



PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO

**PREDIÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO E
TEMPERATURA RETAL DE FRANGOS DE
CORTE DURANTE OS PRIMEIROS 21 DIAS DE
VIDA**

LAVRAS - MG

2011

PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO

**PREDIÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO E TEMPERATURA
RETAL DE FRANGOS DE CORTE DURANTE OS PRIMEIROS 21 DIAS
DE VIDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Dr. Renato Ribeiro de Lima

Dr. Vítor Hugo Teixeira

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Ponciano, Patrícia Ferreira.

Predição do desempenho produtivo e temperatura retal de frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida / Patrícia Ferreira Ponciano. – Lavras : UFLA, 2011.

96 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Pintinhos. 2. Conforto térmico. 3. Modelagem matemática. 4. Sistema *fuzzy*. 5. Ambiência na avicultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.513

PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO

**PREDIÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO E TEMPERATURA
RETAL DE FRANGOS DE CORTE DURANTE OS PRIMEIROS 21 DIAS
DE VIDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2011.

Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Dr. Francisco Carlos Gomes	UFLA
Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento	UFMG
Dr. Sérgio Martins de Souza	UFLA

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

LAVRAS - MG

2011

A Deus

A João Bosco, meu pai, e Miriam, minha mãe, pelo amor, confiança, apoio e dedicação impulsionando-me a seguir em frente e por serem meus exemplos de vida

A Gabriel, por todo amor, carinho, companheirismo e por sempre me incentivar e apoiar

A Lucila e a Cilene por estarem presentes em todos os momentos e por acreditarem em meu esforço

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado;

Ao professor Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pela orientação, amizade, convivência, paciência, confiança, pelo apoio durante o desenvolvimento dos trabalhos e por toda a transmissão de conhecimentos;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da UFLA, em especial, ao professor Dr. Sebastião Pereira Lopes, pela oportunidade concedida, confiança depositada e, principalmente, pelos ensinamentos transmitidos;

Aos proprietários e funcionários da Granja Ohara, por toda a ajuda e disponibilidade de sua empresa para a realização deste trabalho;

Aos professores Dr. Alessandro Torres Campos, Dr. Renato Ribeiro de Lima e Dr. Vítor Hugo Teixeira por serem meus coorientadores e por muito me ajudarem na realização deste trabalho;

Ao amigo Leonardo Schiassi, por sua ajuda valiosa durante o desenvolvimento do meu experimento;

Aos amigos e colegas que estiveram sempre ao meu lado e contribuíram para que a conclusão de meu curso fosse possível.

“Eu acredito demais na sorte. E tenho constatado que, quanto mais duro eu trabalho, mais sorte eu tenho.”

Thomas Jefferson

RESUMO

Entre os diversos desafios enfrentados pela avicultura de corte, o ambiente de criação se destaca por sua importância. Quando as condições do ambiente interno no galpão avícola não são adequadas e os animais são expostos a condições de estresse térmico, isto ocasiona uma diminuição do seu bem-estar e compromete o seu crescimento e produção. Um animal pode demonstrar seu conforto ou desconforto em suas respostas produtivas e fisiológicas. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral prever respostas produtivas e a temperatura retal de frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida. O presente trabalho foi realizado em uma granja avícola comercial localizada na mesorregião Oeste de Minas Gerais durante a estação da primavera de 2010 utilizando dois galpões com distintos sistemas de aquecimento (galpão A-fornalha artesanal com queima de biomassa, galpão B – fornalha industrial com queima de biomassa), os quais foram utilizados para a criação de 28.000 frangos machos da linhagem Cobb por galpão. Para prever o desempenho produtivo dos pintinhos, um sistema de inferência *fuzzy* foi desenvolvido baseado em dados da literatura. O sistema *fuzzy* foi estruturado com base em três variáveis de entrada: idade das aves (semanas), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%), sendo que as variáveis de saída consideradas foram: ganho de peso (g), consumo de ração (g) e conversão alimentar ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). O sistema *fuzzy* proposto previu satisfatoriamente as variáveis respostas, sendo que, os coeficientes de determinação foram de 0,995, 0,998, 0,976 respectivamente. O ganho de peso previsto pela lógica *fuzzy* foi validado com dados experimentais de campo, em qual se obteve o coeficiente de determinação 0,9753, apresentando grande potencial de uso em sistemas de climatização automatizado. Para a previsão da temperatura retal, quatro modelos empíricos foram ajustados em função da idade (dias) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), idade e índice de temperatura e umidade (ITU) (adimensional), idade e índice da temperatura do globo e umidade (ITGU) (adimensional) e idade e entalpia (kJ kg^{-1} de ar seco). Foi possível prever satisfatoriamente a temperatura retal de frangos de corte pelos quatro modelos gerados, sendo que os erros percentuais médios foram de 0,66%, 0,65%, 0,66% e 0,68%, respectivamente.

Palavras-chave: Conforto térmico. Modelagem matemática. Pintinhos.

ABSTRACT

Among the challenges facing the poultry industry, it can be highlighted the importance of the animal welfare at the poultry unit. When the conditions in the poultry house are inappropriate and the animals are exposed to heat stress, it leads to a reduction in their welfare, affecting their growth and production. The actions of an animal can be indicative of their comfort or discomfort, which shows in their productive and physiological responses to such a situation. Therefore, this research aims at predicting the productive responses and rectal temperature of broilers in their first 21 days of life. The present research was conducted at commercial poultry farm located in west midland region of Minas Gerais during the spring of 2010, more precisely in two broiler units equipped with different heating systems (building A - handcraft furnace, building B - industry furnace), each one of them producing 28.000 Cobb males. It was developed a fuzzy inference system based on literature data in order to predict the performance of chicks. The fuzzy system was structured on three input variables: broiler chicken age (weeks), temperature ($^{\circ}\text{C}$) and relative humidity (%) and the output variables were: weight gain, feed intake and feed conversion. The proposed *fuzzy* system predicted the output variables satisfactorily. The coefficients of determination were 0.995; 0.998; and 0.976, respectively. The weight gain predicted by the fuzzy system was validated by the experimental field data in which a 0.9753 coefficient of determination was obtained, considered potentially relevant for application in automatic acclimatization systems. With the aim of predicting the rectal temperature, four empirical models were adjusted for age (days) and air temperature ($^{\circ}\text{C}$); age and temperature and humidity index (THI) (dimensionless); age and the black globe humidity and temperature index (BGHTI) (dimensionless), and age and enthalpy ($\text{kJ kg}_{\text{dry air}}^{-1}$). It was possible to predict the rectal temperature of broilers satisfactorily by applying the four models generated by this study; which presented the respective average percentage errors: 0.66%, 0.65%, 0.66% and 0.68%.

Keywords: Thermal comfort. Mathematical modeling. Chicks.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1 Curvas de pertinência das variáveis de entrada da lógica fuzzy: (a) Idade do frango de corte, (b) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) Umidade relativa (%). Pertinence curves for the *fuzzy* input variables: (a) Broiler chickens age, (b) Temperature ($^{\circ}\text{C}$), (c) Relative humidity (%) 53
- Figura 2 Curvas de pertinência para as variáveis de saída: (a) Consumo de ração (g), (b) Ganho de peso (g) e (c) Conversão alimentar (g g^{-1}). Pertinence curves for *fuzzy* output: (a) Feed intake (g), (b) Weight gain (g) and (c) Feed conversion (g g^{-1}) 54
- Figura 3 Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango. Placement of temperature and relative humidity data loggers in broiler unit 58
- Figura 4 Regressões lineares para as variáveis de saída (a) consumo de ração (CR), (b) ganho de peso (GP), (c) conversão alimentar (CA) em função dos valores preditos pela lógica fuzzy e os valores medidos pela literatura. Linear regressions for the output variables (a) feed intake (CR), (b) weight gain (GP), (c) feed conversion (CA) according to the values predicted by the fuzzy logic and measured in the literature..... 62
- Figura 5 Regressão linear para o ganho de peso (GP), em função dos valores preditos pela lógica *fuzzy* e os valores medidos em experimentação no campo. Linear regression for the weight gain (GP) as a function of the values predicted by the *fuzzy* logic and the values measured on field..... 63
- Figura 6 *Box-plot* e frequência de ocorrências de temperaturas (FOT, %) (a e c, respectivamente) e umidades relativa (FOUR, %) (b e d, respectivamente) nas três primeiras semanas de vida da ave. *Box-plot* and frequency of temperature occurrence (FOT, %) (a and c, respectively) and relative humidity (FOUR, %) (b and d, respectively) in the first three weeks of life of broiler chicken..... 65

ARTIGO 2

- Figura 1 Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de tar, UR, t_{po} e t_{gn} nos galpões de frango. Placement data loggers for t_{air}, relative humidity, dew temperature and black globe temperature in broiler units 78
- Figura 2 *Box-plot* da t_{ar} (a), ITU (b), ITGU (c) e H (d) dos dois galpões durante os 40 minutos anteriores à medição da t_{retal} nos três períodos

de coleta para os 21 dias experimentais, e, suas faixas ideais indicadas pela literatura. <i>Box-plot</i> for t_{air} , THI (a), BGHI (b) and H (d) measured 40 minutes before the measurement of t_{rectal} for the experimental period and their ideal intervals as recommended by the literature	82
Figura 3 Relação funcional entre os valores estimados e observados da t_{rectal} em função da idade dos frangos de corte (I, dias) e da (a) t_{ar} , (b) ITU, (c) ITGU e (d) H. Functional relationship between estimated and observed t_{rectal} values as a function of the broiler chickens age (I, days) and the (a) t_{air} , (b) ITU (c) ITGU and (d) H	86
Figura 4 Entalpias estimadas (\tilde{H}) e t_{retais} estimadas durante os primeiros 21 dias por meio de equações ajustadas em função da idade, t_{ar} , ITU e ITGU consideradas ideais pela literatura e t_{rectal} . Enthalpy (\tilde{H}) and t_{rectal} estimates for the first 21 days using equations adjusted for age, t_{air} , THI and BGHI considered ideal by the literature.....	91

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1 Conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada. *Fuzzy sets for the input variables* 52
- Tabela 2 Sistema de regras da inferência *fuzzy* para as características idade das aves (I), temperatura (T) e umidade relativa (UR). *Fuzzy inference system based on rules for the characteristics broiler chicken age (I), temperature (T) and relative humidity (RH)*..... 56
- Tabela 3 Comparação dos valores de consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) obtida por meio de dados experimentais oriundos da literatura (ME) e sistema *fuzzy* (SF). *Comparison of values for feed intake (CR), weight gain (GP) and feed conversion (CA) obtained from experimental data suggested by literature (ME) and fuzzy system (SF)*..... 61

ARTIGO 2

- Tabela 1 Intervalo de t_{rectal} em função das faixas de t_{air} , ITU e ITGU indicados pela literatura para frangos de corte. t_{rectal} interval as a function of t_{air} , THI and BGHI recommended by the literature on broiler chicken 87

LISTA DE SIGLAS

CA	Conversão alimentar g g^{-1}
CR	Consumo de ração em g
CV	Cavalo vapor, unidade de potência
FR	Frequência respiratória em movimentos respiratórios minuto^{-1}
GP	Ganho de peso em g
H	Entalpia em kJ kg^{-1} de ar seco
ITGU	Índice de temperatura do globo e umidade relativa
ITU	Índice da temperatura e umidade relativa
R^2	Coefficiente de determinação
RPM	Rotações por minuto, unidade de velocidade angular
T	Temperatura em $^{\circ}\text{C}$
UR	Umidade relativa em %
V	Velocidade do ar em m s^{-1}

LISTA DE SÍMBOLOS

t_{retal}	Temperatura retal em °C
t_{pele}	Temperatura da pele em °C
t_{pena}	Temperatura da pena em °C
$\mu A(x)$	Grau de pertinência do valor x ao conjunto <i>fuzzy</i> A
I	Idade das aves
S	Semanas de vida da ave
t_{po}	Temperatura do globo negro em °C
t_{gn}	Temperatura do globo negro °C
L	Largura do galpão em metros
C	Comprimento do galpão em metros
ME	Valores medidos experimentalmente
SF	Sistema <i>fuzzy</i>
FOT	Frequência de ocorrências de temperatura em %
$FOUR$	Frequência de ocorrência de umidade relativa em %
t_{ar}	Temperatura do ar em °C
\tilde{H}	Entalpia estimada em kJ kg^{-1} de ar seco

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Ambiência na avicultura	18
2.2	Sistemas de aquecimento	23
2.3	Respostas fisiológicas de frangos de corte	26
2.4	Desempenho produtivo de frangos de corte	28
2.5	Análise do conforto ambiental	29
2.6	A lógica <i>fuzzy</i>	30
2.7	Diferença entre lógica clássica e lógica <i>fuzzy</i>	31
2.8	Estrutura da lógica <i>fuzzy</i>	33
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	36
	REFERÊNCIAS	37
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	46
	ARTIGO 1 Sistema <i>fuzzy</i> para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade	46
	ARTIGO 2 Ajuste de modelos empíricos para estimativa da temperatura retal de frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida	71

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O setor avícola tem investido cada vez mais em ferramentas que possam otimizar a produtividade de frangos de corte visando aumentar a competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor. Em função dessas demandas, é de fundamental importância conhecer os parâmetros que afetam essa atividade de forma a obter e conjugar a máxima produtividade de carne associada a um custo de produção menor. Dentre esses parâmetros, destacam-se a preocupação com a nutrição, o manejo, a sanidade, o melhoramento genético e também com a ambiência. Observa-se que, apesar da avicultura já ter conquistado altos índices de produção, a ambiência no interior do galpão ainda é uma fonte de variação primordial para a obtenção de alto desempenho produtivo.

Diversos estudos apontam para a interferência que o ambiente de criação exerce sobre a produtividade animal. Nesse sentido, sabe-se que o sistema de criação intensivo, que geralmente é adotado na produção de frangos de corte, influencia diretamente na condição de bem-estar das aves, interferindo no balanço de calor e massa do sistema aves-galpão, na qualidade química do ar e na expressão do comportamento natural dos animais, afetando, assim, o seu desenvolvimento e desempenho. A exploração intensiva da avicultura exige maiores densidades de criação, impondo crescente necessidade de um ambiente controlado. Consequentemente, faz-se necessário conhecer também as exigências de conforto térmico das aves.

Quando as condições ambientais no galpão avícola não são adequadas e os animais ficam expostos a condições de estresse térmico, ocorre uma deterioração do seu bem-estar, além de comprometer o seu crescimento e produção.

É de conhecimento geral que animais mantidos nas suas zonas de termoneutralidade evitam o desperdício de energia, seja ela na forma de energia metabólica contida na ração fornecida para os animais e gasta para a manutenção da temperatura corporal, seja na forma de energia elétrica, utilizada no funcionamento dos sistemas de climatização quando estes são acionados indevidamente. Mas os limites de termoneutralidade são fixados em medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação entre outras variáveis ambientais que geram imprecisão na análise das reais necessidades ambientais para as aves, em função da grande quantidade de fatores relacionados.

As metodologias matemáticas até então utilizadas para analisar o conforto térmico das aves não se mostraram atrativas para descrever a interação adequada das variáveis envolvidas na ambiência animal. Isto se deve à grande quantidade de informações existentes para a determinação das condições adequadas para o bem-estar dos animais nos galpões avícolas. Dessa forma, o uso dos conhecimentos da teoria dos conjuntos *fuzzy* é inovador. A modelagem dos conjuntos *fuzzy* constitui-se de técnicas que permitem o manuseio rigoroso de informações qualitativas. Esta teoria possibilita a utilização de variáveis linguísticas, interpretadas como números *fuzzy* e manipuladas pela aritmética *fuzzy*. Trata-se de uma metodologia interessante na tomada de decisão, facultando o controle do ambiente térmico no interior de galpões para produção de frangos de corte.

Além da influência da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, outro fator que afeta a definição da zona de conforto térmico é a idade do animal. As aves no período de 1 a 21 dias de idade ainda não possuem seu sistema termorregulatório amadurecido, nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente térmico. Por isso são menos resistentes a condições ambientais diferentes das suas zonas de

termoneutralidade, apresentando redução no seu crescimento devido a ajustes metabólicos e endócrinos em resposta ao ambiente térmico, além de altos índices de mortalidade, quando submetidas a algum tipo de estresse higrótérmico. Isto ocorre porque a energia que seria gasta para o crescimento da ave, é transferida para a sua regulação térmica, prejudicando o desenvolvimento do animal. Sendo assim, ressalta-se a importância de se adaptar o ambiente às condições ideais de bem-estar para as aves mais jovens.

Para atender as exigências de conforto térmico dos pintinhos, o aquecimento é fundamental no início da vida, dele dependendo o bom desenvolvimento destes animais. A fim de fornecer calor e proporcionar conforto térmico às aves, no período inicial de criação, vários tipos de aquecedores têm sido utilizados. A evolução desses equipamentos se deu sempre na busca de melhoria de transferência do calor com menor custo de energia. Dentre os aquecedores para galpões de frango de corte, destacam-se as fornalhas que se caracterizam por utilizar a biomassa como combustível. O calor é transmitido às aves principalmente por convecção, através do ar.

Neste contexto, o conhecimento do ambiente térmico no interior do galpão no planejamento e/ou readequação de instalações e equipamentos é de vital importância para que os frangos de corte atinjam todo o seu potencial produtivo e, no caso de aves mais jovens, como os pintinhos de 1 a 21 dias, atinjam o seu crescimento máximo.

Assim, esse trabalho propõe o desenvolvimento e validação de um sistema *fuzzy* para predição do ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar em frangos de corte na fase inicial de criação em função das variáveis relacionadas ao ambiente térmico. Também visa à predição da temperatura retal de frangos de corte em função da idade, temperatura do ar, índice da temperatura e umidade (ITU), índice da temperatura do globo e umidade (ITGU) e entalpia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial bibliográfico, será abordado o tema ambiência na avicultura, em especial o efeito da ambiência na criação de pintinhos na fase de aquecimento, bem como o sistema de aquecimento, as respostas fisiológicas e o desempenho produtivo das aves e a análise do ambiente térmico por meio da teoria dos conjuntos *fuzzy*.

2.1 Ambiência na avicultura

O notável progresso da avicultura de corte brasileira tem sido alcançado por meio de pesquisas nas áreas de genética, instalações, nutrição, manejo, sanidade e conforto ambiental. Todos estes estudos têm o propósito, de compreender melhor os fatores que influenciam o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte para a obtenção da máxima produtividade de carne associada ao menor custo de produção, sempre considerando o bem-estar das aves.

Dentre os diversos fatores que influenciam a produção de frangos de corte, os fatores ambientais, como a temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminância entre outros, assumem relevante importância no processo de criação dos animais (OLIVEIRA et al., 2006). Tais fatores exercem influência sobre o desempenho das aves porque afetam os mecanismos de transferência de calor e, assim, a regulação do balanço térmico entre o animal e o ambiente para manutenção da homeotermia (PERISSINOTTO; MOURA; CRUZ, 2007).

É sabido que os animais atingem a sua produtividade ótima quando são mantidos em ambiente termoneutro, ou seja, quando a energia do alimento não é desviada para compensar desvios térmicos em relação ao intervalo de termoneutralidade para eliminar ou manter o seu calor. Segundo Nazareno et al.

(2009), a zona de termoneutralidade está relacionada a um ambiente térmico ideal, no qual as aves encontram condições adequadas para expressar suas melhores características produtivas. A eficiência produtiva é maior quando os animais estão em condições de conforto térmico e não precisam acionar os mecanismos termorreguladores (SOUZA; SOUZA; SOUZA, 2005). A zona de conforto ou zona termoneutra varia de acordo com e dentro da mesma espécie animal. Para as aves, a zona termoneutra muda com sua constituição genética, idade, sexo, tamanho corporal, peso, dieta, estado fisiológico, exposição prévia ao calor (aclimatação), variação da temperatura ambiente, radiação, umidade e velocidade do ar (ABREU et al., 2000; TEETER; SMITH; WIERNUSK, 1992).

Salgado et al. (2007) afirmam que o excesso de frio e, principalmente, o excesso de calor, resultam em menor produtividade, afetando também o crescimento e a saúde das aves, o que, em situação extrema, pode ocasionar um acréscimo da mortalidade dos lotes.

A temperatura ambiente é considerada o fator físico de maior efeito no desempenho de frangos de corte, já que exerce grande influência no consumo de ração e, com isto, afeta diretamente o ganho de peso e a conversão alimentar destes animais. Aves submetidas a temperaturas ambientais fora da zona de termoneutralidade respondem com comportamentos alimentares e atitudes físicas características (CORDEIRO, 2007). É sabido que o consumo médio da água geralmente corresponde a duas vezes o consumo alimentar. Entretanto, essa relação aumenta em condições de temperaturas extremamente altas. O consumo alimentar é mais crítico no calor, devido aos níveis mais baixos de ingestão, que reduzem o consumo ideal de nutrientes (LANA et al., 2000).

Nos ambientes frios, quando a temperatura ambiental está abaixo da temperatura crítica inferior, os animais ativam, para manter o calor, através do centro termorregulador, localizado no sistema nervoso central, certos processos fisiológicos, como vasoconstrição, redução da frequência respiratória, elevação

da taxa metabólica, maior isolamento da pele com ereção das penas e produção de calor através da ocorrência de tremor muscular e arrepio (HAFEZ, 1973).

No período de 1 a 21 dias de idade, as aves, são consideradas pecilotérmicas, pois ainda não possuem o sistema termorregulador desenvolvido e nem reserva energética suficiente para conseguirem regular sua temperatura corporal. O intervalo de temperatura considerado confortável para a criação de frangos de corte na primeira semana de vida das aves situa-se entre 32 a 34°C, na segunda semana de vida, a faixa recomendada está entre 28 a 32°C e na terceira semana entre 26 a 28°C (OLIVEIRA et al., 2006). Já para aves adultas, a temperatura indicada está entre 20 a 27°C (ABREU et al., 2007; FURTADO; AZEVEDO; TINOCO, 2003). À medida que a ave se desenvolve, diminui sua resistência ao calor (MACARI; FURLAN; GONZALES, 2002). De acordo com Oliveira et al. (2006), dificilmente estes valores ideais de temperatura são encontrados em condições comerciais de produção. Furlan (2006) observou pintainhos criados em temperaturas de 35, 25 e 20 °C, constatando que aqueles criados na fase inicial em temperaturas abaixo da zona de conforto (20 °C) tiveram consumo de ração menor do que os criados em temperaturas de conforto (35 °C). Salienta-se que esse efeito foi mais acentuado a partir do terceiro dia de idade, observando também agregação dos animais.

A umidade relativa passa a ter grande significado no conforto térmico das aves, quando a temperatura ambiental atinge 25 °C (MENEGALI et al., 2009). Quanto maior a umidade relativa do ar, mais dificuldade a ave tem de remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho (OLIVEIRA et al., 2006). Na fase inicial de aquecimento dos frangos, níveis abaixo de 40% de umidade relativa são comuns, pois o excesso

de calor fornecido pelos aquecedores consome o oxigênio do ambiente, reduzindo muito a umidade relativa na altura das campânulas, além de favorecer a dispersão de vírus e bactérias em razão do aumento da concentração de poeiras (MOURA, 2001).

A umidade relativa considerada ideal varia de 50 a 80% (KOCAMAN et al., 2006; MEDEIROS, 2001; SARMENTO et al., 2005; TINÔCO, 2001). Oliveira et al. (2006) constataram que valores de UR de 42 e 72%, registrados em ambientes com alta temperatura, caracterizou ambientes de calor seco e de calor úmido, respectivamente, sendo que as aves criadas no calor seco foram submetidas a menor nível de estresse calórico.

Em relação à ventilação, esta apresenta função relevante, principalmente por razões higiênicas, fazendo-se a renovação do ar para evitar concentrações de gases indesejáveis dentro do aviário (NÄÄS et al., 2007b; TINÔCO, 2001). Deve-se conhecer a velocidade e principalmente a direção dos ventos nos galpões avícolas, levando-se em conta a orientação dos volumes para favorecer a ventilação nos períodos quentes ou controlá-la nos períodos frios e na fase inicial da vida da ave (TINÔCO, 2001).

Um componente extremamente relevante para produção avícola é a qualidade do ar. Os poluentes aéreos, quando alteram as características ideais do ar, favorecem o aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias e prejuízos no processo produtivo (ALENCAR; NÄÄS; GONTIJO, 2004; NÄÄS et al., 2007b). Uma renovação apropriada de ar fresco (ventilação) é importante na criação de pintos de corte. Deve-se buscar continuamente o equilíbrio entre temperatura e ventilação, pois os pintos necessitam de um bom fornecimento de oxigênio provindo da ventilação para manterem-se saudáveis (GRANJA PLANALTO, 2006).

A movimentação do ar no interior do galpão permite alterações e controle da pureza do ar, provendo o galpão de oxigênio e eliminando amônia,

CO₂ e outros gases nocivos, excesso de umidade e odores (ventilação com finalidade higiênica). Possibilita, também, dentro de certos limites, controlar a temperatura e a umidade do ar nos ambientes habitados (ventilação com finalidade térmica), de tal forma que o ar expedido, quente e úmido, seja substituído e assim aumente a perda calorífica por convecção (TINÔCO, 2001). Segundo o Manual do Frango de Corte da Granja Planalto (2006), os pintinhos são mais sensíveis à qualidade do ar do que as aves mais velhas. Sendo assim, o controle da movimentação do ar dentro dos galpões para as aves jovens deve ser feito com maior cautela. Segundo Bakker (2005), o sistema de ventilação mínima (higiênico) é utilizado em períodos frios durante as primeiras fases de vida das aves, com o objetivo de manter a qualidade do ar dentro das instalações, garantindo, assim, boas condições para máxima taxa de crescimento das aves. Um dos gases mais nocivos para os primeiros dias de vida da ave é a amônia. Com a movimentação de ar realizada de forma correta, os níveis de amônia podem ser mantidos em teores adequados, abaixo de 10 ppm no interior do galpão, porque o excesso de amônia pode reduzir em até 20% o ganho de peso de aves com 7 dias de idade.

Aves jovens são também mais susceptíveis a correntes de ar. Correntes de ar de 0,5 m s⁻¹ podem causar um significativo resfriamento nas aves de um dia de idade (GRANJA PLANALTO, 2006). Segundo Management Guide Broiler (2006), de maneira geral, a faixa de velocidade do ar, que contempla um maior desempenho para pintinhos de 1 a 21 dias deve ser menor que 0,1 m s⁻¹.

Segundo Bakker (2005), Cobb-Vantress Inc. (2008), Moura (2001) e Ross... (2009), a máxima velocidade de ar suportada por frangos de corte do 1º ao 7º dia é de 0,076 a 0,2 m.s⁻¹, do 8º ao 14º dia é de 0,152 a 0,3 m.s⁻¹ e do 15º ao 21º dia é 0,508 m.s⁻¹. Já para frangos adultos, a velocidade do ar recomendada por Medeiros et al. (2005) é de 1,5 m.s⁻¹.

Simultaneamente aos avanços alcançados na genética, nas instalações, na nutrição, no manejo e na sanidade de frangos de corte, vários estudos têm comprovado que as condições da instalação e da ambiência podem melhorar, significativamente, o bem-estar das aves e o desempenho produtivo, conforme citado previamente. Assim, as variáveis ambientais podem ser consideradas imperativas no processo de criação comercial de frangos de corte.

2.2 Sistemas de aquecimento

Nas aves, a maior taxa de formação de órgãos vitais como o coração, o pulmão, os sistemas digestivo e imunológico ocorre durante os primeiros 7 dias de vida dos pintos. Para que este desenvolvimento seja normal, os pintos necessitam absorver todos os nutrientes e anticorpos contidos no saco embrionário. Isto só ocorrerá se eles forem mantidos a uma temperatura em torno de 32 °C e ingerirem água e ração, pois se a temperatura for muito baixa eles permanecerão agrupados e encolhidos e não irão até os comedouros e bebedouros (FUNCK; FONSECA, 2008).

Se os pintos sofrerem com o frio, o seu desenvolvimento será prejudicado, ocorrendo uma redução na taxa de ganho de peso e uma piora na conversão alimentar. Essas perdas normalmente não serão completamente recuperadas até o abate do lote de frangos (CONTO, 2003). Desta forma, para atender as exigências de conforto térmico das aves, o aquecimento é fundamental no início da vida e dele depende o bom desenvolvimento animal (TINÔCO, 2001). Segundo Butcher e Nilipour (2002) e Miller (1996), as duas primeiras semanas de vida das aves são as mais críticas, pois erros cometidos nesta fase não poderão ser corrigidos a contento no futuro, afetando, assim, o desempenho final das aves.

Na tentativa de resolver essas questões de ambiência, atualmente, os aviários são aparelhados com equipamentos de climatização tais como: exaustores, nebulizadores, sistemas de aquecimento de biomassa, infravermelho ou a gás, painéis de controle, nos quais são programadas a temperatura e a umidade do ar para cada idade dos frangos, além de cortinado, forração (FUNCK; FONSECA, 2008).

Existem vários tipos de sistemas de aquecimento para aviários, entre os quais estão os turbo aquecedores a gás, campânulas tipo infravermelho, campânulas de alta pressão, campânulas de baixa pressão, fornalhas de biomassa com ar atmosférico previamente aquecido, campânula a carvão e aquecedores de biomassa sem renovação de ar (RONCHI, 2004).

No inverno, o sistema de aquecimento merece atenção redobrada, pois é maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintos e a temperatura ambiente externa. Experimentos demonstram que pintinhos de corte necessitam receber calor suplementar, na ordem de 12 a 17 J, para cada ave (FUNCK; FONSECA, 2008).

Aquecer um aviário não é uma tarefa fácil no Brasil, uma vez que as instalações são abertas e têm isolamento térmico inadequado (TINÔCO, 1995). Desta forma, Cordeiro et al. (2010) afirmam que o consumo de energia para o aquecimento do ar dos ambientes onde estão alojados os pintinhos é sempre maior do que nos galpões isolados. É importante considerar que vários sistemas de aquecimento do ar no interior de um galpão envolvem a queima de combustíveis e consequentes emissões de gases poluentes, alguns extremamente nocivos às aves, ao trabalhador e à atmosfera.

Aquecedores de diferentes formas foram criados com o passar do tempo e são utilizados pelos criadores com o objetivo de fornecer calor às aves nas primeiras semanas de vida e, com isso, propiciar o conforto térmico necessário

ao bom desenvolvimento da criação, tornando-se, cada vez mais, eficientes e funcionais (ZANATTA et al., 2008).

Segundo Abreu e Abreu (2002), vários tipos de aquecedores foram desenvolvidos para fornecer calor e proporcionar conforto térmico às aves com menor consumo de energia. Vários fatores devem ser considerados na escolha de um sistema de aquecimento, entre eles, a temperatura ambiente requerida para cada idade, a taxa de ventilação, a perda de calor pelos constituintes da instalação, o dimensionamento e o número de aquecedores necessários (BAÊTA; SOUZA, 1997; COBB-VANTRESS INC., 2008). Conto (2003) acrescenta que eficiência de transformação da energia contida no combustível em energia térmica e as perdas envolvidas nos processos de transmissão de calor devem ser preponderantes na determinação de um ou outro sistema de fornecimento de calor.

Segundo Abreu e Abreu (2002), existem, basicamente, dois grupos de aquecimento para manter a temperatura ambiente dentro da região de conforto térmico das aves, o aquecimento central e o local. O aquecimento central se baseia no aquecimento relativamente homogêneo de todo o volume dos aviários, enquanto o local se baseia no aquecimento apenas da superfície do local em que se alojam os pintos, sendo um processo bastante eficiente, em termos de economia de energia.

Atualmente, dentre os sistemas de aquecimento mais empregados pela avicultura industrial brasileira, destacam-se as fornalhas com queima de biomassa. Os aquecedores de biomassa constituíram um dos primeiros métodos utilizados para o aquecimento de aves e caracterizam-se por utilizar a biomassa como combustível. O calor é transmitido às aves principalmente por meio da condução e convecção, através do ar. O uso da biomassa, como fonte de calor em uma campânula ou fornalha nem sempre produz temperatura constante no interior de aviários. Frequentemente, esta temperatura excede ao necessário, e a

manutenção do sistema requer muita mão de obra. Como a combustão geralmente não é completa, devem ser providos filtros nas entradas de ar com o objetivo de minimizar a passagem de gases tóxicos, principalmente o CO₂, para o interior do aviário (ABREU; ABREU, 2004).

Existem dois tipos básicos de fornalhas, uma com aquecimento direto do ar e outra com aquecimento indireto do ar. As fornalhas de queima de biomassa de forma indireta são estruturas projetadas com objetivo de possibilitar a incineração de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos por meio da combustão completa, procurando um bom aquecimento. No meio rural, normalmente as fornalhas são destinadas à queima de biomassa. O ar aquecido é lançado no pinteiro por meio de um sistema de ventilação e distribuído por meio de dutos. O controle na temperatura interna é feito por meio de um termistor conectado a um painel, que controla o acionamento do ventilador e, conseqüentemente, a velocidade da queima e a vazão de ar aquecido que entrara no galpão (VIGODERIS, 2006). É um sistema bastante dependente do padrão de isolamento e do volume útil do pinteiro, pois é essencial que não se permita que o ar aquecido escape da região delimitada para os pintainhos. Segundo Abreu (2003), no aquecimento com biomassa, gasta-se 1 m³ dia⁻¹ para aquecer um galpão com 100 m de comprimento, podendo o consumo ser ainda maior no caso de sistemas mal dimensionados ou com defeitos.

2.3 Respostas fisiológicas de frangos de corte

As repostas fisiológicas podem ser avaliadas por meio da temperatura retal (t_{retal}), temperatura da pele (t_{pele}), temperatura da pena (t_{pena}) e frequência respiratória (FR).

Baêta e Souza (1997) afirmam que as aves são animais homeotermos, portanto, possuem a habilidade de manter a temperatura do núcleo corporal

aproximadamente constante por meio de um sistema termorregulador que controla processos de aumento e dissipação de taxas de calor, mediante as flutuações ocorridas no ambiente externo, para que seus órgãos vitais possam funcionar normalmente. Isto significa que estes animais estão em troca térmica contínua com o ambiente.

Quando a temperatura corporal das aves é comparada à temperatura corporal dos mamíferos, a das aves, além de ser mais alta, é variável. A temperatura do ar, em que se dá esse desbalanceamento, varia com a espécie das aves, a idade, a história térmica anterior e a umidade relativa (WELKER et al., 2008) e ainda com o peso corporal, o sexo, a atividade física e o consumo de alimentos. A temperatura corporal de um pintinho de um dia é, em média, 1,7 °C menor que a temperatura corporal das aves adultas, mas com cinco dias de vida, atingem temperaturas corporais de 41,1 °C (VESTE, 1997). De acordo com Tao e Xin (2003), quando a temperatura ambiente está na zona de termoneutralidade, a temperatura interna das aves adultas é mantida entre 41,2 e 42,2 °C.

Para manter a temperatura relativamente constante para os órgãos vitais, o calor corporal deve ser conservado ou liberado, como resposta às mudanças do meio ambiente (FUNCK; FONSECA, 2008).

Sempre que há aumento da temperatura ambiente, mecanismos biofísicos são ativados. Se estes mecanismos não são suficientes para manter a homeotermia, a temperatura interna aumenta, podendo matar os animais pelo estresse térmico (MOURA et al., 2010).

Durante o estresse calórico, as aves aumentam sua frequência respiratória para proporcionar uma maior perda evaporativa e manter o equilíbrio térmico corporal. Este aumento constitui a principal e mais eficiente forma de dissipar calor em aves submetidas a altas temperaturas e pode resultar em alcalose respiratória, provocando piora de desempenho zootécnico. A mudança de condições ambientais como, por exemplo, o aumento da

temperatura do ar e umidade relativa, provoca o aumento da temperatura retal das aves, sendo essa uma rápida resposta fisiológica das aves (MARCHINI et al., 2007).

2.4 Desempenho produtivo de frangos de corte

Muitas pesquisas sobre desempenho produtivo versus estresse térmico na produção animal têm sido feitas (MOURA et al., 2006; NAZERENO et al., 2009; PEREIRA, NÄÄS, 2003; SALGADO et al., 2007).

A avaliação do desempenho produtivo das aves em relação às condições ambientais oferecidas é realizada por meio de análise dos índices zootécnicos, como: consumo de ração das aves, ganho de peso total, conversão alimentar, peso vivo médio e taxa de mortalidade (CARVALHO et al., 2009; FURTADO et al., 2006; SARMENTO et al., 2005).

A exposição de frangos a altas temperaturas provoca redução na ingestão de alimentos, resultando em efeitos negativos na taxa de crescimento, rendimento e qualidade da carne, além de tornar necessário o desvio de energia da produção para promover a perda de calor (DOZIER; PURSWELL; BRANTON, 2006; LU; WEN; ZHANG, 2007).

Abreu et al. (2000) afirmam que aves submetidas a baixas temperaturas podem aumentar seu consumo de ração, porém isto não implica melhoria da taxa de crescimento, uma vez que parte da energia ingerida é utilizada especificamente para a produção de calor.

Conforme Heier, Hogasen e Jarp (2002), a mortalidade em plantéis de frangos de corte pode ser influenciada por diversos fatores. Dentre eles se destacam a característica própria do galpão -- onde as aves são alojadas, o sistema de ventilação, o tamanho do plantel, a densidade de alojamento, sistema de fornecimento de água e ração.

A taxa de mortalidade é juntamente com a conversão alimentar, influenciada pelo estresse térmico nas aves devido à diminuição do peso corporal (LIMA, 2005).

No geral, aceita-se como normal uma percentagem de mortalidade de 0,8% na primeira semana e de 0,5% por semanas seguintes, sendo que a análise deve ser semanal (MACARI; FURLAN; MAIORKA, 2004).

2.5 Análise do conforto ambiental

Tendo em vista que as variáveis ambientais, especialmente temperatura, umidade relativa e ventilação influenciam o conforto do animal e, conseqüentemente, a produção, um sistema pode ser criado para controlar o ambiente térmico no interior de galpões, considerando as respostas produtivas ou fisiológicas.

Para a estimativa de situações com alto grau de aleatoriedade, como o bem-estar, que é baseado em análise empírica de medidas fisiológicas, pesquisas apontam o potencial do uso de critérios específicos em uma base de conhecimento prévio, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*, usada na área de sistemas de suporte à decisão, que se caracterizam pela incerteza existente entre as afirmações de “sim” e “não” (AMENDOLA et al., 2004; FERREIRA, 2009; OWADA et al., 2007).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* é baseada na linguagem expressa por variáveis linguísticas, que podem ser transformadas em valores, cujo princípio é o “Postulado da Possibilidade” (BELLMAN; ZADEH, 1970). A estimativa de bem-estar animal, considerando todas as possibilidades de associações críticas do ambiente térmico e aéreo, constitui-se em um problema em que a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* pode apresentar-se promissora.

Dentre outras metodologias direcionadas para a tomada de decisão e para ações mais precisas, a lógica *fuzzy* têm contribuído para o avanço e a velocidade das pesquisas em produção animal (CADENAS et al., 2004; CARVALHO et al., 2005; NÄÄS; FERREIRA; YANAGI JUNIOR, 2007a; NÄÄS et al., 2008; PANDORFI et al., 2007; PERISSINOTTO et al., 2009; TOLON et al., 2010). Muitos trabalhos destacam a utilização da lógica *fuzzy* como ferramenta de suporte à decisão nas áreas de ambiência e produção avícola (OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; PEREIRA et al., 2008; SCHIASSI et al., 2008).

2.6 A lógica *fuzzy*

A necessidade de quantificar os fenômenos para serem entendidos é um dos dogmas da ciência moderna, havendo uma veneração pelo o que é preciso, rigoroso e quantitativo, em oposição ao que é impreciso e qualitativo (ZADEH, 1975).

Modelos matemáticos são eficientes para lidar com problemas mecânicos como leis rígidas da física, química e engenharia, mas nas questões humanas que exigem julgamento, percepção e emoção, as análises matemáticas e as simulações computacionais não conseguem compor modelos que se aproximam da complexidade do raciocínio humano. Porém, a teoria dos conjuntos *fuzzy* permite lidar com sistemas humanísticos que incorporam a fluidez do pensamento humano e seu comportamento, por meio de uma estrutura metodológica, que é tolerante com a imprecisão (NAVARES, 2007).

A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos. A partir daí, a pesquisa e a aplicação dessa teoria em sistemas de informação têm crescido. Uma área de aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* é o chamado raciocínio

aproximado, semelhante à forma do pensamento humano. Nesse sentido, a introdução dos conhecimentos da teoria dos conjuntos *fuzzy* tem sido inovadora.

A lógica *fuzzy* é a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos. Essa teoria tem como base a utilização de variáveis linguísticas, cujos valores não são números e, sim, palavras ou sentenças na linguagem natural ou artificial, as quais desempenham um papel importante no tratamento da imprecisão (ZADEH, 1975).

Segundo Amendola et al. (2004), as pesquisas apontam o potencial de uso das análises teóricas das medidas de controle do ambiente como, por exemplo, da teoria dos conjuntos *fuzzy* para estabelecer critérios mais objetivos nas decisões dos produtores. Isso se deve ao fato dos parâmetros relacionados ao ambiente de alojamento para aves ser geralmente baseado em análises empíricas, principalmente quando são incorporadas respostas fisiológicas dos animais a agentes estressores do ambiente (AERTS; BERCKMANS; SCHUMMANS, 1996; GOEDSEELS et al., 1992; LACEY; HAMRITA; MCCLENDON, 2000), o que, insere maior complexidade nesse tipo de análise.

2.7 Diferença entre lógica clássica e lógica *fuzzy*

Considerado o pai da ciência da lógica clássica, o filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.) estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. A lógica clássica de Aristóteles trata as afirmações de forma binária, classificando-as como verdadeiras ou falsas, preto ou branco, quente ou frio (MELO, 2009). Nos conjuntos clássicos, o elemento pode assumir apenas dois valores de pertinência (aspecto bivalente) 0 ou 1, em que o meio é excluído.

De acordo com Schiassi et al. (2008), um conjunto clássico é representado por sua função característica, em que $\mu_A(x)$ representa o grau de

pertinência com que o elemento x assume no conjunto A , conforme especificado nas equações 1 e 2:

$$\mu_A(x) = 1, \text{ se } x \text{ **pertence** a } A \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = 0, \text{ se } x \text{ **não pertence** a } A \quad (2)$$

No entanto, muitas das experiências do mundo real não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Por isso, a lógica *fuzzy* considera que existem vários níveis entre o verdadeiro e o falso. De modo figurativo, enquanto a lógica clássica enxerga apenas o preto e o branco, a lógica *fuzzy* é capaz de, além do preto e do branco, enxergar vários tons de cinza (MELO, 2009).

Segundo Schiassi et al. (2008) e Amendola, Souza e Barros (2005), nos conjuntos *fuzzy*, ocorre a flexibilização do intervalo de pertinência, em que a transição entre pertinências é gradual, em vez de brusca. O fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. As funções características dos conjuntos *fuzzy* são dadas pelas equações 3, 4 e 5:

$$\mu_A(x) = 1; \text{ } x \text{ pertence **totalmente** ao conjunto } A; \quad (3)$$

$$0 < \mu_A(x) < 1; \text{ } x \text{ pertence **parcialmente** ao conjunto } A; \quad (4)$$

$$\mu_A(x) = 0; \text{ } x \text{ **não pertence** ao conjunto } A \quad (5)$$

Ao trabalhar com dados incertos, uma informação deixa de ser representada por um número e passa a ser representada por um conjunto. Assim, o uso da teoria clássica de Aristóteles torna-se inviável em razão de sua ineficiência no tratamento de informações imprecisas. Entretanto, essas

incertezas podem ser estudadas e modeladas de forma mais robusta, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy* (MEIRELLES; MOREIRA; CAMARA, 2007).

2.8 Estrutura da lógica *fuzzy*

Segundo Simões (1999), a lógica *fuzzy* é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um controlador *fuzzy* típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem.

A idéia básica em controle *fuzzy* é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de, necessariamente, modelar o processo em si. Isso conduz a uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos, onde os mesmos são desenvolvidos via modelagem matemática dos processos de modo a derivar as ações de controle como função do estado do processo. A motivação para esta nova abordagem veio de casos onde o conhecimento especialista de controle era disponível, seja por meio de operadores ou de projetistas, e os modelos matemáticos envolvidos eram muito custosos, ou muito complicados para serem desenvolvidos (GOMIDE; GUDWIN; TANSCHKEIT, 1995).

Sistemas *fuzzy*, baseados na lógica *fuzzy*, são sistemas capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional (FERREIRA, 2009).

Oliveira, Amendola e Nääs (2005) e Schiassi et al. (2008) explicam que um sistema *fuzzy* é constituído por variáveis de entrada e saída. Para cada variável, são atribuídos conjuntos *fuzzy* que as caracterizam, sendo que, para cada conjunto *fuzzy*, é criada uma função de pertinência, ou seja, quanto que um elemento pertence a um conjunto. Na teoria dos conjuntos clássicos, deve-se

decidir o grau de pertinência 0 ou 1, enquanto os conjuntos *fuzzy* nos permitem escolher um valor real arbitrário entre 0 e 1 (MELO, 2009).

Para realização da técnica dos conjuntos *fuzzy*, as variáveis de entrada precisam sofrer uma fuzzificação, ou seja, é o 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).

A Figura 1 apresenta o esquema ilustrativo de um sistema *fuzzy*:

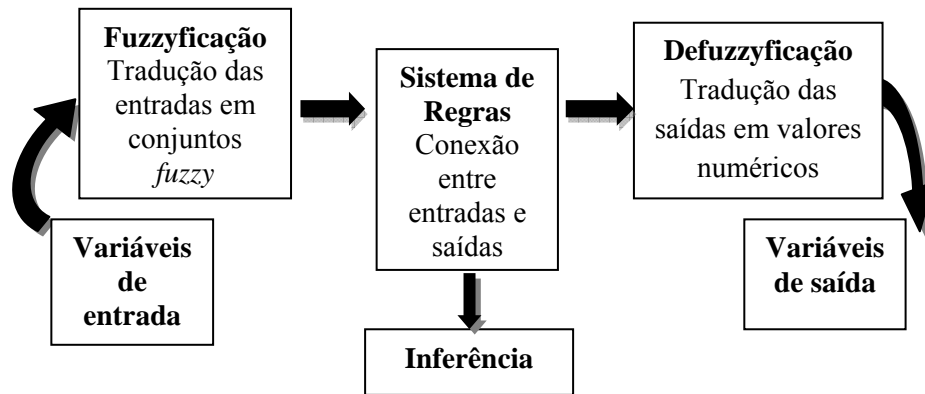


Figura 1 Esquema ilustrativo de um sistema *fuzzy*

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).

O que está por trás da versatilidade de utilização desta teoria *fuzzy* é a possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana e, portanto, as fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) ao caracterizar os processos estudados (AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Animais criados em situação de conforto térmico atingem sua máxima produtividade e não precisam acionar mecanismos outros para conservar ou dissipar calor.

Tendo em vista que as variáveis ambientais influenciam o conforto, o bem-estar do animal e, conseqüentemente, a produção, modelos matemáticos podem ser criados para predição do desempenho produtivo e respostas fisiológicas de frangos de corte alojados em galpões comerciais.

A lógica *fuzzy* é uma ferramenta matemática que tem se mostrado eficiente para avaliar o conforto térmico de aves por trabalhar com dados imprecisos, como é o caso do ambiente térmico. Esta metodologia suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos, além, de usar como base a utilização de variáveis linguísticas, cujos valores não são números e, sim, palavras ou sentenças na linguagem natural ou artificial.

Modelos empíricos também podem ser ajustados para predizer respostas fisiológicas de frangos de corte em diferentes situações térmicas ambientais.

Tanto o sistema *fuzzy*, quanto os modelos empíricos, além de possibilitar a predição de respostas fisiológicas e produtivas, podem ser embarcados em controladores, a fim de propiciar ambientes termicamente confortáveis aos frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Caracterização dos sistemas de aquecimento para aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2002. 10 p. (Artigo Técnico, 21).

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Conforto térmico das aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 365).

ABREU, P. G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p.1014-1020. ago. 2007.

ABREU, P. G. et al. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. *Revista Brasileiro Zootécnica*, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 159-167, jan./fev. 2000.

ABREU, P. G. **Sistema de produção de frangos de corte**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ave/ProducaodeFrangodecorte/Aquecimento.html>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

AERTS, J. M.; BERCKMANS, D.; SCHUMMANS, B. On-line measurement of bioresponses for climate control in animal production units. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS, 6., 1996, Michigan. **Proceedings...** Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineering, 1996. p. 147-153.

ALENCAR, M. C. B.; NÄÄS, I. A.; GONTIJO, L. A. Respiratory risks in broiler production workers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v. 6, n. 1, p. 23-29, jan./mar. 2004.

AMENDOLA, M. et al. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. *Biomatemática Brasil*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 87-92, ago. 2004.

AMENDOLA, M.; SOUZA, A. L.; BARROS, L. C. **Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.5**. Campinas: UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~laecioeb/manual_fuzzy_matlab.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2009.

BAËTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 246 p.

BAKKER, W. Minimum ventilation to maximize broiler farm performance. In: CARIBBEAN POULTRY ASSOCIATION POULTRY & EGG SCHOOL. St Augustine, 2005. Disponível em: <http://www.caribbeanpoultry.org/docs/2005/egg_2005/CPAPoultry&EggSch_2005-Poultry_WBakker_MinimumVentilation.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2009.

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

BELLMAN, R. E.; ZADEH, L. A. Decision-making in a fuzzy environment. **Management Science**, Evanston, v. 17, n. 4, p. 141-164, Dec. 1970.

BUTCHER, G. D.; NILIPOUR, A. H. **Broiler management: the first 24 hours**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. 4 p.

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.

CARVALHO, J. C. C. et al. Desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja suplementadas com complexos enzimáticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, fev. 2009.

CARVALHO, V. R. C. et al. Prediction of the occurrence of lameness in dairy cows using fuzzy-logic based expert system. **E-Journal CIGR**, Texas, v. 7, n. 1, p. 1-15, 2005. Part I.

COBB-VANTRESS INC. **Broiler management guide**. Arkansas, 2008. 65 p.

CONTO, L. A. Novos sistemas de aquecimento inicial de pintos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: FACTA, 2003. p.132-136.

CORDEIRO, M. B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

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.

DOZIER, W. A.; PURSWELL, J. L.; BRANTON, S. L. Growth responses of male broilers subjected to high air velocity for either twelve or twenty-four hours from thirty-seven to fifty-one days of age. **Journal Applied Poultry Research**, Stanford, v.15, n. 3, p. 362-366, July/Sept. 2006.

FERREIRA, L. **Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 91-97, fev. 2008.

FURLAN, R. L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 7., 2006, Chapecó. **Anais...** Chapecó: [s. n.], 2006. p. 104-135.

FURTADO, D. A.; AZEVEDO, P. V.; TINÔCO, I. F. F. Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 559-564, set./dez. 2003.

FURTADO, D. A. et al. Efeitos de diferentes sistemas de acondicionamento ambiente sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, abr./jun. 2006.

GOEDSEELS, V. et al. A data acquisition system for electronic identification, monitoring, and control of group-housed pigs. **Journal of Agricultural Engineering**, Silsoe, v. 52, p. 25-33, May/Aug. 1992.

GOMIDE, F.; GUDWIN, R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. In: INTERNATIONAL FUZZY SYSTEMS ASSOCIATION WORLD CONGRESS, 6., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: [s. n.], 1995. p. 1-38.

GRANJA PLANALTO. **Manual do frango de corte**: modelo revisão 03. Uberlândia, 2006. Disponível em: <http://www.granjaplanalto.com.br/MANUAL_MOD%20REV.%2003_18_09_06.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2009.

HAFEZ, E. S. E. **Adaptación de los animales domésticos**. Barcelona: Labor, 1973. 563 p.

HEIER, B. T.; HOGASEN, H. R.; JARP, J. Factors associated with mortality in norwegian broiler flocks. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 53, n. 1-2, p. 147-158, Feb. 2002.

KOCAMAN, B. et al. Effect of environmental conditions in poultry houses on the performance of laying hens. **International Journal of Poultry Science**, Pakistan, v. 5, n. 1, p. 26-30, Jan. 2006.

LACEY, B.; HAMRITA, T. K.; MCCLENDON, R. Feasibility of using neural networks for a real-time prediction of poultry deep body temperature responses to stressful changes in ambient temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 16, n. 3, p. 303-338, May 2000.

LANA, G. R. Q. et al. Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição da carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1117-1123, ago. 2000.

LIMA, A. M. C. **Avaliação de dois sistemas de produção de frangos de corte: uma visão multidisciplinar**. 2005. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LU, Q.; WEN, J.; ZHANG, H. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 1059-1064, June 2007.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2002.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p. 137-155.

MANAGEMENT GUIDE BROILER. 2006. Disponível em: <<http://www.hubbardbreeders.com/managementguides/index.php?product=5>>. Acesso em: 7 dez. 2009.

MARCHINI, C. F. P. et al. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 41- 46, set. 2007.

MEDEIROS, C. M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa , Viçosa, MG, 2001.

MEDEIROS, C. M. et al. 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, out./dez. 2005.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: EMBRAPA, 2007. 593 p.

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 de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of the IEEE**, Raleigh, v. 83, n. 3, p. 345-377, 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, abr. 2009. Supl.

MILLER, G. The first two weeks: a critical time. **Quarterly Publication of Cobb-Vantress**, Arkansas, v. 4, n. 2, p. 1- 4, 1996.

MOURA, D. J. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: Iran José Oliveira da Silva, 2001. 185 p. v. 2.

MOURA, D. J. et al. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 8, n. 3, p.137-148, July/Sept. 2006.

MOURA, D. J. et al. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 311-316, July 2010. Supl. Spec.

NÄÄS, I. A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 326-335, maio/ago. 2007b.

NÄÄS, I. A. et al. Estimativa de estro em vacas leiteiras utilizando métodos quantitativos preditivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2383-2387, nov. 2008.

NÄÄS, I. A.; FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T. Development of a decision making system using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows. **E-Journal - CIGR**, Texas, v. 9, p. 1-16, 2007a.

NAVARES, E. T. U. **Conjuntos fuzzy na avaliação do estado de conservação de sistemas de uso da terra na Amazônia ocidental, usando besouros (Scarabaeidae) como bioindicadores**. 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

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. **Revista 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, maio/jun. 2006.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção.

Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, set./dez. 2007.

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.

PEREIRA, D. F.; NÄÄS, I. A. Avaliação do comportamento individual de matrizes pesadas (frango de corte) em função do ambiente e identificação da temperatura crítica máxima, 06/2003. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO: O WORKSHOP DAS ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO, 4., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: [s. n.], 2003. v. 1, p. 1-8.

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. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p.1492-1498, ago. 2009.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F. Avaliação da produção de leite em bovinos utilizando diferentes sistemas de climatização. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 135-142, jan. 2007.

RONCHI, C. Principais práticas de manejo para aves recém nascidas. **Revista Avieworld**, Campinas, v. 1, n. 6, p. 26-30, dez./jan. 2004.

ROSS BROILER MANAGEMENT MANUAL. Scotland, 2009. 112 p.
Disponível em: < <http://www.sepahandaneh.com/fa/wp-content/uploads/2009/05/ross308.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

SALGADO, D. D. et al. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, dez. 2007.

SARMENTO, L. G. V. et al. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 2, p. 117-122, jul./dez. 2005.

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. 180-191, abr./jun. 2008.

SILVA, V. K. et al. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 690-696, abr. 2009.

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

SOUZA, E. D.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 177-184. jan./fev. 2005.

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

TEETER, R. G.; SMITH, M. O.; WIERNUSK, C. J. Broiler acclimation to heat distress and feed-intake effects on body temperature in birds exposed to thermoneutral and high ambient temperatures. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 71, n. 6, p. 1101-1104, June 1992.

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, n. 1, p. 1-26, jan./abr. 2001.

TINÔCO, I. F. F. Estresse calórico: meios artificiais de condicionamento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p. 99-108.

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.

VESTE, L. R. **Environmental factors to consider when brooding chicks**. Athens: University of Georgia, 1997. (Bulletin, 855).

VIGODERIS, R. B. **Sistemas de aquecimento de aviários e seus efeitos no conforto térmico ambiental, qualidade do ar e performance animal, em condições de inverno, na região sul do país.** 2006. 106 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 8, p. 1463-1467, Aug. 2008.

ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. **Information Sciences**, Edmonton, v. 8, n. 3, p. 199-249, June 1975.

ZANATTA, F. L. et al. Avaliação do conforto térmico em aviário aquecido com gaseificador de biomassa. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 3, p. 270-284, jul./set. 2008.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

**Sistema *fuzzy* para predição do desempenho produtivo de frangos de corte
de 1 a 21 dias de idade**

Artigo redigido conforme norma da Revista Científica Engenharia Agrícola

Sistema *fuzzy* para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade

PONCIANO, P.F.¹; YANAGI JUNIOR², T.; SCHIASSI, L.³; CAMPOS, A.T.²;
NASCIMENTO, J.W.B.⁴

¹ Zootecnista, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – MG, patyponciano@yahoo.com.br.

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras – MG.

³ Eng^o Agrícola, Mestrando, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras – MG.

⁴ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG/Campina Grande – PB.

Resumo: Um sistema de inferência *fuzzy* foi desenvolvido baseado em dados da literatura, com o objetivo de prever o desempenho produtivo de pintinhos de 1 a 21 dias de idade submetidos a diferentes condições ambientais. O sistema *fuzzy* foi estruturado com base em três variáveis de entrada: idade das aves (semanas), temperatura (°C) e umidade relativa (%), sendo que as variáveis de saída consideradas foram: ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. A inferência *fuzzy* foi realizada por meio do método de Mamdani e consistiu na elaboração de 45 regras e a defuzzificação por meio do método do Centro de Gravidade. Com base nos resultados, ao se comparar os dados da literatura com os obtidos pelo sistema *fuzzy* proposto, pode-se concluir que este predisse satisfatoriamente as variáveis respostas, sendo que os coeficientes de determinação foram de 0,995; 0,998; 0,976, respectivamente. O ganho de peso predito pela lógica *fuzzy* foi validado com dados experimentais de campo, em que foi obtido o coeficiente de determinação de 0,9753, apresentando grande potencial de uso em sistemas climatização automatizado.

Palavras-chave: modelagem, inferência *fuzzy*, conforto ambiental.

Fuzzy system to predict productive performance of 1 to 21-day old broiler chicks

Abstract: A fuzzy inference system based on literature data was developed with the aim of predicting productive performance for broiler chickens of 1 to 21 days of age when submitted to different thermal conditions. The structured fuzzy system was based on three input variables: broiler chicken age (weeks), temperature (°C) and relative humidity (%), and the output variables considered were: weight gain, feed intake and feed conversion. Fuzzy inference was performed according to the Mamdani method, which consisted of elaborating 45 rules and the defuzzification by Center of Gravity method (COG). By comparing literature data with the proposed fuzzy system, it is possible to conclude that the fuzzy system predicts satisfactorily the weight gain, feed intake and feed conversion, which the coefficients of determination were 0.995; 0.998; and 0.976, respectively. The weight gain predicted by the fuzzy system was validated by experimental field data, and the coefficients of determination was 0.9753. It presents a considerable potential to be applied in automatic acclimatization systems.

Keywords: modeling, *fuzzy* inference, environmental comfort.

INTRODUÇÃO

Dentre os desafios enfrentados pela avicultura de corte, destaca-se a importância do ambiente de criação. Sabe-se que o sistema de criação intensivo, possui influência direta na condição de conforto e bem-estar animal, dificultando a manutenção do balanço térmico no interior das instalações e afetando o desempenho produtivo das aves, o que pode ser observado através do comportamento natural dos animais, (MOURA et al., 2006; SALGADO et al., 2007; NAZERENO et al., 2009; VIGODERIS et al., 2010). Entre os fatores ambientais, os fatores térmicos, representados, principalmente, pela temperatura e pela umidade relativa do ar, são os que afetam mais diretamente as aves, pois comprometem a manutenção da homeotermia (OLIVEIRA, et al., 2006).

Dados de conforto térmico para pintinhos têm sido muito citados na literatura e mostram que tanto o estresse por calor quanto o por frio durante as primeiras três semanas de vida podem causar perda de peso corporal além de outros prejuízos para a saúde do animal (MOURA et al., 2008). Após a eclosão, o desenvolvimento inicial do pintinho é fundamental para o melhor desempenho do frango de corte até o final do ciclo de produção (TEIXEIRA et al., 2009). Após a eclosão, nos primeiros dias, o pintinho é considerado um animal pecilotérmico, ou seja, sua temperatura corporal sofre variações de acordo com a temperatura ambiente. Isto ocorre porque estas aves ainda não têm seus sistemas termorregulatórios amadurecidos, nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente. De acordo com CORDEIRO et al. (2010), as primeiras semanas de vida da ave são as mais críticas e erros cometidos nesta fase não poderão ser corrigidos a contento no futuro e isto fará com que o desempenho final das aves seja afetado. Daí a importância de se adaptar o ambiente às condições ideais de bem-estar para as aves mais jovens.

Quando as condições ambientais não estão dentro do limite adequado, que é caracterizado pela zona de termoneutralidade, o ambiente torna-se desconfortável. O desenvolvimento do pintinho em condições ambientais de termoneutralidade, em particular na primeira semana de idade, é condição relevante para o desenvolvimento futuro do animal (MARCHINI et al., 2009). Usualmente, os limites de termoneutralidade são fixados em medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação entre outras variáveis ambientais. Assim, a estimativa de bem-estar animal constitui-se num problema para o qual a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* pode apresentar resultados promissores (OWADA et al., 2007).

Dentre outras ferramentas direcionadas para a tomada de decisão e para ações mais precisas, a lógica *fuzzy* tem contribuído para o avanço e a velocidade das pesquisas em ambiência e produção animal, áreas em que sua utilização, tem se destacado (CADENAS et al., 2004; PANDORFI et al., 2007; PEREIRA et al., 2008; NÄÄS et al., 2008; PERISSINOTTO et al., 2009; SANTOS et al., 2009; TOLON et al., 2010). OLIVEIRA et al. (2005) estimaram o conforto térmico para alojamento de aves poedeiras em produção, encontrando a melhor situação de conforto térmico para essas aves, sendo que os resultados estão em concordância com valores de termoneutralidade encontrados na literatura. OWADA et al. (2007) utilizaram a teoria dos conjuntos *fuzzy* para estimar o bem-estar de frangos de corte em função da concentração de amônia e do grau de luminosidade em galpão comercial de produção, considerando os atributos de ambiente térmico e densidade de aves. Visando predizer o aumento da temperatura corporal de frangos de corte aos 90 minutos de exposição térmica sob diferentes condições de estresse térmico agudo, SCHIASSI et al. (2008) desenvolveram um modelo *fuzzy* cujos valores para o aumento da temperatura corporal estimados apresentaram valores absolutos de desvios menores, em

relação aos valores calculados por uma equação proposta pela literatura, quando comparados àqueles obtidos experimentalmente.

Desta forma, através do presente trabalho, buscou-se desenvolver um modelo *fuzzy* para a predição do consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte com idade variando de 1 a 21 dias.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do modelo fuzzy

Um modelo *fuzzy* foi elaborado com base em dados experimentais oriundos da literatura sobre o desempenho produtivo de pintinhos das linhagens Cobb e Cobb500 na fase de aquecimento, expostos a diferentes condições térmicas.

Um modelo *fuzzy* é constituído por variáveis de entrada e saída. Para cada variável, são atribuídos conjuntos *fuzzy* que as caracterizam, sendo que, para cada conjunto *fuzzy*, é criada uma função de pertinência. Neste trabalho foram utilizadas como variáveis de entrada, a idade das aves (I, dias) a temperatura do ar em °C (T) e a umidade relativa do ar (UR, %) sobre os quais são definidas as variáveis linguísticas. Segundo MENEZES et al. (2010), a T e UR foram identificadas sob a forma de alguns dos pontos críticos de controle e possíveis riscos na criação de frangos. As variáveis de saída são o ganho de peso (GP, g), consumo de ração (CR, g) e a conversão alimentar (CA, g g⁻¹) de pintinhos na fase de aquecimento.

Os intervalos admitidos para as variáveis de entrada (I, T, UR) estão listados na Tabela 1 e foram representados por curvas de pertinência trapezoidais (Figura 1), pelo fato de representarem melhor o comportamento dos dados de entrada, solução encontrada por vários autores como AMENDOLA et

al., (2004); OLIVEIRA et al., (2005), PANDORFI et al., (2007); TOLON et al., (2010). As classificações adotadas foram baseadas na literatura e consulta a especialistas.

Tabela 1 Conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada. *Fuzzy sets for the input variables*

Variáveis de entrada	Conjuntos <i>Fuzzy</i>
Semanas de vida (S, dias)	S1 [1; 7]
	S2 [8; 14]
	S3 [15; 21]
Temperatura do ar (T, °C)	T1 [23; 26]
	T2 [25; 28,5]
	T3 [28; 30]
	T4 [29; 33]
	T5 [32; 35]
Umidade relativa (UR, %)	UR1 [30; 50]
	UR2 [50; 70]
	UR3 [70; 90]

As curvas de pertinência para as variáveis de saída (Figura 2) foram desenvolvidas com base nas pesquisas conduzidas por SANTOS (2004), CARVALHO (2006), MINAFRA (2007), LABOISSIÈRE (2008), LIRA (2008), THON (2008) e ZAUK (2008) que forneceram informações a respeito das respostas produtivas sobre três semanas de vida, cinco temperaturas para cada semana de vida e três umidades relativas, totalizando 45 condições térmicas.

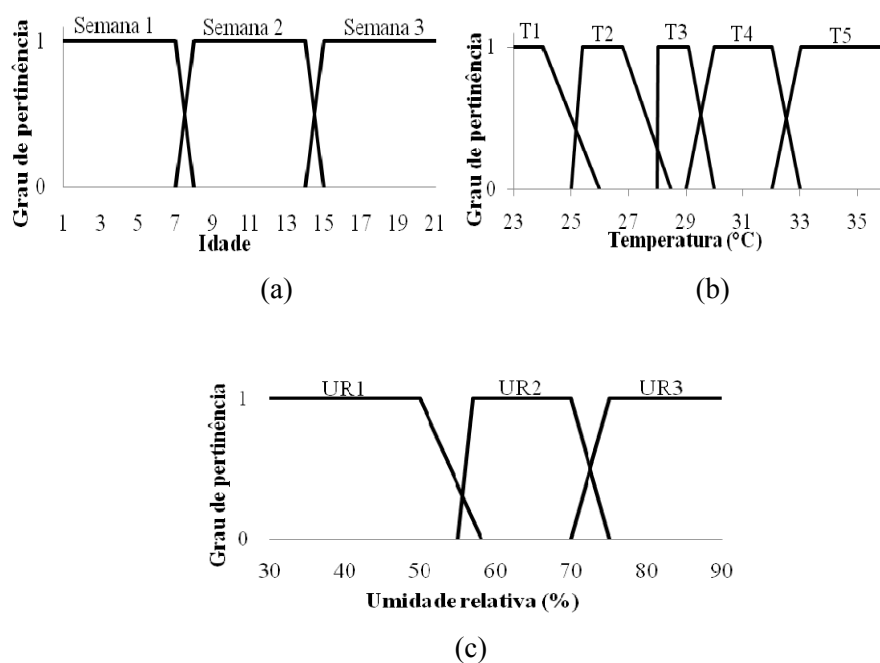
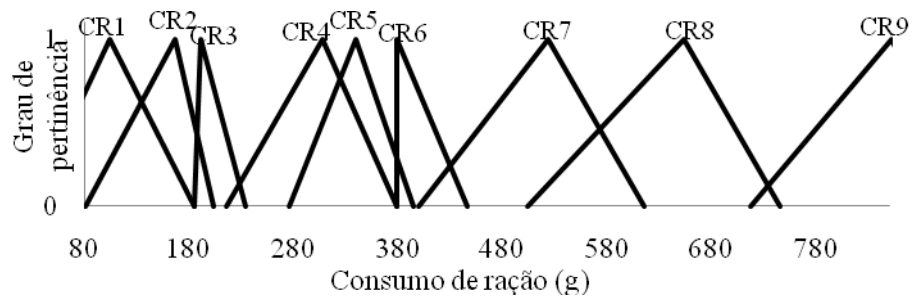
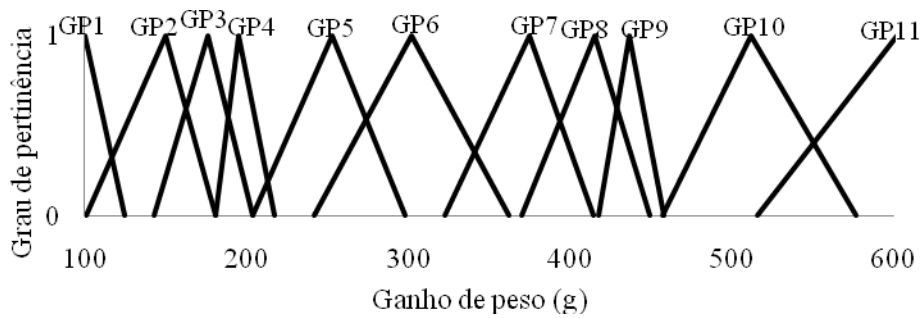


Figura 1 Curvas de pertinência das variáveis de entrada da lógica fuzzy: (a) Idade do frango de corte, (b) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) Umidade relativa (%). Pertinence curves for the *fuzzy* input variables: (a) Broiler chickens age, (b) Temperature ($^{\circ}\text{C}$), (c) Relative humidity (%)

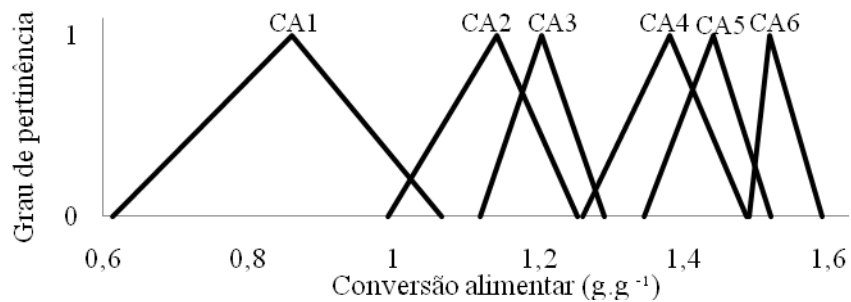
Os intervalos adotados para as variáveis de saída (GP, CR, CA) foram caracterizados por curvas de pertinência do tipo triangular (Figura 2) por representarem melhor o conjunto de dados e por resultarem nos menores valores de desvio padrão, solução adotada por diversos autores (OWADA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008; SANTOS et al., 2009).



(a)



(b)



(c)

Figura 2 Curvas de pertinência para as variáveis de saída: (a) Consumo de ração (g), (b) Ganho de peso (g) e (c) Conversão alimentar ($g \cdot g^{-1}$). Pertinence curves for *fuzzy* output: (a) Feed intake (g), (b) Weight gain (g) and (c) Feed conversion ($g \cdot g^{-1}$)

A inferência é o processo que realiza o raciocínio *fuzzy* com base no sistema de regras, promovendo a saída *fuzzy*. Para isto, foi utilizado o método de Mamdani, que também foi utilizado por AMENDOLA et al. (2005) e TOLON et al. (2010). Este método traz como resposta um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência através do operador mínimo e, em seguida, pela superposição das regras, por meio do operador máximo.

A defuzzificação, que realiza a tradução do valor linguístico em valor numérico, foi feita utilizando-se o método de Centro de Gravidade, que considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy*, originado pela inferência, em valor numérico, conforme proposto por AMENDOLA et al. (2005).

A base de regras (Tabela 2) foi composta por uma coleção de proposições *fuzzy*, apresentadas na forma se-e-então, tendo sido elaborada a partir de informações da Tabela 1 e com o auxílio de especialistas da área. O sistema de regras foi composto por 45 regras, sendo que um fator de ponderação igual a 1 foi atribuído para cada regra.

Validação do modelo *fuzzy*

A validação do modelo *fuzzy* foi feita por meio de experimento de campo realizado numa granja comercial com frangos machos da linhagem Cobb, no município de São Sebastião do Oeste – MG, situado na latitude 20° 16' 33" S e longitude 45° 00' 18" W, altitude 780 m, no período de 28 de setembro a 19 de outubro de 2010.

Tabela 2 Sistema de regras da inferência fuzzy para as características idade das aves (I), temperatura (T) e umidade relativa (UR). Fuzzy inference system based on rules for the characteristics broiler chicken age (I), temperature (T) and relative humidity (RH)

Regra	
1	SE I é I1 E T é T1 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
2	SE I é I1 E T é T1 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
3	SE I é I1 E T é T1 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
4	SE I é I1 E T é T2 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
5	SE I é I1 E T é T2 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
6	SE I é I1 E T é T2 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR2, GP é GP1 e CA é CA2
7	SE I é I1 E T é T3 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR2, GP é GP4 e CA é CA1
8	SE I é I1 E T é T3 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR2, GP é GP1 e CA é CA2
9	SE I é I1 E T é T3 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR3, GP é GP3 e CA é CA2
10	SE I é I1 E T é T4 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR1, GP é GP2 e CA é CA1
11	SE I é I1 E T é T4 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR1, GP é GP1 e CA é CA2
12	SE I é I1 E T é T4 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR2, GP é GP2 e CA é CA2
13	SE I é I1 E T é T5 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR2, GP é GP2 e CA é CA2
14	SE I é I1 E T é T5 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR2, GP é GP2 e CA é CA2
15	SE I é I1 E T é T5 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR2, GP é GP2 e CA é CA2
16	SE I é I2 E T é T1 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR4, GP é GP4 e CA é CA3
17	SE I é I2 E T é T1 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR5, GP é GP5 e CA é CA5
18	SE I é I2 E T é T1 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR4, GP é GP4 e CA é CA2
19	SE I é I2 E T é T2 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR4, GP é GP4 e CA é CA4
20	SE I é I2 E T é T2 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR4, GP é GP5 e CA é CA3
21	SE I é I2 E T é T2 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR4, GP é GP5 e CA é CA3
22	SE I é I2 E T é T3 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR4, GP é GP5 e CA é CA3
23	SE I é I2 E T é T3 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR4, GP é GP5 e CA é CA4
24	SE I é I2 E T é T3 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR7, GP é GP7 e CA é CA4
25	SE I é I2 E T é T4 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR6, GP é GP6 e CA é CA4
26	SE I é I2 E T é T4 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR5, GP é GP6 e CA é CA2
27	SE I é I2 E T é T4 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR5, GP é GP5 e CA é CA5
28	SE I é I2 E T é T5 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR4, GP é GP4 e CA é CA5
29	SE I é I2 E T é T5 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR3, GP é GP4 e CA é CA5
30	SE I é I2 E T é T5 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR3, GP é GP4 e CA é CA5
31	SE I é I3 E T é T1 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR7, GP é GP8 e CA é CA5
32	SE I é I3 E T é T1 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR8, GP é GP8 e CA é CA6
33	SE I é I3 E T é T1 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR8, GP é GP8 e CA é CA6

Tabela 2, conclusão

34	SE I é I3 E T é T2 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR7, GP é GP7 e CA é CA5
35	SE I é I3 E T é T2 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR5, GP é GP6 e CA é CA5
36	SE I é I3 E T é T2 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR9, GP é GP11 e CA é CA5
37	SE I é I3 E T é T3 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR8, GP é GP9 e CA é CA5
38	SE I é I3 E T é T3 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR9, GP é GP6 e CA é CA5
39	SE I é I3 E T é T3 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR8, GP é GP6 e CA é CA5
40	SE I é I3 E T é T4 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR8, GP é GP10 e CA é CA6
41	SE I é I3 E T é T4 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR8, GP é GP8 e CA é CA6
42	SE I é I3 E T é T4 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR7, GP é GP7 e CA é CA6
43	SE I é I3 E T é T5 E UR é UR1 ENTÃO CR é CR7, GP é GP7 e CA é CA6
44	SE I é I3 E T é T5 E UR é UR2 ENTÃO CR é CR7, GP é GP6 e CA é CA62
45	SE I é I3 E T é T5 E UR é UR3 ENTÃO CR é CR6, GP é GP6 e CA é CA6

No experimento, foram utilizados dois galpões estruturalmente idênticos, orientados na direção nordeste - sudoeste, com 160 m de comprimento e 13 m de largura; 2,45 m de pé-direito, cobertura de telhas de cimento amianto de 6 mm de espessura, piso de concreto, cama de casca de arroz, cortinas laterais e forro de lona plástica amarela. Foram utilizadas cortinas duplas nas laterais do galpão (uma interna e outra externa).

As coletas de temperatura (T) e umidade relativa (UR) foram feitas a cada 5 minutos durante os primeiros 21 dias de idade das aves, por meio de sensores registradores de temperatura e umidade relativa modelo Hobo Pro Series, da fabricante Onset[®], com precisão de $\pm 3\%$ da leitura. Os dois galpões de frangos foram divididos ao meio, de forma que os pintinhos ficassem separados entre os lados nordeste e sudoeste do galpão sem, no entanto, haver diferença alguma no manejo realizado entre os dois lados. Em cada lado do galpão, havia uma contenção que restringia o espaço disponível para as aves. A cada 2 dias, a contenção era movida, aumentando o espaço disponível para as aves. No 18º dia, elas passaram a ocupar o galpão todo. Os sensores/registradores de T, UR t_{po} e t_{gn} acompanhavam essa movimentação da

contenção, tendo estes sido instalados conforme indicado na Figura 3, onde L representa a largura da contenção e C, o comprimento.

Diariamente, de cada um dos dois lados dos galpões, 30 pintinhos, que visualmente aparentavam ter o tamanho médio do lote, eram pesados no período da manhã e, posteriormente, calculada a média de cada um dos lotes para que fosse feito o acompanhamento do ganho de peso do lote, totalizando 60 animais em cada galpão. As medições de consumo de ração e conversão alimentar não foram feitas devido à impossibilidade de se alterar o manejo da granja.

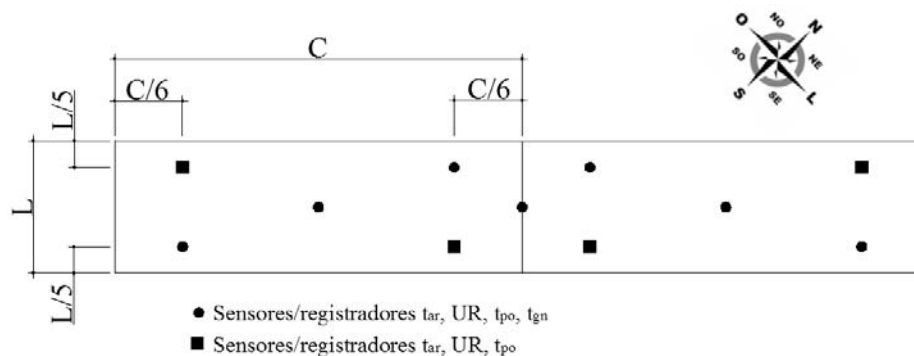


Figura 3 Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango. Placement of temperature and relative humidity data loggers in broiler unit

Durante a fase experimental, na primeira semana, as aves tiveram acesso *ad libitum* à água por meio de 4 linhas de bebedouros pendulares e, a partir da segunda semana, por 5 linhas, com espaçamento de 2,0 m e cerca de 100 aves por bebedouro. Na primeira semana, a ração foi distribuída por meio de 1 linha de comedouros automáticos, com espaçamento de 0,65 m e 5 linhas de comedouros manuais distribuídos aleatoriamente. Já na segunda semana, foram utilizados 3 linhas de comedouros automáticos e 7 linhas de comedouros manuais. A partir do 18º dia, foram removidos os comedouros manuais, deixando apenas os automáticos.

As dietas fornecidas aos animais foram formuladas com base nas exigências de nutrientes para as diferentes fases de crescimento e foram iguais para todos os sistemas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, verificam-se os valores de CR, GP e CA medidos (ME), oriundos de dados obtidos na literatura e simulados por meio do sistema *fuzzy* (SF) proposto, bem como os respectivos desvios-padrão e absoluto e erro percentual.

De acordo com a literatura (OLIVEIRA et al., 2006), a temperatura para a faixa de conforto na primeira semana de vida das aves situa-se entre 32 e 34°C. Porém, segundo observado na Tabela 3, o máximo CR e GP e a melhor CA foi alcançado na condição de aproximadamente 29°C. LIRA (2008) justifica que essas respostas das aves nestas semanas podem ocorrer pela tentativa de adaptação fisiológica à situação de menor conforto. ABREU et al. (2000) afirmam que aves submetidas a baixas temperaturas podem aumentar seu CR, porém isto não implica melhoria da taxa de crescimento, uma vez que parte da energia ingerida é utilizada especificamente para a produção de calor. No experimento realizado por SILVA et al. (2009), a temperatura alta na fase de um a sete dias de idade piorou a CA, que apresentou os melhores valores nas temperaturas controle e baixa. Na segunda semana de vida, a faixa de temperatura de conforto térmico recomendada pelos mesmos autores está entre 28 e 32°C e na terceira semana entre 26 e 28°C. Verifica-se que os maiores valores de CR e GP e os menores de CA são observados nestas faixas de temperatura (Tabela 3). Segundo FUNCK & FONSECA (2008), mantendo a temperatura nos níveis desejáveis e se atentando para as outras práticas de

manejo, consegue-se manter o crescimento das aves em níveis adequados e a uniformidade do lote, além da melhora na CA.

Em relação à UR da primeira semana, os melhores CR, GP e CA observados (Tabela 3) estão de acordo com os valores citados na literatura. De acordo com JÁCOME et al. (2007), nos primeiros dias de vida, a UR no galpão deve ser um pouco mais alta, cerca de 70%, para minimizar a desidratação dos pintos e, após este período, entre 50 e 60% são aceitáveis. De acordo com a Tabela 3, os melhores desempenhos dos pintinhos ocorreram justamente nas UR mais elevadas, confirmando os resultados citados na literatura.

As médias dos desvios-padrão das variáveis CR, GP e CA foram de 4,31 g; 4,76 g e 0,02 g g⁻¹, respectivamente, correspondendo aos desvios absolutos de 6,09 g; 6,73 g; 0,02 g g⁻¹ e erros percentuais medidos de 2,38%, 2,94% e 2,16%, respectivamente.

As relações funcionais entre CR, GP e CA observadas e simuladas pelo sistema *fuzzy* são ilustradas na Figura 4, sendo que regressões lineares simples, com o ajuste da reta passando pela origem, apresentaram $R^2 = 0,998$; $0,995$; $0,976$ respectivamente. Estes resultados indicaram uma boa precisão do modelo *fuzzy*. Ao criar modelos matemáticos para estimar CR, GP e CA de frangos adultos em função da T, UR e velocidade do ar (V), MEDEIROS (2001) encontrou valores de $R^2 = 0,91$; $0,89$ e $0,72$, respectivamente. Relativamente ao modelo criado por MEDEIROS (2001), estes valores mais elevados de R^2 , obtidos por meio do sistema de inferência *fuzzy*, permitiram que a predição das respostas produtivas para CR, GP e CA fosse mais realista. Dessa forma, os resultados encontrados neste trabalho indicam ser possível a estimativa de GP, CR e CA em função das variáveis climáticas e idade das aves por meio de modelos *fuzzy*. A operacionalização desses resultados ajuda no suporte à decisão do controle da climatização do galpão, garantindo, assim, melhor produção.

Tabela 3 Comparação dos valores de consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) obtida por meio de dados experimentais oriundos da literatura (ME) e sistema *fuzzy* (SF). Comparison of values for feed intake (CR), weight gain (GP) and feed conversion (CA) obtained from experimental data suggested by literature (ME) and *fuzzy* system (SF)

Sem	ME					SF			Desvio Padrão			Desvio Absoluto			Erro (%)		
	T (°C)	UR (%)	CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA
1	24,3 ^I	55,8 ^I	114 ^I	101 ^I	1,13 ^I	123	109	1,13	6,36	5,66	0,000	9,00	8,00	0,00	7,89	7,92	0,00
	26,8 ^{II}	53,1 ^{II}	124,5 ^{II}	114,4 ^{II}	1,09 ^{II}	119	108	1,13	3,89	4,53	0,029	5,50	6,40	0,04	4,42	5,59	3,76
	27,85 ^{III}	52,3 ^{III}	133 ^{III}	112 ^{III}	1,19 ^{III}	123	109	1,13	7,07	2,12	0,042	10,00	3,00	0,06	7,52	2,68	5,04
	28,91 ^{IV}	78 ^{IV}	199,2 ^{IV}	173,3 ^{IV}	1,1 ^{IV}	203	174	1,13	2,71	0,49	0,021	3,83	0,69	0,03	1,92	0,40	2,73
	28,91 ^{IV}	78 ^{IV}	199,3 ^{IV}	177,8 ^{IV}	1,13 ^{IV}	203	174	1,13	2,62	2,68	0,000	3,71	3,79	0,00	1,86	2,13	0,00
	29 ^V	51 ^V	158,5 ^V	198,1 ^V	0,8 ^V	150	198	0,847	5,98	0,05	0,033	8,46	0,07	0,05	5,34	0,04	5,87
	29,5 ^V	37 ^V	139,9 ^V	171,3 ^V	0,89 ^V	136	161	0,845	2,74	7,30	0,032	3,87	10,33	0,05	2,77	6,03	5,06
33 ^{VI}	61 ^{VI}	150 ^{VI}	131 ^{VI}	1,14 ^{VI}	150	144	1,13	0,00	9,19	0,007	0,00	13,0	0,01	0,00	9,92	0,88	
2	24,6 ^{III}	62,4 ^{III}	352 ^{III}	244 ^{III}	1,45 ^{III}	337	251	1,44	10,61	4,85	0,007	15,0	7,00	0,01	4,26	2,87	0,69
	26,9 ^{II}	60,6 ^{II}	300,2 ^{II}	255,5 ^{II}	1,18 ^{II}	300	252	1,20	0,14	2,47	0,014	0,20	3,50	0,02	0,07	1,37	1,69
	28,19 ^{IV}	80 ^{IV}	470,3 ^{IV}	359,3 ^{IV}	1,31 ^{IV}	470	347	1,31	0,22	8,68	0,000	0,31	12,28	0,00	0,07	3,42	0,00
	28,19 ^{IV}	80 ^{IV}	462,85 ^{IV}	359,73 ^{IV}	1,30 ^{IV}	470	347	1,31	5,06	9,00	0,007	7,15	12,73	0,01	1,54	3,54	0,77
	30 ^V	50 ^V	399,90 ^V	301,94 ^V	1,32 ^V	400	302	1,38	0,07	0,04	0,042	0,10	0,06	0,06	0,03	0,02	4,55
	30 ^{VII}	61 ^{VII}	322,11 ^{VII}	301,20 ^{VII}	1,06 ^{VII}	337	302	1,13	10,53	0,57	0,049	14,89	0,80	0,07	4,62	0,27	6,60
3	24,95 ^{III}	45 ^{III}	618,0 ^{III}	406 ^{III}	1,52 ^{III}	631	411	1,53	9,19	3,54	0,007	13,00	5,00	0,01	2,10	1,23	0,66
	25,4 ^{II}	69,7 ^{II}	481,8 ^{II}	340 ^{II}	1,42 ^{II}	485	329	1,44	2,26	7,78	0,016	3,20	11,00	0,02	0,66	3,24	1,55
	27 ^V	53 ^V	501,82 ^V	342,99 ^V	1,46 ^V	511	370	1,44	6,49	19,10	0,014	9,18	27,01	0,02	1,83	7,87	137
	27,73 ^{IV}	80 ^{IV}	799,5 ^{IV}	573,6 ^{IV}	1,41 ^{IV}	799	568	1,43	0,35	3,97	0,014	0,50	5,61	0,02	0,06	0,98	1,42
	27,73 ^{IV}	80 ^{IV}	799,3 ^{IV}	562,05 ^{IV}	1,42 ^{IV}	799	568	1,43	0,25	4,21	0,007	0,35	5,95	0,01	0,04	1,06	0,70
	29 ^V	44 ^V	628,33 ^V	438,19 ^V	1,43 ^V	634	438	1,44	4,01	0,13	0,007	5,67	0,19	0,01	0,90	0,04	0,70
	30 ^I	60 ^I	648,0 ^I	417,0 ^I	1,55 ^I	634	412	1,53	9,90	3,54	0,014	14,00	5,00	0,02	2,16	1,20	1,29
Média									4,31	4,76	0,02	6,09	6,73	0,02	2,38	2,94	2,16

Fontes: (I) SANTOS (2004), (II) MINAFRA (2007), (III) ZAUK (2008), (IV) LIRA (2008), (V) THON (2008), (VI) CARVALHO (2006), (VII) LABOISSIÈRE (2008)

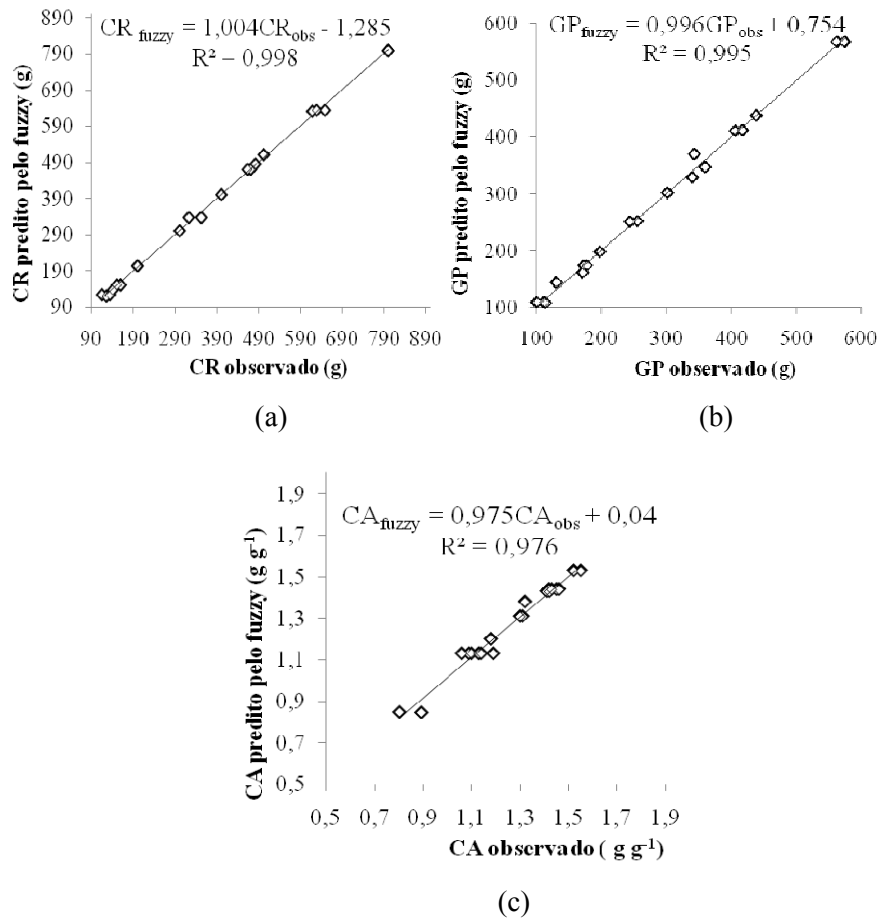


Figura 4 Regressões lineares para as variáveis de saída (a) consumo de ração (CR), (b) ganho de peso (GP), (c) conversão alimentar (CA) em função dos valores preditos pela lógica fuzzy e os valores medidos pela literatura. Linear regressions for the output variables (a) feed intake (CR), (b) weight gain (GP), (c) feed conversion (CA) according to the values predicted by the fuzzy logic and measured in the literature

Comparando-se os valores de GP simulados pelo modelo *fuzzy* com aqueles obtidos experimentalmente em uma granja comercial de criação de frangos de corte (Figura 5), verificou-se que os valores de desvio padrão, desvio absoluto, erro percentual e coeficiente de determinação (R^2) foram de 14,75 g,

20,86 g, 11,98% e 0,9753, respectivamente. Estes resultados indicam que o modelo *fuzzy* proposto teve precisão adequada para a predição do GP das aves.

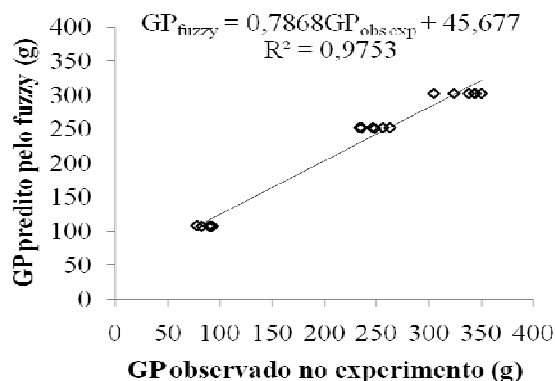


Figura 5 Regressão linear para o ganho de peso (GP), em função dos valores preditos pela lógica *fuzzy* e os valores medidos em experimentação no campo. Linear regression for the weight gain (GP) as a function of the values predicted by the *fuzzy* logic and the values measured on field

As temperaturas medianas na primeira, segunda e terceira semana de vida das aves foram de 31,3 °C, 28,5 °C e 28,3 °C, respectivamente (Figura 6a). Os valores medianos da temperatura do ar estavam contidos nas faixas de temperatura consideradas ideais para cada semana, que são de 32 °C a 34 °C, 28 °C a 32 °C e 26 °C a 28 °C, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2006). Porém, verifica-se que na primeira, segunda e terceira semana de vida, durante 86,6 %, 55 % e 76,7 % do tempo (Figura 6c), as aves estavam sujeitas a temperaturas fora das faixas de conforto. De acordo com MOURA et al. (2009) e SILVA et al. (2009), valores de temperaturas superiores ou inferiores às faixas consideradas ideais para os frangos de corte, de acordo com a idade, prejudicam seu desempenho e sua produção.

Com relação à UR, os valores medianos de 61 %, 63 % e 64 % foram observados para a primeira, segunda e terceira semanas, respectivamente (Figura 6b). Ao se analisar as frequências de ocorrência de UR para as três semanas em

questão, verifica-se que durante 38,5 %, 45,4 % e 40,9 % do tempo (Figura 6d), as aves estavam sujeitas às URs fora das faixas de conforto para cada semana de criação. Dentre as possíveis implicações para os animais, pode-se citar o comprometimento do balanço da homeotermia (MOURA et al., 2010), que pode causar a desidratação dos animais, a redução do desempenho produtivo, entre outras respostas indesejáveis.

Predições de GP com o modelo *fuzzy* mostraram que se as aves fossem criadas em condições ideais de T e UR durante as três primeiras semanas de criação, o GP médio semanal seria de 0,117 kg, 0,298 kg e 0,370 kg, respectivamente. No entanto, nos galpões avaliados, foram observados os valores 0,085 kg, 0,247 kg e 0,334 kg, respectivamente. Considerando o fato de que 56 mil aves estavam alojados nos dois galpões, o adicional de GP por ave em cada semana de vida seria de 0,031 kg, 0,051 kg e 0,036 kg, o que resultaria no aumento de 6.664 kg de peso vivo dos animais aos 21 dias de alojamento.

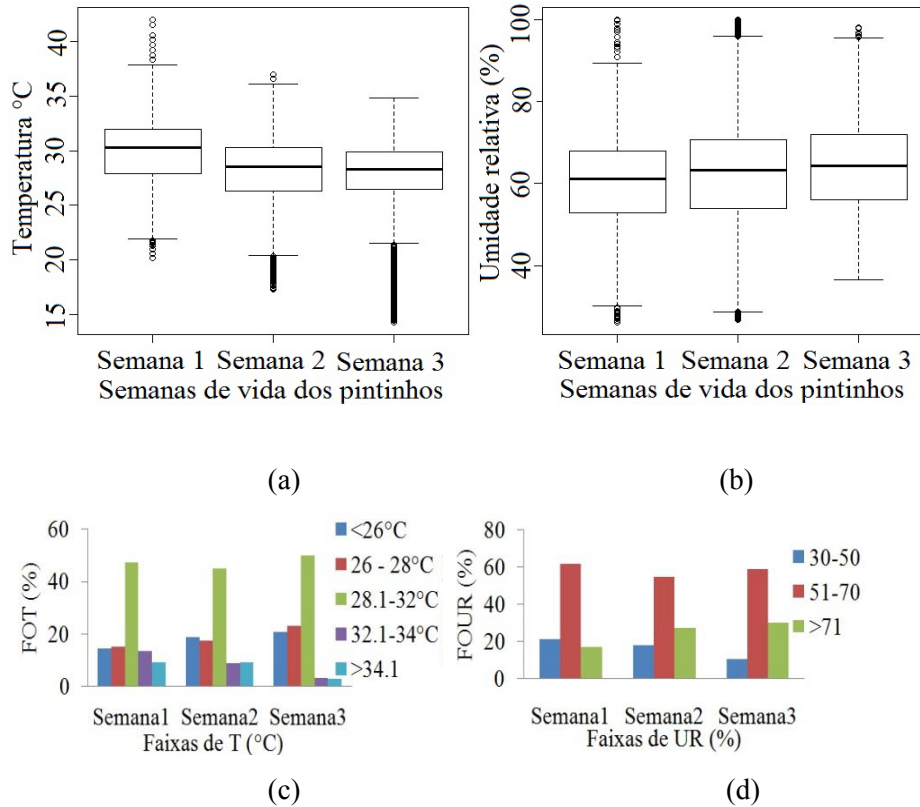


Figura 6 *Box-plot* e frequência de ocorrências de temperaturas (FOT, %) (a e c, respectivamente) e umidades relativa (FOUR, %) (b e d, respectivamente) nas três primeiras semanas de vida da ave. *Box-plot* and frequency of temperature occurrence (FOT, %) (a and c, respectively) and relative humidity (FOUR, %) (b and d, respectively) in the first three weeks of life of broiler chicken

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, conclui-se que o modelo *fuzzy* desenvolvido mostrou-se adequado para a predição do consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte com idade entre 1 e 21 dias de idade, sendo que os valores dos coeficientes de determinação foram de 0,998, 0,995 e 0,976, respectivamente.

O modelo *fuzzy* predisse de forma satisfatória o ganho de peso observado no experimento de campo realizado para validação, sendo que o coeficiente de determinação foi de 0,975.

Durante o período experimental, a temperatura do ar e a umidade relativa estiveram fora das faixas consideradas ideais pela literatura na maior parte do tempo, o que ocasionou uma perda de 6.664 kg de peso vivo dos animais aos 21 dias de alojamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G. de, BAÊTA, F.C.; ABREU, V.M.N.; SOARES, P.R.; PERDOMO, C.C.; SILVA, M.A. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 29, n. 1, p.159-167, fev. 2000.
- AMENDOLA, M.; CASTANHO, M.J.; NÄÄS, I.A.; SOUZA, A.L. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. *Biomatemática Brasil*, Campinas, v.14, p.87-92, ago. 2004.
- AMENDOLA, M.; SOUZA, A.L.; BARROS, L.C. *Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.5*. *Biomatemática Brasil*, Campinas, v.1, p.1-46, maio, 2005.
- CADENAS, J.M.; PELTA, D.A.; PELTA, H.R.; VERDEGAY, J.L. Application of Fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v.158, n.1, p. 218-228, out 2004.
- CARVALHO, J. C. C. *Complexos enzimáticos em rações fareladas para frangos de corte*. 2006. 64f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras - UFPA, Lavras, 2006.
- CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I. de F.F.; SILVA, J.N da; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.de A.de C.; CECON, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *R. Bras. Zootec.* Viçosa v.39, n.1, p.217-224, jan. 2010.
- FUNCK, S.R.; FONSECA, R.A.. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v.12, n.1, p.91-97, fev. 2008.
- JACOME, I. M. T. D.; FURTADO, D.A.; LEAL, A.F.; SILVA, J.H.V.; MOURA, J.F.P.. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v.11, n.5, p.527-531, out. 2007.
- LABOISSIÈRE, M. Farinhas de resíduos de abatedouro avícolas em diferentes graus de processamento em rações pré-iniciais e iniciais de frangos de corte. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Goiás – UVG, Goiânia, 2008.

LIRA, R.C. Valor nutricional e utilização do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.) e do tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) na alimentação de frangos de corte. 2008. 105 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

MARCHINI, C.F.P., SILVA, P.L., NASCIMENTO, M.R.B.M., BELETTI, M.E., GUIMARÃES, E.C., SOARES, H.L. Intestinal morphometry of the duodenal mucosa in broiler chickens underwent to high cyclic environment temperature. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 61, n. 2, p.491-497, abr. 2009.

MEDEIROS, C.M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. 2001. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2001.

MENEZES, A. G.; NAAS, I. A.; BARACHO, M. S. Identification of critical points of thermal environment in broiler production. *Rev. Bras. Cienc. Avic.*, Campinas, v. 12, n. 1, Mar. 2010 .

MINAFRA, C. S. Produção e suplementação com α -amilase de *Cryptococcus flavus* e *Aspergillus Niger* HM2003 na dieta de frangos de corte de um a 21 dias de idade. 2007. 141 f. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, 2007.

MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; ALVES, E. C. de S; CARVALHO, T. M. R de; VALE, M. M. do; LIMA, K. A. O de. Análise de ruído para a avaliação do conforto térmico de pintinhos. *Sci. agric.*, Piracicaba, v. 65, n. 4, p.438-443, jul./ago. 2008.

MOURA, D.J.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O de, CARVALHO, T.M.R. de, MAIA, A.P.A.M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Bras. Zootec.* Viçosa, v.39, supl. especial, pp. 311-316, 2010 .

MOURA, D.J.; NÄÄS, I. A.; PEREIRA, D. F.; SILVA, R. B.T. R.; CAMARGO, G. A. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v.8, n.3, p.137-148, jul/set. 2006.

NAAS, I. A.; QUEIROZ, M.P.G.; MOURA, D.J de; BRUNASSI, L.A. Estimativa de estro em vacas leiteiras utilizando métodos quantitativos preditivos. *Ciência. Rural*, Santa Maria, v.38, n. 8, p.2383-2387, nov. 2008.

NAZARENO, A.C., PANDORFI, H., ALMEIDA, G.L.P., GIONGO, P.R., PEDROSA, E. M.R., GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. *Rev. Bras. Eng. Agríc.Ambient.*, Campina Grande, v. 13, n. 6, p.802-808, 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.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.797-803, 2006.

OWADA, A. N.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J.; BARACHO, M.S. Estimativa de bem-estar de frangos de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, set./dez. 2007.

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S.M.S.P. 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.; BIGHI, C.A.; GABRIEL FILHO, L.R.; GABRIEL, C.P.C. 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.; MOURA, D.J.; CRUZ, V.F. da; SOUZA, S.R.L. de; LIMA, K.A.O de; MENDES, A.S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p.1492-1498, ago. 2009.

SALGADO, D.D.; NÄÄS, I.A.; PEREIRA, D.F.; MOURA, D.J. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, dez. 2007.

SANTOS, A. L. dos. *Potencial de crescimento, desempenho, rendimento de carcaça e qualidade da carne de diferentes linhagens de frango de corte convencional e tipo caipira*. 2004 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal, 2004.

- SANTOS, R. C.; NÄÄS, I. A.; MOREIRA, F. R.; GOMES FILHO, R. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. *Enciclopédia biosfera*, Goiânia, v. 5, n.8, p. 1-6, ago.2009.
- SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; YANAGI, S. N. M. Metodologia *fuzzy* aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.16, n.2, p. 108-191, abr./jun. 2008.
- SILVA, V. K., SILVA, J.D.T.; GRAVENA, R.A.; MARQUES, R.H.; HADA, F.H.; MORAES, V.M.B. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas.. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 38, n. 4, Apr. 2009 .
- TEIXEIRA, E.N.M.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; MARTINS, T.D.D.; GIVISIEZ, P.E.N.; FURTADO, D.A. Efeito do tempo de jejum pós-eclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de pintos de corte. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 38, n. 2, feb. 2009.
- THON, M. S. *Níveis de lisina e de arginina digestíveis, de sódio e número de mongin na ração pré-inicial de frangos de corte*. 2008. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Goiás – UVG, Goiânia, 2008.
- TOLON, Y. B.; BARACHO, M. S.; NÄÄS, I. A.; ROJAS, M.; MOURA, D. J. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p.1-13, jan/fev. 2010.
- VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; MENEGALI, I.; SOUZA JÚNIOR, J. P.; HOLANDA, M. C. R. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 39, n. 6, jun 2010.
- ZAUKE, N.H.F. *Desempenho produtivo, características de carcaças e morfometria intestinal de frangos de corte recebendo dietas pré-iniciais com inclusão de diferentes níveis de extrato de levedura (Saccharmyces cerevisiae)*. 2008.140 f. Tese (Doutorado em Nutrição Animal) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

ARTIGO 2

**AJUSTE DE MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DA
TEMPERATURA RETAL DE FRANGOS DE CORTE DURANTE OS
PRIMEIROS 21 DIAS DE VIDA**

**Artigo redigido conforme norma da revista Revista Científica Engenharia
Agrícola**

**Ajuste de modelos empíricos para estimativa da temperatura retal de
frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida**

PONCIANO, P.F.¹; YANAGI JUNIOR², T.; LIMA, R. R. de³; SCHIASSI, L.⁴;
TEIXEIRA, V. H.²

¹ Zootecnista, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – MG, patyponciano@yahoo.com.br.

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras – MG.

³ Zootecnista, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Exatas, UFLA/Lavras – MG.

⁴ Eng^o Agrícola, Mestrando, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras – MG.

Resumo: Este trabalho teve por objetivo ajustar modelos empíricos para prever a temperatura retal (t_{retal}) de frangos de corte em diferentes situações térmicas ambientais em função da idade (I), da temperatura do ar (t_{ar}), do índice de temperatura e umidade (ITU), do índice da temperatura do globo e umidade (ITGU) e da entalpia (H). Os dados experimentais utilizados para o ajuste dos modelos matemáticos foram coletados em dois galpões comerciais, um com aquecimento feito por aquecedor industrial e o outro aquecido artesanalmente, com aves da linhagem Cobb, com 1 a 21 dias de idade. Foi possível prever satisfatoriamente a t_{retal} de frangos de corte pelos quatro modelos gerados, sendo que os erros percentuais médios foram de 0,66%, 0,65%, 0,66% e 0,68%, respectivamente.

Palavras-chave: ambiente térmico, avicultura, modelagem.

**Adjust of empirical models to estimate the rectal temperature of
broilers for the first 21 days of life**

Abstract: This work aims at adjusting empirical models in order to predict the rectal temperature (r_{rectal}) of broiler chickens under different thermal conditions based on age (A), air temperature (t_{air}), temperature and humidity index (THI), black globe humidity index (BGHI) and enthalpy (H). The experimental data used for adjustments of mathematical models were collected in two commercial poultry farms, equipped with different heating systems, being one of them industrial, the other was craft heating. The study was conducted with Cobb chicks, of 1 to 21 days of age. It was possible to predict the rectal temperature of broilers satisfactorily by applying the four models generated by this study; which presented the respective average percentage errors: 0.66%, 0.65%, 0.66% and 0.68%.

Key words: thermal environment, poultry, modeling.

INTRODUÇÃO

Dentre os fatores ambientais, os térmicos são aqueles que afetam mais diretamente a produção, a sobrevivência e o bem-estar das aves. Pesquisas têm demonstrado que o manejo eficiente dos elementos térmicos ambientais deve garantir a manutenção da homeotermia das aves recém nascidas, especialmente na fase inicial da criação de frangos, (SANTOS et al., 2009).

O aparelho termorregulador das aves é pouco desenvolvido, tornando-as sensíveis ao frio quando jovens e ao calor, quando adultas (FUNCK & FONSECA, 2008). Se a temperatura se encontra abaixo das exigências térmicas das aves, grande parte da energia ingerida na ração, que poderia ser utilizada para produção, é desviada para manutenção do sistema termorregulador nas primeiras semanas de vida (CORDEIRO et al., 2010).

A umidade relativa (UR) também tem um papel importante para os animais confinados, pois afeta a sensação térmica. Geralmente, o calor é tolerável com uma baixa taxa de umidade, mas não é tolerável quando a umidade é alta. Valores altos de UR em um microclima frio, propiciam a condensação de vapor de água nas paredes e outros componentes do galpão, possibilitando a ocorrência de doenças (MOURA et al., 2010). De acordo com MEDEIROS et al. (2005), o ideal é que o ambiente para criação de frangos de corte apresente UR entre 50 e 70%. O conforto térmico no interior das instalações avícolas é um fator muito importante, já que as condições climáticas inadequadas podem afetar negativamente a produção de frangos de corte (ROCHA et al., 2010).

Um animal pode demonstrar seu conforto ou desconforto por meio de suas respostas fisiológicas. As avaliações de respostas fisiológicas e desempenho produtivo são formas de se avaliar a eficiência do sistema de criação e condições de bem-estar de frangos de corte. As variáveis a elas

relacionadas sofrem interferência direta do ambiente interno de criação (DAMASCENO et al., 2010).

O aumento da temperatura retal (t_{retal}) é uma resposta fisiológica às condições de temperatura do ar (t_{ar}) e UR elevadas, que resulta do armazenamento do calor metabólico (SILVA et al., 2003).

Para manter a t_{retal} relativamente constante para os órgãos vitais, o calor corporal deve ser conservado ou liberado, como resposta às mudanças do meio ambiente (FUNCK & FONSECA, 2008). As aves mantêm sua temperatura corporal por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais (FURTADO et al., 2010). Se estes mecanismos não são suficientes para manter a homeotermia, a temperatura interna aumenta podendo, em casos extremos, ocorrer a morte dos animais pelo estresse térmico (MOURA et al., 2010).

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de estimar a temperatura retal de frangos de corte de 1 a 21 dias por meio de modelos empíricos em função da idade dos animais (I) e de índices térmicos ou de entalpia (H).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para ajuste de modelos empíricos foram coletados em um experimento conduzido em dois galpões comerciais para criação de frangos de corte localizados na mesorregião Oeste de Minas Gerais, durante a estação da primavera.

Os galpões utilizados são orientados na direção nordeste-sudoeste, distantes um do outro cerca de 100 m. As coordenadas geográficas médias do galpão A são 20°12'02" de latitude sul e 45°02'08" de longitude oeste de Greenwich. As coordenadas geográficas médias do galpão B são 20°11'58" de latitude sul e 45°02'08" de longitude oeste de Greenwich. Os dois galpões são estruturalmente idênticos, com dimensões de 13 m de largura, 160 m de

comprimento e três metros de pé-direito, cobertura de telhas de cimento amianto de 6 mm de espessura, piso de concreto, cama de casca de arroz, cortinas laterais e forro de lona plástica amarela, posicionado a 2,45 m de altura. Foram utilizadas cortinas duplas nas laterais do galpão (uma interna e outra externa). As cortinas internas foram retiradas no quinto dia de vida das aves e as externas foram manejadas de acordo com as condições climáticas, durante todo o período experimental. A área interna do galpão foi limitada por meio de chapas de compensado para que os pintinhos ficassem o mais próximo possível dos sistemas de aquecimento. À medida que os animais cresciam, essas chapas eram movidas para que a área disponível para os animais fosse aumentada. No início do experimento, no primeiro dia de vida, as aves do galpão A foram distribuídas na densidade de 54 aves/m². Posteriormente, a área útil do galpão aumentou de modo a reduzir a densidade de alojamento, paulatinamente, até a densidade final de criação, que foi de 13 aves/m² no final da fase de aquecimento. Já no galpão B, na primeira semana, a densidade foi de 52 aves/m², passando para 13 aves/m². Esta diferença na área disponível para os animais entre os galpões A e B se deu devido a pequenas variações no posicionamento nas chapas de compensado.

No galpão A, o sistema de aquecimento do ambiente adotado constituía-se de duas fornalhas com queima de biomassa de forma indireta, construídas artesanalmente com tijolos, barro e esterco sobre estrutura de ferro, localizadas a 80 m de distância uma da outra. Cada fornalha possuía 1,88 m de comprimento, 1,27 m de largura e 1,58 m de altura. Para seu funcionamento, utilizava um motor trifásico, potência 2206 W, 1725 RPM, que insuflava o ar aquecido para o galpão por um tubo de 10 cm de diâmetro.

No galpão B, o sistema de aquecimento consistia de uma fornalha industrial de material metálico com queima indireta de biomassa, comprimento de 2,23 m, largura de 1,23 m e 1,85 m de altura. O ar aquecido era insuflado por um motor trifásico, potência 2206 W, 1725 RPM e distribuído por

aproximadamente 28,6 m de tubulação metálica do lado nordeste e 22,45 m do lado sudoeste instalada na parte interna central do galpão. A tubulação possuía 23 cm de diâmetro e orifícios de 5 cm de diâmetro a cada 1,0 m locados alternadamente em cada lado, para a saída do ar aquecido.

Foram utilizados 28.000 pintinhos machos de 1 a 21 dias de idade, da linhagem Cobb em cada galpão. Os dados do oitavo dia de experimento foram desconsiderados devido a uma impossibilidade causada pelo manejo adotado pela granja neste dia.

Durante a fase experimental, as aves tiveram acesso *ad libitum* à água na primeira semana por meio de 4 linhas de bebedouros pendulares e, a partir da segunda semana, por 5 linhas, com espaçamento de 2,0 m e cerca de 100 aves por bebedouro. Na primeira semana, a ração foi distribuída por meio de 1 linha de comedouros automáticos, espaçados em 0,65 m e 5 linhas de comedouros manuais, distribuídos aleatoriamente. Já na segunda semana, foram utilizadas três linhas de comedouros automáticos e sete linhas de comedouros manuais. A partir do 18º dia, os comedouros manuais foram removidos, permanecendo apenas os automáticos.

As dietas fornecidas aos animais foram formuladas para suprir as exigências de nutrientes para as diferentes fases de crescimento das aves e foram iguais para ambos os sistemas.

Para caracterizar o ambiente térmico, foram tomadas as medidas diárias de t_{ar} , temperatura de ponto de orvalho (t_{po}), UR e temperatura de globo negro (t_{gn}). A posição dos sensores era alterada quando mudava o posicionamento das chapas de compensado, para que os sensores registrassem sempre a condição em que o pintinho estava submetido, conforme ilustrado na Figura 1. Sendo que L é a largura da área disponível para aves e C é o comprimento.

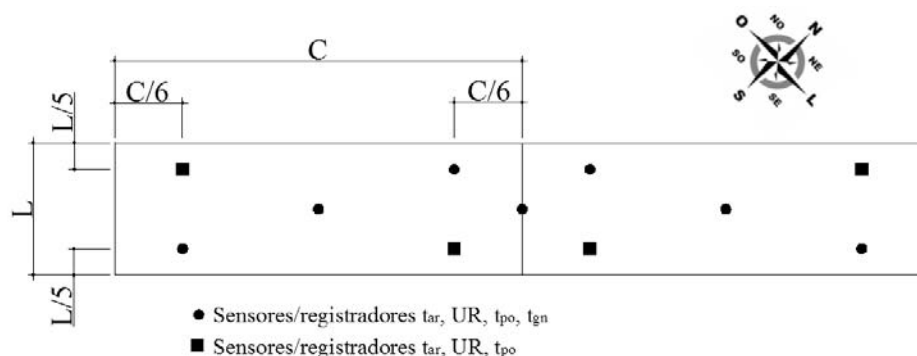


Figura 1 Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de t_{ar} , UR, t_{po} e t_{gn} nos galpões de frango. Placement data loggers for t_{air} , relative humidity, dew temperature and black globe temperature in broiler units

As medições foram realizadas a uma altura compatível com a zona de ocupação dos pintinhos, a 10,0 cm da cama (CORDEIRO et al., 2010), em intervalos de cinco minutos, durante todo o período experimental. Foram utilizados sensores/registradores de t_{ar} , t_{gn} , UR (precisão de $\pm 3\%$ da leitura), mantidos em gaiolas de malha de arame a fim de que os animais não os danificassem.

A t_{retal} foi avaliada 3 vezes ao dia, nos períodos P1, de 8:00 às 11:00 h; P2, de 13:40 às 15:20 h e P3, de 16:30 às 18:20 h. Em cada período, quatro aves em cada galpão eram escolhidas aleatoriamente. Assim, diariamente, 12 aves foram avaliadas em cada galpão. A t_{retal} foi medida por meio de um termômetro digital (precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

Além da t_{ar} , o ambiente no interior dos galpões foi caracterizado por meio do índice de temperatura e umidade (ITU), do índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e da entalpia (H).

Por envolver um menor número de variáveis, o ITU é considerado um dos índices mais simples e tem se destacado por englobar os efeitos da T e da UR. Este índice pode ser calculado pela Equação 1 desenvolvida por THOM (1959).

$$ITU = t_{ar} + 0,36 \cdot t_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:

t_{ar} = temperatura do ar (°C),

t_{po} = temperatura do ponto de orvalho (°C)

Desenvolvido por BUFFINGTON et al. (1981), o ITGU é atualmente o índice mais difundido para prever as condições de conforto térmico em regiões quentes pelo fato de incorporar a temperatura do bulbo seco (T), a umidade relativa (UR), a velocidade do vento (V) e a radiação na forma de temperatura de globo negro em um único valor, sendo calculado pela Equação 2.

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 \cdot t_{po} - 330,08 \quad (2)$$

em que:

t_{gn} é a temperatura de globo negro, K, e

t_{po} é a temperatura de ponto de orvalho, K.

Segundo BARBOSA FILHO et al. (2007a), a entalpia (H) tem sido proposta para avaliação do ambiente interno de galpões de criação de frangos de corte que por definição é uma variável física que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d' água (kJ kg^{-1} de ar seco). Portanto, nos casos de alteração na UR, para uma mesma t_{ar} , a energia envolvida nesse processo se altera, e como consequência, as trocas térmicas no ambiente serão alteradas. A entalpia pode ser determinada pela Equação 3.

$$H = 6,7 + 0,243 \cdot t_{ar} + \left\{ \frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{0,0001 \cdot t_{ar}}{0,0001 + t_{ar}}} \right\} \quad (3)$$

em que:

H é a entalpia, em kJ kg^{-1}

Para a determinação das equações empíricas para estimar a t_{retal} , inicialmente os dados foram filtrados e as variáveis ambientais coletadas nos 40 minutos antes do horário de medições da t_{retal} dos animais, identificadas. Isto foi feito para que se tivesse conhecimento das variações ambientais que possam ter influenciado a t_{retal} nos 40 minutos anteriores à coleta. Posteriormente, para o ajuste dos modelos, foram calculadas as médias de t_{ar} , ITU, ITGU e H para todos os horários de coleta de cada um dos 24 animais coletados diariamente.

Determinadas as médias das variáveis a serem consideradas na obtenção das equações para estimação da t_{retal} , foram realizados os ajustes das equações empíricas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambiente térmico

Por meio da Figura 2, é possível observar a t_{ar} , ITU, ITGU e H no interior dos galpões durante todo o período experimental e também as faixas ideais dessas variáveis recomendadas pela literatura.

De acordo com recomendações na literatura, o intervalo de temperatura considerado confortável para a criação de frangos de corte na primeira semana de vida das aves situa-se entre 32 e 34°C. Na segunda semana de vida, a faixa recomendada está entre 28 e 32°C e, na terceira semana, entre 26 e 28°C (OLIVEIRA et al., 2006).

Ao observar a Figura 2a, pode-se perceber que no 1º e no 2º dia de vida, mesmo com o aquecimento, a mediana da temperatura nos dois galpões esteve muito abaixo do recomendado para a criação de pintinhos. Esta temperatura baixa se deve a possíveis falhas de manutenção ou de manejo dos sistemas de aquecimento, fazendo com que não alcançassem a máxima eficiência necessária.

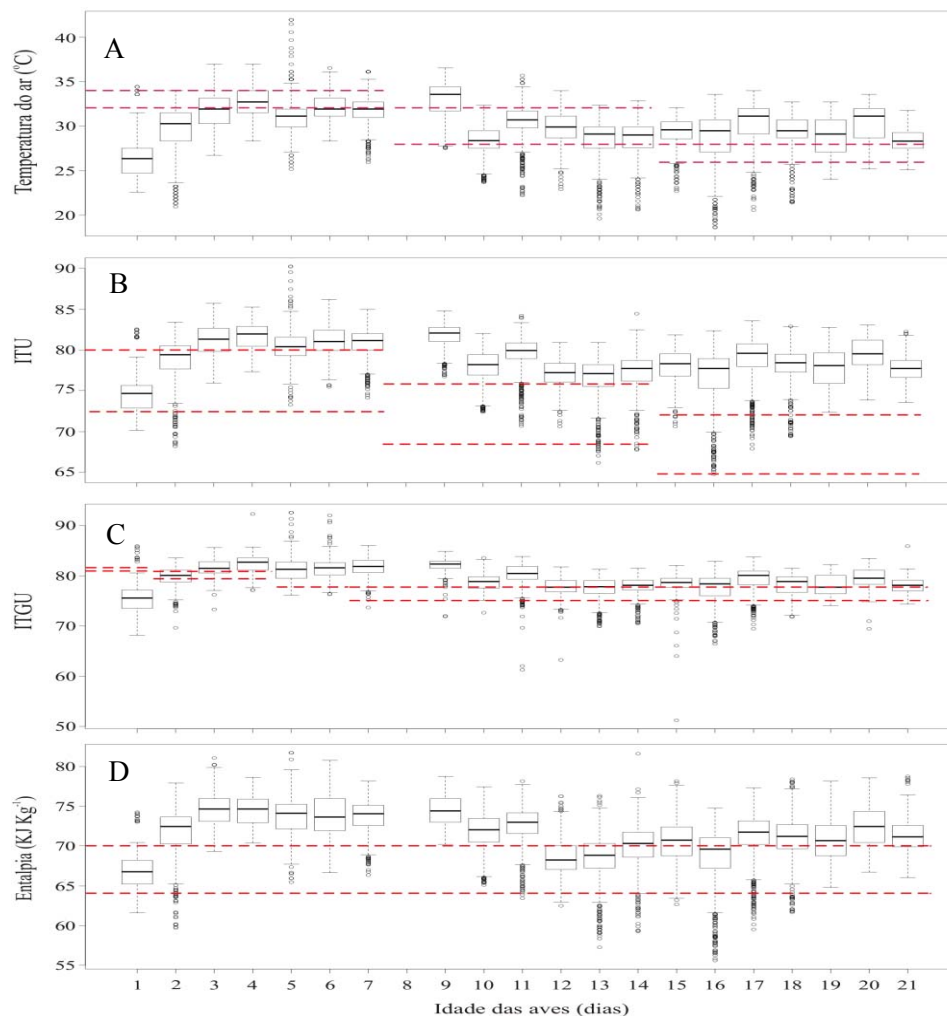


Figura 2 *Box-plot* da t_{ar} (a), ITU (b), ITGU (c) e H (d) dos dois galpões durante os 40 minutos anteriores à medição da t_{rectal} nos três períodos de coleta para os 21 dias experimentais, e, suas faixas ideais indicadas pela literatura. *Box-plot* for t_{air} , THI (a), BGHI (b) and H (d) measured 40 minutes before the measurement of t_{rectal} for the experimental period and their ideal intervals as recommended by the literature

Nos dias seguintes, esta falha foi corrigida e a temperatura ficou mais próxima do ideal para esta faixa etária. Apenas no 9º dia de vida das aves, a temperatura esteve um pouco acima do recomendado, com média de 33°

Segundo CORDEIRO et al. (2010), as duas primeiras semanas de vida das aves são as mais críticas, pois erros cometidos nesta fase não poderão ser corrigidos a contento no futuro. Sendo assim, o ambiente térmico nesta fase deve ser muito bem controlado para não afetar negativamente o desempenho final das aves. Na terceira semana de vida, a t_{ar} foi superior ao recomendado para os pintinhos, ou seja, superior a 28°C. Nesta fase de criação, o controle da temperatura no interior do galpão também foi falho. Seria necessário um controle maior da temperatura e, possivelmente, a utilização de um sistema que contribuísse para o arrefecimento das aves.

A variação do ITU ao longo dos 21 dias de experimento está ilustrada na Figura 2b. ABREU & ABREU (2001) recomendam que o ITU para frangos de corte seja de 72,4 a 80; de 68,4 a 76 e de 64,8 a 72 na primeira, segunda e terceira semanas de vida, respectivamente. Analisando a Figura 2b, observa-se que no 1° e no 2° dia, o ITU esteve dentro do recomendado. Porém, em todos os outros dias, o ITU esteve acima do indicado.

Por meio da Figura 2c, pode-se analisar como variou o ITGU durante o período experimental. Para as aves, OLIVEIRA et al. (2006) consideraram confortáveis os valores ITGU de 80,99 a 81,61 no 1° dia de vida; de 79,09 a 80,91, do 2° ao 4° dia; 77,00, do 5° ao 6° dia e de 73,25 a 76,55, do 7° ao 21° dia. Observando a Figura 2c, percebe-se que no 1° dia do experimento, o ITGU esteve abaixo do indicado, no 2° dia, esteve dentro do conforto e, nos outros dias, esteve sempre acima do ideal.

A Figura 2d indica a H durante os 21 dias analisados. De acordo com BARBOSA FILHO et al. (2007), o limite de H considerado ideal para as aves é de 64 a 70 $\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$. Mas estes autores não estratificaram os intervalos de H em semanas ou dias. Durante o período experimental, somente no 1°, 12°, 13° e 16° dias as H estiveram de acordo com o recomendado. Nos outros dias, estas H estiveram acima da faixa considerada ideal.

Modelos de regressão

Quatro modelos empíricos para estimativa da t_{retal} em função da I e da t_{ar} ou H ou ITU ou ITGU foram ajustados (Equações 4, 5, 6 e 7, respectivamente). Os quatro modelos ajustados foram estatisticamente significativos (teste F, $P = 2,2 \times 10^{-16}$), sendo que os seus coeficientes também foram estatisticamente significativos (teste t, $P = 2,0 \times 10^{-16}$). Os modelos empíricos listados nas equações 4, 5, 6 e 7 são válidos para os intervalos de t_{ar} de 24,0 a 34,7°C, de ITU de 72,0 a 83,3, de ITGU de 72,7 a 84,0 e de H de 63,6 a 77,6 kJ kg^{-1} de ar seco respectivamente. Por sua vez, os valores de I devem variar entre 1 a 21 dias.

$$t_{\text{retal}} = 35,12 \pm 0,24 + 0,26 \pm 0,01 \cdot I - 0,0069 \pm 0,0005 \cdot I^2 + 0,130 \pm 0,008 \cdot t_{\text{ar}}$$

(4)

$$t_{\text{retal}} = 29,46 \pm 0,57 + 0,28 \pm 0,01 \cdot I - 0,0075 \pm 0,0005 \cdot I^2 + 0,120 \pm 0,007 \cdot \text{ITU}$$

(5)

$$t_{\text{retal}} = 28,54 \pm 0,60 + 0,28 \pm 0,01 \cdot I - 0,0074 \pm 0,0005 \cdot I^2 + 0,130 \pm 0,008 \cdot \text{ITGU}$$

(6)

$$t_{\text{retal}} = 32,33 \pm 0,43 + 0,28 \pm 0,01 \cdot I - 0,0075 \pm 0,0005 \cdot I^2 + 0,386 \pm 0,024 \cdot H$$

(7)

Temperatura retal

A Figura 3 ilustra a relação funcional entre os valores de t_{retal} observados e simulados pelos quatro modelos ajustados em função da t_{ar} (a), ITU (b), ITGU (c) e H (d).

Os coeficientes de determinação (R^2) das equações 4, 5, 6 e 7 foram de 0,8001, 0,8078, 0,8132 e 0,8044, respectivamente e os erros absolutos médios foram de 0,27°C para os quatro modelos. Os erros percentuais médios foram de 0,66%, 0,65%, 0,66% e 0,68% e os erros quadráticos médios de 0,14, 0,13, 0,13 e 0,14, respectivamente. Ao desenvolver uma rede neuro-*fuzzy* para estimar a t_{retal} de frangos de corte, FERREIRA (2009) encontrou erros quadráticos médios de treinamento e de validação iguais a 0,20 e 0,24, respectivamente. LOPES (2009) encontrou um erro percentual médio de 0,78% para o treinamento e 1,02% para a validação ao treinar e validar redes neurais artificiais para prever a t_{retal} em função das condições térmicas. A comparação com estes resultados encontrados na literatura indicam uma boa precisão de todos os modelos empíricos ajustados para a predição da t_{retal} .

Conforme citado anteriormente, os autores OLIVEIRA et al. (2006) e ABREU & ABREU (2001) preconizam as condições adequadas de t_{ar} , ITGU e ITU para criação de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. Utilizando as equações 4, 5 e 6 juntamente com os parâmetros citados por estes autores, pode-se estimar os intervalos de t_{retal} em função das faixas de t_{ar} , ITU e ITGU indicados pela literatura para frangos de corte (Tabela 1).

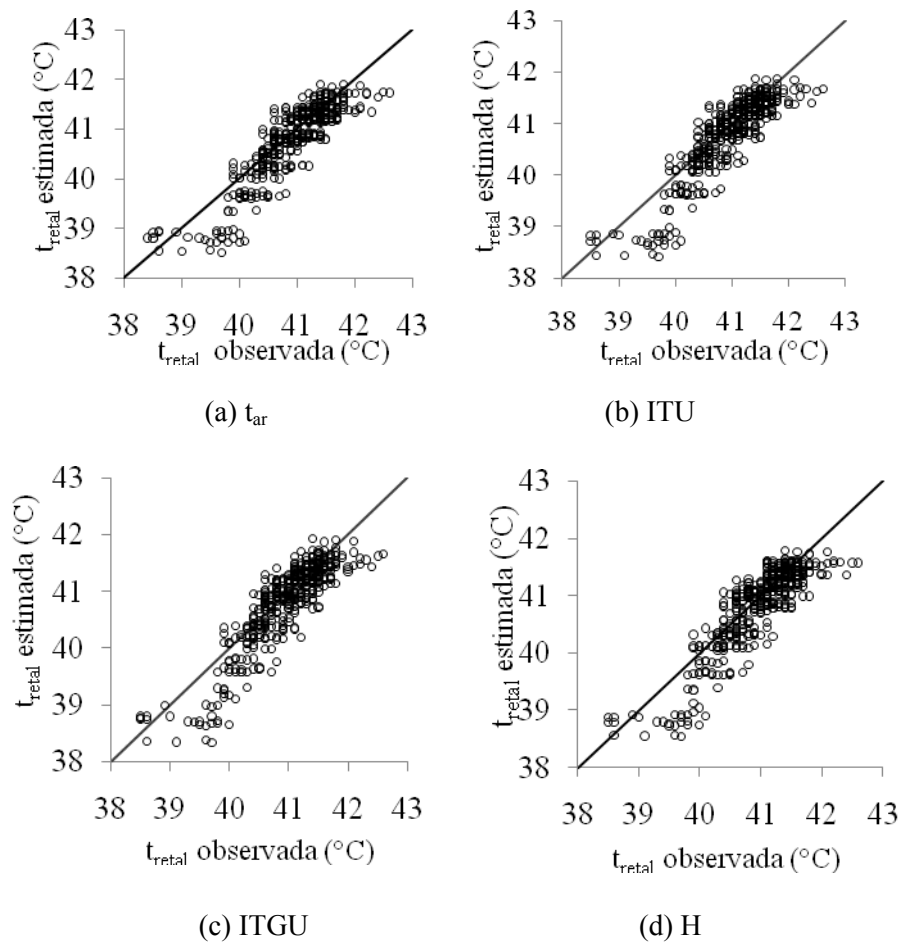


Figura 3 Relação funcional entre os valores estimados e observados da t_{rectal} em função da idade dos frangos de corte (I, dias) e da (a) t_{ar} , (b) ITU, (c) ITGU e (d) H. Functional relationship between estimated and observed t_{rectal} values as a function of the broiler chickens age (I, days) and the (a) t_{air} , (b) ITU (c) ITGU and (d) H

Tabela 1 Intervalo de t_{rectal} em função das faixas de t_{ar} , ITU e ITGU indicados pela literatura para frangos de corte. t_{rectal} interval as a function of t_{air} , THI and BGHI recommended by the literature on broiler chicken

I (dias)	T (°C) ideal	ITU (adimensional) ideal	ITGU (adimensional) ideal
1	39,5 – 39,8	38,4 – 39,4	39,4 – 39,5
2	39,8 – 40,0	38,7 – 39,6	39,4 – 39,7
3	40,0 – 40,3	38,9 – 39,9	39,7 – 39,9
4	40,2 – 40,5	39,2 – 40,0	39,9 – 40,1
5	40,4 – 40,7	39,4 – 40,3	39,8
6	40,6 – 40,9	39,6 – 40,5	40,0
7	40,8 – 41,0	39,8 – 40,7	39,7 – 40,2
8	40,4 – 40,9	39,5 – 40,4	39,9 – 40,3
9	40,6 – 41,1	39,6 – 40,5	40,1 – 40,5
10	40,7 – 41,2	39,7 – 40,7	40,2 – 40,6
11	40,8 – 41,3	39,9 – 40,8	40,3 – 40,8
12	40,9 – 41,5	40,0 – 40,9	40,4 – 40,9
13	41,0 – 41,5	40,0 – 41,0	40,5 – 40,9
14	41,1 – 41,6	40,1 – 41,0	40,6 – 41,0
15	40,9 – 41,2	39,8 – 40,6	40,7 – 41,1
16	41,0 – 41,2	39,8 – 40,7	40,7 – 41,2
17	41,0 – 41,3	39,8 – 40,7	40,8 – 41,2
18	41,0 – 41,3	39,9 – 40,7	40,8 – 41,2
19	41,0 – 41,3	39,9 – 40,7	40,8 – 41,2
20	41,0 – 41,3	39,8 – 40,7	40,8 – 41,2
21	41,0 – 41,3	39,8 – 40,7	40,8 – 41,2

Nota: De acordo com OLIVEIRA et al. (2006), a faixa de temperatura considerada ideal para criação de frangos de corte na primeira, na segunda e na terceira semana de vida é de 32 a 34°C, de 28 a 32°C e de 26 a 28°C, respectivamente. Para o ITU, os intervalos são de 72,4 a 80, 68,4 a 76 e 64,8 a 72 na primeira, na segunda e na terceira semana de vida, respectivamente (ABREU & ABREU, 2001). Com relação ao ITGU, as faixas ideais variam de 80,99 a 81,61 no 1º dia de vida, 79,09 a 80,91 do 2º ao 4º dia, 77,00 do 5º ao 6º dia e 73,25 a 76,55 do 7º ao 21º dia (OLIVEIRA et al., 2006)

Na literatura, observa-se que as informações a respeito dos valores ideais de H para frangos de corte são escassas, mais ainda em se tratando de pintinhos. Dessa forma, seria útil uma forma de se calcular a H ideal para frangos de 1 a 21 dias de idade, tendo por base as variáveis térmicas. De posse

das informações de t_{retal} nas faixas ideais de t_{ar} , ITU e ITGU pode-se utilizar a equação 7 e realizar o cálculo inverso para estimativa da H ideal para cada faixa etária baseando-se nos intervalos das variáveis, recomendados pela literatura (Tabela 2).

Tabela 2 Intervalos de \bar{H} estimados em função dos intervalos de t_{ar} , ITU e ITGU ideais indicados pela literatura para frangos de corte. \bar{H} interval estimated as a function of ideal t_{air} , THI and BGHI as recommended by the literature for broiler chicken

I (dias)	H (kJ kg^{-1} de ar seco) ideal
1	70,6 – 75,1
2	69,6 – 74,7
3	69,6 – 74,7
4	69,6 – 74,7
5	68,6 – 72,8
6	68,6 – 72,8
7	66,8 – 72,6
8	63,2 – 69,9
9	63,2 – 69,9
10	63,2 - 69,9
11	63,2 – 69,9
12	63,2 – 70,0
13	63,3 – 70,0
14	63,3 – 70,0
15	60,9 – 66,5
16	60,9 – 66,5
17	61,0 – 66,6
18	61,0 – 66,7
19	61,1 – 66,7
20	61,2 – 66,8
21	61,3 – 66,9

De acordo com a Tabela 2, observa-se que a H ideal estimada pela Equação 7 para a primeira semana é de 66,8 a 75,1 kJ kg^{-1} de ar seco . Na segunda

semana, é de 63,3 a 69,9 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$ e, na terceira semana, é de 61,3 a 66,5 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$.

BARBOSA FILHO et al. (2007b) desenvolveram uma tabela de entalpia para frangos de corte que considera a idade da ave, t_{ar} e UR. utilizando-se esta tabela e os intervalos ideais de t_{ar} e UR citados anteriormente por OLIVEIRA et al. (2006) e MEDEIROS et al. (2005), conclui-se que os intervalos de H ideais para as três semanas de vida da ave são de 76,8 a 88,0 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$, de 69,4 a 83,3 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$, de 65,9 a 74,6 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$ para a primeira, segunda e terceira semana de vida dos pintinhos, respectivamente. Todos os intervalos de H encontrados por este autor são superiores aos intervalos estimados pela Equação 7 e também estão acima da faixa considerada ideal para aves, recomendada por BARBOSA FILHO et al. (2007a).

Esta diferença existente entre a H informada pela tabela criada por BARBOSA FILHO et al. (2007b) e a estimada pela Equação 7 deve-se ao fato de que esta tabela considera a idade das aves em semanas, a t_{ar} e a UR, enquanto a Equação 7 considera a idade das aves em dias e também a t_{retal} , que é uma resposta fisiológica ao conforto ou desconforto ambiental da ave.

NAZARENO et al. (2009) avaliaram três sistemas de criação para frangos de corte industrial (confinamento total, semiconfinado com 3 m^2 e 6 m^2 por ave de área de piquete), machos da linhagem comercial Cobb 508, visando caracterizar o ambiente térmico e o desempenho animal na quarta, quinta e sexta semana de vida. Os autores verificaram que a variação entálpica no sistema de criação que mais se aproximou dos valores adequados de H foi o semiconfinado com 3 m^2 com valores de 69,75; 70,38 e 69,64 $\text{kJ kg}^{-1} \text{de ar seco}$. Ao avaliar o desempenho e a variabilidade entre linhagens de avós de frangos de corte criadas em diferentes ambientes, SILVA et al. (2007) observaram que os valores médios de H permaneceram abaixo do limite inferior da zona de conforto (de 64 a 70 kJ

$\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$) no ambiente de *pedigree*, variando, aproximadamente, de 56 a 59 $\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$ durante todo o período avaliado. No ambiente de frango de corte, os valores médios de entalpia ficaram na zona de conforto somente às 15 h, variando em média de 53 a 66 $\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$ ao longo do dia e, no ambiente de estresse, a H esteve na zona de conforto somente às 11 h, variando de aproximadamente 47 a 89 $\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$.

Os limites inferiores e superiores de H encontrados com a utilização da equação 7 em função das faixas ideais de T, ITU e ITGU e também os limites de t_{retal} utilizados para estimar a H podem ser observados na Figura 4.

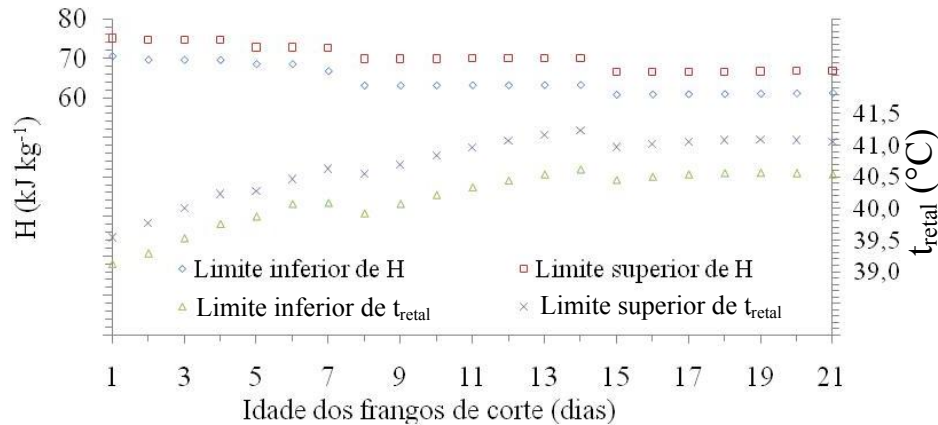


Figura 4 Entalpias estimadas (\hat{H}) e t_{rectais} estimadas durante os primeiros 21 dias por meio de equações ajustadas em função da idade, t_{ar} , ITU e ITGU consideradas ideais pela literatura e t_{rectal} . Enthalpy (\hat{H}) and t_{rectal} estimates for the first 21 days using equations adjusted for age, t_{air} , THI and BGHI considered ideal by the literature

Ao se analisar a Tabela 2 e a Figura 4, pode-se perceber que a H ideal para frangos de corte é mais alta nos primeiros dias de vida e tende a diminuir com o passar das semanas, variando de $75,1 \text{ kJ kg}^{-1}$ no 1º dia a $61,3 \text{ kJ kg}^{-1}$ no 21º dia. Porém, para a t_{rectal} ocorre o inverso: inicia-se mais baixa e, com o passar dos dias, eleva-se gradualmente, variando de $38,4$ a $41,6^{\circ}\text{C}$. Quando a temperatura corporal das aves é comparada à temperatura corporal dos mamíferos, a das aves, além de ser mais alta, é variável. Segundo WELKER et al. (2008), a temperatura corporal de aves adultas oscila entre 41 e 42°C . A temperatura do ar na qual este desbalanceamento ocorre varia com a espécie das aves, a idade, a história térmica anterior e a umidade relativa e ainda com o peso corporal, o sexo, a atividade física e o consumo de alimentos. Ao estudarem a frequência respiratória e temperatura retal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada, MARCHINI et al. (2007) concluíram que

a temperatura corporal aumenta com a idade do frango, independentemente da temperatura ambiente. As t_{retais} dos frangos que não foram submetidos ao aumento de temperatura foram de $40,0 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$, $40,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$, $40,7 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e $41,0 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ no 1°, 7°, 14° e 21° dia de vida. De acordo com a Figura 4, observa-se que as t_{retais} máximas e mínimas no 1°, 7°, 14° e 21° dia de vida foram de 39,1 a 39,5°C, 40,1 a 40,7°C, 40,6 a 41,2°C, 40,5 a 41,1°C, respectivamente. Ou seja, as t_{retais} encontradas no presente trabalho encontram-se próximas as t_{retais} citadas por MARCHINI et al. (2007) para as mesmas faixas etárias.

CONCLUSÕES

Foi possível prever a temperatura retal de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade por meio de modelos empíricos em função da idade dos animais (I), da temperatura do ar (t_{ar}), do índice de temperatura e umidade relativa (ITU), do índice de temperatura do globo e umidade relativa (ITGU) e da entalpia (H). Os erros percentuais médios encontrados nos quatro modelos empíricos foram de 0,66%, 0,65%, 0,66% e 0,68%, respectivamente.

Por meio dos modelos empíricos desenvolvidos neste trabalho, pode-se estimar as temperaturas retais de frangos de corte criados nas condições ambientais consideradas ideais pela literatura. Utilizando estas temperaturas retais ideais associadas ao modelo (7) que leva em consideração a idade e a entalpia, foi possível prever satisfatoriamente a entalpia ideal para cada dia de vida da ave, até o 21° dia de vida.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Diagnóstico bioclimático para a produção de aves no Oeste paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: UNIOESTE/SBEA, 2001. 1 CD-ROM.
- BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n.1, p. 93-99, jan./abr. 2007a .
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA, F.M.C.; GARCIA, D.B. SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O. [2007b]. *Mudanças e uso das tabelas de entalpia*. Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 10/02/11.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLASSO-AROCHO, A.; CANTON, G.H. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering*, v.24, p.711-714, 1981.
- CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I. de F.F.; SILVA, J.N da; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.de A.de C.; CECON, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Viçosa, v.39, n.1, p.217-224, jan. 2010.
- DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R. de; GOMES, R. C. C.; MORAES, S. R. P de. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. *Ciência e Agrotecnologia*., Lavras, v.34, n.4, ago. 2010 .
- FERREIRA, L. *Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte*. 2009. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- FUNCK, S.R.; FONSECA, R.A.. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.1, p.91-97, fev. 2008.
- FURTADO, D. A.; ROCHA, H. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, J. H. V.. Índices de conforto térmico e concentração de gases em galpões avícolas no

semiárido Paraibano. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.6, p.993-1002. dez. 2010.

LOPES, A. Z. *Desenvolvimento de um neuro-controlador para galpões climatizados de frangos de corte*. 2009. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas – Modelagem e Análise de Sistemas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. *Archives of Veterinary Science*, Curitiba, v.12, n.1, p.41-46, jan./mar. 2007.

MEDEIROS, M.M.; BAETA, F.C.; OLIVEIRA, R.F.M. TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R.. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.13, n.4, p.277-286, out./dez. 2005.

MOURA, D.J.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O de, CARVALHO, T.M.R. de, MAIA, A.P.A.M.. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Revista Brasileira de Zootecnia* Viçosa, v.39, supl. especial, p. 311-316, 2010.

NAZARENO, A.C., PANDORFI, H., ALMEIDA, G.L.P., GIONGO, P.R., PEDROSA, E. M.R., GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.6, p.802-808, nov./dez. 2009.

OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S.. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.797-803, maio/jun. 2006.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: www.R-project.org. Version 2.3.1. Acesso em 05 fev, 2011.

ROCHA, H. P. da; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J.W. B. do; SILVA, José H. V.. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.12, dez. 2010.

SANTOS, P. A. dos; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R.. Avaliação dos sistemas de aquecimento a gás e a lenha para frangos de corte. *Revista Ceres*, Viçosa, v.56, n.1, p.09-17, jan./ fev. 2009.

SILVA, M. A. N. da; BARBOSA FILHO, J. A. D.; ROSÁRIO, M. F. do; SILVA, C. J. M. da; SILVA, I. J. O. da; SAVINO, V. J. M.; COELHO, A. A. D..Fatores de estresse associados à criação de linhagens de avós de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.36, n.3, p. 652-659, jun. 2007.

SILVA, M. A. N.; ROSÁRIO, M. F.; HELLMEISTER FILHO, P.; COELHO, A. A. D.; SAVINO, V. J. M.; SILVA, I. J. O.; MENTEN, J. F. M. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, a condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.32, n.1, p.208-213, jan./fev. 2003.

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

WELKER, J.S.; ROSA, A. P.; MOURA, D. J. de; MACHADO, L. P.; CATELAN, F.; UTPATEL, R.. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, vol.37, n.8, p. 1463-1467, ago. 2008.