e ração eram fornecidas *ad libitum*.

Figura 2 - Visão do aviário sistema Pressão Negativa.

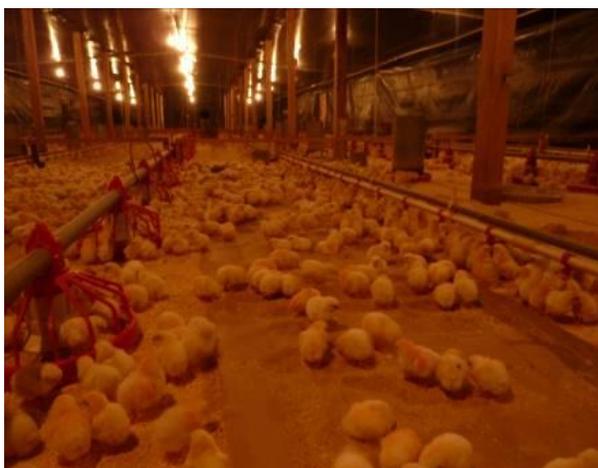


Fonte: Do autor (2017).

O aviário no sistema *dark house* (Figura 3) possuía as seguintes características: Largura de 12 m, comprimento de 100 m e pé-direito de 2,2 m cobertura em duas águas com telhas cerâmicas tipo francesa; orientação da cumeeira no sentido Leste-Oeste; muretas laterais de 0,45 m de altura; cortinas laterais na cor preta na face interna e prata na face externa; 2 linhas de iluminação com 20 lâmpadas incandescentes de 100W cada, totalizando 40 lâmpadas; aquecimento dos pintinhos era feito com sistema de fornalha a lenha; ventilação em modo túnel (pressão negativa) com 8 exaustores de 3 pás, diâmetro de 1,80 m, motor de indução trifásico, potência de 1 CV e vazão entre 441 a 564 m³ min⁻¹; 8 linhas com 8 nebulizadores distribuídos paralelamente à largura do aviário, totalizando 64 emissores de água, sendo nebulizadores de alta pressão (180 kgf cm⁻²), com vazão de 6,5 L h⁻¹ e sistema moto-bomba de 7 CV trifásico; sistema de resfriamento evaporativo do tipo placa de tijolo umedecido, com 2 placas de 15 m de comprimento cada e 3 linhas com 18 nebulizadores distribuídos externamente na placa de tijolo (totalizando 54 emissores de água). A cama era composta por maravalha nova ao início do primeiro lote.

O acionamento dos exaustores ocorria em quatro estágios: estágio 1 (2 exaustores) correspondia à ventilação mínima ($t_{bs} \leq 22$ °C); estágio 2 (4 exaustores) acionados com t_{bs} igual a 23 °C; estágio 3 (6 exaustores) acionados com t_{bs} igual a 24 °C e estágio 4 (8 exaustores) acionados com t_{bs} igual a 25 °C. As placas evaporativas e os nebulizadores eram acionados com UR menores que 70% e 65%, respectivamente. O programa de luz adotado foi: do 1° ao 3° dia 24L:0E com intensidade luminosa de 100 lux, do 4° ao 21° dia 10L:14E com intensidade luminosa de 3 lux, do 22° ao 35° dia 8L:16E com intensidade luminosa de 3 lux e do 36° dia até o abate 22L:2E com intensidade luminosa de 3 lux. Água e ração eram fornecidas à vontade (*ad libitum*).

Figura 3 - Visão do aviário sistema *dark house*.



Fonte: Do autor (2017).

Animais e medições

Para cada aviário descrito acima, o ambiente térmico foi monitorado a cada 2 horas durante todo o ciclo de vida das aves, em 6 lotes de frangos de corte da linhagem Cobb. As variáveis avaliadas foram as térmicas e as respostas produtivas das aves.

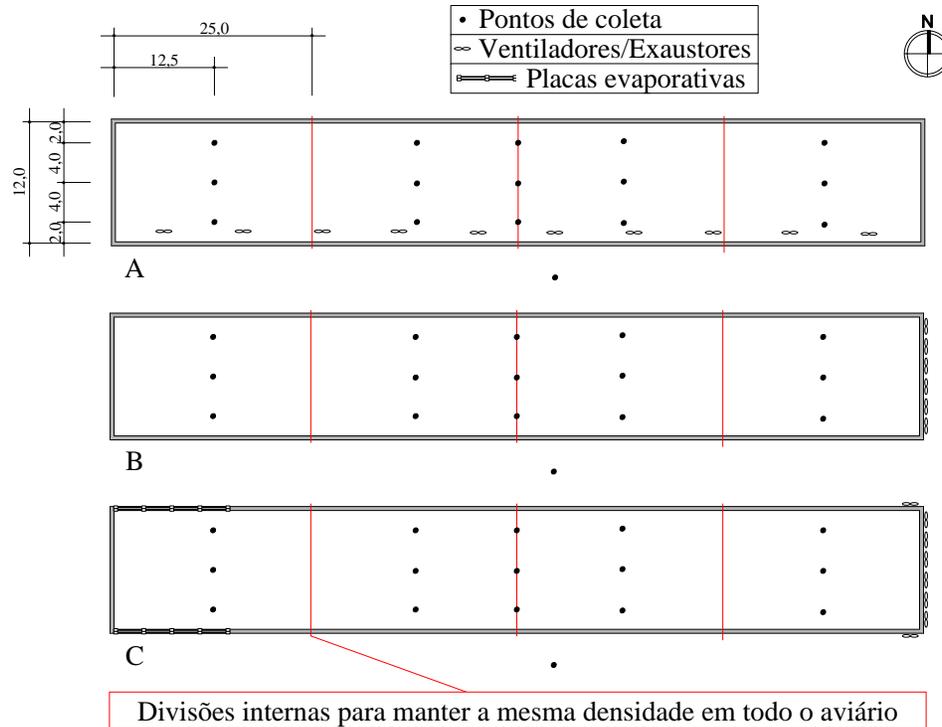
As variáveis térmicas (t_{bs} e UR) foram coletadas em 12 pontos distribuídos uniformemente no interior do aviário e um ponto externo (Figura 4), à altura de 30 cm da cama, registradas a cada 2 horas por seis lotes consecutivos com a ajuda dos sensores para t_{bs} (HOMIS 404A, precisão de $\pm 0,5$ °C e resolução de 0,1 °C), e UR (HOMIS 404A, precisão de $\pm 2,5\%$ e resolução de 0,1%). Além da t_{bs} e UR o ambiente no interior foi caracterizado por meio da entalpia (H), calculada por meio da equação 1 (ALBRIGHT, 1990).

$$H = 1,006 t_{bs} + W (2501 + 1,805 t_{bs}) \quad (1)$$

sendo, H a entalpia ($\text{kJ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$), t_{bs} a temperatura de bulbo seco do ar (°C) e W a razão de mistura ($\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$). Por sua vez, W foi calculada pela equação 2 em função da pressão atual de vapor-d'água (ea, kPa) e da pressão atmosférica do local (P_{atm} , kPa).

$$W = 0,622 (ea / P_{\text{atm}}) \quad (2)$$

Figura 4 - Croqui dos aviários, A – sistema convencional, B – sistema pressão negativa e C – sistema *dark house* com esquema de distribuição dos sensores. (Unidade: metros).



Fonte: Do autor (2017).

As respostas produtivas avaliadas foram o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP), a conversão alimentar (CA) e o índice de eficiência produtiva (IEP). O CR foi calculado em função da quantidade de ração consumida durante o período considerado dividido pelo período em dias. O GP foi obtido pela diferença entre o peso vivo das aves ao final e ao início de um período de tempo considerado. A CA foi obtida pela relação entre a quantidade de ração consumida e o ganho de peso correspondente ao período de tempo considerado. O IEP (adimensional) que é um índice que leva em consideração o peso vivo (P, kg), a viabilidade (V, %), a idade (dias) e a conversão alimentar

(CA, g g⁻¹), foi calculada pela equação 3. A viabilidade é a diferença entre as aves alojadas e as retiradas para o abate, em percentagem.

$$IEP = ((P \cdot V)/(I \cdot CA)) \cdot 100 \quad (3)$$

Desenvolvimento e validação dos modelos *fuzzy* com diferentes curvas

Conforme utilizado por vários autores, o método de inferência de Mandani (MANDANI, 1976) foi utilizado para o desenvolvimento dos diferentes modelos *fuzzy* (PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015). Esse método 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; FILETI; SILVA, 2010). Como variáveis de entrada foram definidas as entalpias (H) nas diferentes fases de vida dos frangos (Tabela 1).

Os limites de conforto/desconforto da entalpia para cada fase de vida dos frangos de corte foram calculados por meio dos limites de temperatura e umidade relativa indicados por diversos autores para cada uma das fases de vida dos frangos (Tabela 1).

Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas e entalpias ideais para frangos de corte em cada fase de vida.

Fase de vida (descrição)	Limites de temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Limites de entalpia (H)
1 (1ª semana de vida - fase inicial)	32 – 34	60 – 80	80,0 – 91,7
2 (2ª semana de vida - fase inicial)	28 – 32	60 – 80	72,0 – 86,5
3 (3ª semana de vida - fase inicial)	26 – 28	60 – 80	68,2 – 77,1
4 (4ª e 5ª semana de vida - fase crescimento)	18 – 26	60 – 80	54,8 – 72,8
5 (6ª semana de vida - fase final)	18 – 24	60 – 80	54,8 – 68,7

Fonte: Adaptado de Cândido et al. (2016), Cassuce et al. (2013) e Medeiros, Baêta e Oliveira (2005).

Através das combinações das fases de vida dos frangos e da entalpia (H), foram definidas 243 regras, sendo que para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a 1, pelo fato de todas as regras possuírem a mesma importância na determinação das respostas do modelo (PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2013, 2014; YANAGI JUNIOR et al., 2012).

As regras foram definidas em forma de sentenças linguísticas com base nos dados coletados experimentalmente e com o auxílio de 4 especialistas com experiência em ambiência animal e modelagem *fuzzy* por mais de dez anos, escolhidos conforme metodologia proposta por Cornelissen et al. (2002), empregado por Schiassi et al. (2015) e Yanagi Junior et al. (2012).

Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, os diferentes modelos *fuzzy* predizem as variáveis de saída CR, GP, CA e IEP. A defuzificação foi feita utilizando-se o método do centro de gravidade (Centroide ou Centro de Área), que considera todas as alternativas de

saída, convertendo o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (LEITE; FILETI; SILVA, 2010).

Para cada uma dessas variáveis de saída, foram definidas as curvas de pertinência das variáveis de entrada e saída através da combinação de três curvas distintas, triangular, trapezoidal e gaussiana, totalizando nove modelos para cada variável, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Combinações das curvas de pertinência nas variáveis de entrada e saída.

Modelos	Variável de entrada	Variável de saída
1	Triangular	Triangular
2	Triangular	Trapezoidal
3	Triangular	Gaussiana
4	Trapezoidal	Triangular
5	Trapezoidal	Trapezoidal
6	Trapezoidal	Gaussiana
7	Gaussiana	Triangular
8	Gaussiana	Trapezoidal
9	Gaussiana	Gaussiana

Fonte: Do autor (2017).

Para realizar a validação dos modelos *fuzzy* desenvolvidos foram utilizados os dados mensurados nos aviários comerciais.

As simulações foram empregadas com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564* (R2011b), no qual todas as modelagens foram elaboradas. Na avaliação dos modelos propostos, as respostas produtivas simuladas e observadas foram comparadas por meio do desvio-padrão e do erro percentual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes dos modelos *fuzzy* foram realizados com base no intervalo de dados coletados experimentalmente (Tabela 3), sendo que os intervalos para

cada função de pertinência das variáveis de saída foram adotados de forma a resultar nos menores erros possíveis quando comparados com os dados obtidos experimentalmente.

Tabela 3 - Valores médios de entrada e saída coletados nos experimentos e utilizados nos modelos *fuzzy*.

Sistemas de produção comercial	Lotes	Variáveis de entrada					Variáveis de saída			
		Entalpia nas fases de vida (kJ kg de ar seco ⁻¹)					CR (g)	GP (g)	CA (g g ⁻¹)	IEP
		1	2	3	4	5				
<i>Dark house</i>	1	74,98	66,52	67,91	66,79	65,18	132,01	3137	1,61	333
	2	73,09	70,60	69,40	70,66	70,25	116,92	2807	1,47	387
	3	74,85	72,57	70,36	68,98	65,08	108,72	2528	1,51	383
	4	73,50	73,62	70,79	68,96	68,16	111,54	2546	1,49	392
	5	73,21	73,68	70,85	68,98	67,02	124,54	3018	1,44	400
	6	70,58	67,95	67,73	65,25	60,66	116,11	2820	1,45	406
Convencional	1	72,74	64,24	72,61	66,72	67,18	112,98	2422	1,90	268
	2	74,27	70,67	70,29	72,24	72,59	109,14	2417	1,75	300
	3	80,45	70,70	71,94	70,04	69,30	109,42	2469	1,70	214
	4	69,64	73,51	71,24	70,90	68,98	119,21	2985	1,55	347
	5	73,87	70,46	68,05	69,31	65,06	118,87	2818	1,70	314
	6	77,97	73,26	74,67	70,30	63,89	116,45	2815	1,58	352
Pressão negativa	1	73,15	66,46	73,95	68,24	67,70	119,32	2730	1,65	328
	2	73,24	74,02	72,13	73,30	71,85	100,59	2113	1,68	325
	3	77,84	75,79	71,24	70,04	68,84	121,40	3081	1,46	370
	4	78,03	75,88	71,73	70,20	69,10	114,72	2829	1,46	393
	5	77,11	73,27	70,75	69,39	67,48	114,28	2888	1,45	383
	6	73,20	71,82	73,07	68,46	65,32	112,89	2827	1,44	404

Fonte: Do autor (2017).

Os tipos de curvas de pertinência que melhor representaram o conjunto de dados das variáveis entrada e de saída para o CR e GP foram a gaussiana e a triangular, respectivamente (Tabela 4). Os desvios-padrão e erros percentuais médios observados foram de 3,99 e 4,86% e de 141,42 e 7,75% para o CR e GP, respectivamente. Enquanto que, para as variáveis de entrada não se observou na literatura o uso da curva de pertinência gaussiana, para as variáveis de saída diversos autores propuseram o uso da curva de pertinência triangular (ABREU et al., 2015; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015). Os desvios-padrão médios e erros percentuais relacionados aos sistemas ajustados por estes autores para a variável CR foram de 1,19 g e 0,20%, 4,31 g e 2,38% e 4,15 g e 2,12%, e para GP foram de 2,09 g e 0,49%, 4,76 g e 2,94% e 3,10 g e 2,74%, respectivamente.

O tipo de curva de pertinência trapezoidal foi que resultou em menores valores médios de desvio-padrão e erro percentual para a CA (0,06 e 4,69%, respectivamente) quando usados nas variáveis de entrada e saída. Esse comportamento corrobora com os resultados de sistemas *fuzzy* desenvolvidos por diversos autores (OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; PANDORFI et al., 2007; SANTOS et al., 2009).

Com relação ao IEP, o tipo de curva de pertinência que melhor representou o conjunto de dados de entrada e de saída foi a gaussiana, com desvio-padrão médio de 22,20 e erro percentual médio de 11,35%. Em estudo realizado por Yilmaz e Arslan (2008), avaliando modelos com diferentes curvas de pertinência nas variáveis de entrada para o cálculo das alturas geográficas, em Istambul (Turquia), os autores ressaltam que o modelo usando a curva de pertinência gaussiana foi o que obteve o melhor resultado.

Os sistemas *fuzzy* compostos por curvas de pertinência triangulares nas variáveis de entrada foram os que resultaram em maiores valores médios de desvio-padrão e erro percentual. Este comportamento, no geral, deve-se à existência de faixas bem delimitadas para os conjuntos *fuzzy* de entrada com alteração gradual entre estes conjuntos. Para estas variáveis, a existência de

um ponto com grau de pertinência 1 e variação linear a partir deste ponto não foi adequado. Ademais, o comportamento da curva gaussiana também se assemelha mais as variações observadas nos seres vivos que nem sempre produzem comportamentos descritos por curvas triangulares e/ou retangulares.

Tabela 4 - Desvios-padrão médios e erros percentuais médios (entre parênteses) entre os valores medidos e simulados de consumo de ração (CR, g), ganho de peso médio (GP, g), conversão alimentar (CA, g g⁻¹) e índice de eficiência produtiva (IEP, adimensional) para as diferentes curvas de pertinência utilizadas.

Entrada \ Saída	CR			GP		
	Triangular	Trapezoidal	Gaussiana	Triangular	Trapezoidal	Gaussiana
Triangular	4,70 (5,58%)	4,58 (5,45%)	4,58 (5,45%)	161,85 (8,52%)	163,42 (8,59%)	163,42 (8,59%)
Trapezoidal	4,05 (4,92%)	4,16 (5,05%)	4,16 (5,06%)	143,78 (7,89%)	146,53 (8,04%)	144,96 (7,96%)
Gaussiana	3,99 (4,86%)	4,03 (4,90%)	4,08 (4,96%)	141,42 (7,75%)	143,23 (7,84%)	144,17 (7,90%)

Entrada \ Saída	CA			IEP		
	Triangular	Trapezoidal	Gaussiana	Triangular	Trapezoidal	Gaussiana
Triangular	0,09 (8,51%)	0,09 (8,39%)	0,09 (8,42%)	34,06 (14,16%)	34,41 (14,26%)	34,33 (14,23%)
Trapezoidal	0,06 (5,03%)	0,06 (4,96%)	0,06 (5,00%)	24,24 (12,13%)	24,51 (12,29%)	24,59 (12,33%)
Gaussiana	0,06 (5,19%)	0,06 (5,04%)	0,06 (5,08%)	22,90 (11,58%)	22,31 (11,40%)	22,20 (11,35%)

Fonte: Do autor (2017).

Pode-se observar que os desvios-padrão médios e erros percentuais médios (entre parênteses) para os diferentes sistemas *fuzzy* variaram entre 3,99 g (4,86%) e 4,70 g (5,58%) para CR, 141,42 g (7,75%) e 163,42 g (8,59%) para GP, 0,06 g g⁻¹ (4,96%) e 0,09 g g⁻¹ (8,51%) para CA e 22,20 (11,35%) e 34,41 (14,26%) para IEP. Portanto, todos os modelos propostos considerando a combinação das diferentes curvas de pertinência são capazes de estimar com certa eficiência o desempenho produtivo de frangos de corte.

Entretanto, a seleção de um tipo de curva de pertinência ou a combinação de vários tipos depende do comportamento da variável a ser estudada, sendo que, a estatística descritiva pode ser usada para a seleção da melhor configuração para o desenvolvimento do modelo *fuzzy*, permitindo a redução dos erros. Para as variáveis estudadas, as reduções observadas dos valores médios de desvio-padrão e de erro percentual médio foram de 0,71 g e 0,72% para CR, de 22,00 g e 0,84% para GP, de 0,03 g g⁻¹ e 3,55% para CA e de 12,21 e 2,91% para IEP.

CONCLUSÕES

As curvas de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana usadas no desenvolvimento dos modelos *fuzzy* propiciam respostas adequadas para a predição do consumo de ração médio diário, ganho de peso, conversão alimentar e índice de eficiência produtiva de frangos.

Entretanto, a seleção dos tipos de curvas para representar as variações de entrada e saída depende do comportamento dessas variáveis e devem ser estudadas caso a caso para que se obtenha os menores erros de simulação possíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES, ao CNPq e à EMBRAPA Suínos e Aves pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABORISADE, D. O.; STEPHEN, O. Poultry house temperature control using Fuzzy-PID controller. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, Chennai, v. 11, n. 6, p. 310-314, 2014.
- ABREU, L. H. P. et al. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35 n. 6, p. 967-978, 2015.
- ABREU, P. G. et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 795-801, jul. 2012.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453p. (ASAE Textbook, 4).
- BARACHO, M. S. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.
- BOIAGO, M. M. et al. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.
- CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairy cattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, p. 1079-1089, 2013.
- CÂNDIDO, M. G. et al. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 760-767, 2016.
- CASSUCE, D. C. et al. Atualização da temperatura de conforto térmico para frangos de corte de até 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013.

CASTRO, J. O. **Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos**. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CASTRO, J. O. et al. Estimate of the weight of Japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 108-116, 2012.

CORNELISSEN, A. M. G. et al. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, Rotterdam, v. 95, n. 1, p. 1-18, Sept. 2002.

FERRAZ, P. F. P. et al. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 559-568, 2014.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 31, n. 1, p. 61-74, 2001.

JULIO, Y. F. H. et al. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellin, v. 28, p. 42-53, 2015.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

MANDANI, E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, London, v. 8, n. 6, p. 669-678, 1976.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, 2005.

MIRZAEI-GHALEHV, E. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 110, p. 187-195, 2015.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica *fuzzy* na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 83-92, 2007.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, Munich, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema *fuzzy* para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 446-458, jun. 2012.

RENAUDEAU, D. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.

SANTOS, G. B. et al. Estudo biológico das regiões litorâneas, agreste e semiárida do estado de Sergipe para a avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 123-128, 2014.

SANTOS, R. C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-6, ago. 2009.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem *fuzzy* aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), Campina Grande, v. 19, p. 140-146, 2015.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem *fuzzy* em parâmetros de bem-estar humano. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2013.

SCHIASSI, L. et al. Thermal-acoustic comfort index for workers of poultry houses using fuzzy modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications** (IJERA), Berlin, v. 4, n. 9, p. 60-64, Sept. 2014.

XIANG-JIE, N. Research on the temperature control algorithm of the poultry farm. **Applied Mechanics and Materials**. Zurich, v. 602, p. 1206-1209, 2014.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2011.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Procedimento *fuzzy* aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 423-434, maio/jun. 2012.

YILMAZ, M.; ARSLAN, E. Effect of the Type of Membership Function on Geoid Height Modelling with Fuzzy Logic. **Survey Review**, Surrey, v. 40, n. 310, p. 379-391, 2008.

ZARE MEHRJERDI, M. R. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Journal of Livestock Science and Technologies**, Foulum, v. 3, n. 1, p. 34-40, 2015.