

**MODELAGEM E ZONEAMENTO DO
AMBIENTE TÉRMICO PARA AVALIAR O
DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE
CRIADOS EM GALPÕES CLIMATIZADOS**

VALCIMAR FERREIRA DE CARVALHO

2006

VALCIMAR FERREIRA DE CARVALHO

**MODELAGEM E ZONEAMENTO DO AMBIENTE
TÉRMICO PARA AVALIAR O DESEMPENHO DE
FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM GALPÕES
CLIMATIZADOS**

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

Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

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

Carvalho, Valcimar Ferreira de

Modelagem e zoneamento do ambiente térmico para avaliar o desempenho de frangos de corte criados em galpões climatizados / Valcimar Ferreira de Carvalho. - Lavras: UFLA, 2006.

77 p.: il.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Avicultura. 2. Conforto térmico. 3. Ventilação. 4. Resfriamento evaporativo. 5. Zoneamento bioclimático. 6. Simulação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-636.513

VALCIMAR FERREIRA DE CARVALHO

**MODELAGEM E ZONEAMENTO DO AMBIENTE
TÉRMICO PARA AVALIAR O DESEMPENHO DE
FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM GALPÕES
CLIMATIZADOS**

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

APROVADA em 4 de agosto de 2006.

Prof. Dr. Sebastião Pereira Lopes	UFLA
Prof. Dr. Marcos Aurélio Lopes	UFLA
Prof. Dr. Iran José de Oliveira da Silva	ESALQ/USP
Profa. Dra. Késia Oliveira da Silva	ESALQ/USP

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
UFLA
(Orientador)

Lavras
Minas Gerais - BRASIL

Aos meus pais, Gonçalo e Ana Maria,
pelos ensinamentos constantes,

OFEREÇO

Aos meus irmãos e irmãs, cunhado e cunhadas, sobrinho e sobrinhas,
pelo apoio e incentivo, sempre acreditando e desejando o meu sucesso,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade e saúde para alcançar mais esta meta.

À família Carvalho, pelo incentivo, cooperação e carinho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por intermédio do Departamento de Engenharia, pela oportunidade e apoio na realização do mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e à FAPEMIG, pelo financiamento do projeto.

A Dra. Maria Inês da Cunha, proprietária da Granja Criativa e em especial a seus funcionários, Sr. Fernando Q. Moura e esposa, pela hospedagem e ajuda na condução do experimento.

Aos professores da UEG, André e Sandra Moraes, pela importante colaboração na realização do experimento em Itaberaí, GO.

Ao professor e orientador Tadayuki Yanagi Junior, pelos ensinamentos, amizade, dedicação e profissionalismo exemplar, demonstrando confiança e estímulo durante a realização deste trabalho, até mesmo antes do seu início.

Ao amigo Flávio A. Damasceno, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho e, acima de tudo, pelo companheirismo demonstrado continuamente, e a sua família, pela solidariedade.

Ao amigo Leandro Ferreira, pela amizade, apoio e cooperação neste trabalho.

À banca examinadora, composta pelos professores Sebastião Pereira Lopes, Marcos Aurélio Lopes, Iran José Oliveira da Silva e Késia Oliveira da Silva, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos professores da UFLA, em particular a Frederico Faúla de Souza, Nilson Salvador, Antonio A. A. Dantas, Luiz Gonsaga de Carvalho, Giovanni F. Rabelo e Roberto Alves Braga Júnior, pelos ensinamentos e sugestões.

Aos colegas de curso, pela grande amizade sempre presente.

Às funcionárias do Departamento de Engenharia, sempre prestativas e amigas.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram por mais essa importante conquista pessoal.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

VALCIMAR FERREIRA DE CARVALHO, filho de Gonçalo Ferreira de Carvalho e Ana Maria Vitoriana Carvalho, nasceu na cidade de Passa Vinte, MG, em 29 de maio de 1978. Mudou-se para Lavras em 1980, onde se formou Bacharel em Ciência da Computação, pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em janeiro de 2003.

Durante a graduação, prestou serviços ao Departamento de Ciência da Computação (DCC) da UFLA, como monitor do Laboratório de Informática/DCC e das disciplinas Matemática Computacional e Cálculo Numérico. Realizou dois estágios no ano de 2002, sendo bolsista de manutenção da rede UFLA de computadores e trabalhando como voluntário para a Empresa Júnior de Computação – COMP JR., ocupando o cargo de Diretor de Recursos Humanos.

Em março de 2005, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola na UFLA, concentrando seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiente.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	i
RESUMO GERAL	v
GENERAL ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 CONFORTO DO AMBIENTE TÉRMICO	2
3 CONTROLE DO AMBIENTE TÉRMICO	3
4 OBJETIVOS GERAIS	3
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO 2 - MODELO MATEMÁTICO PARA A PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO E DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE EM GALPÕES CLIMATIZADOS	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 Transferência de calor	9
2.2 Transferência de massa	13
2.3 Índices do ambiente térmico e de produtividade das aves	15
2.4 Respostas fisiológicas	16
2.5 Índices produtivos	17
2.6 Coleta de dados para validação do modelo	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1 Modelo matemático.....	22

3.2 Validação do modelo.....	22
3.3 Exemplo de aplicação.....	25
3.3.1 Simulação do IAPfc	26
4 CONCLUSÕES.....	28
5 AGRADECIMENTOS.....	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO E DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE EM GALPÕES CLIMATIZADOS	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT	33
1 INTRODUÇÃO.....	34
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.1 Desenvolvimento do sistema.....	35
2.2 Validação do sistema.....	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 Descrição e operação do sistema (SisTúnel).....	37
3.2 Validação do sistema.....	43
3.3 Exemplo de aplicação.....	44
3.4 Considerações finais.....	50
4 CONCLUSÕES.....	51
5 AGRADECIMENTOS.....	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

CAPÍTULO 4 - ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE USO DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE PARA A REGIÃO SUDESTE DO BRASIL	56
RESUMO	56
ABSTRACT	57
1 INTRODUÇÃO.....	58
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
2.1 Dados climatológicos	59
2.2 Simulação computacional	60
2.3 Zoneamento bioclimático	62
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1 Ambiente térmico	64
3.2 Desempenho produtivo das aves	73
4 CONCLUSÕES.....	74
5 AGRADECIMENTOS	75
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$A_{i,j}$	Área associada ao i-ésimo volume de controle (VC) e j-ésimo componente estrutural do galpão, m ² ;
$A_{\text{piso } i}$	Área do piso no i-ésimo VC, m ² ;
β_i	Fração de água nebulizada no i-ésimo VC;
CA_i	Conversão alimentar de cada ave no i-ésimo VC, g g ⁻¹ ;
CRD_i	Consumo de ração diário de cada ave no i-ésimo VC, g dia ⁻¹ ;
f	Eficiência de resfriamento do sistema, adimensional;
F_i	Fator de ganho de calor no i-ésimo VC (obtido experimentalmente), W m ⁻¹ K ⁻¹ ;
FR_i	Frequência respiratória de cada ave no i-ésimo VC, resp dia ⁻¹ ;
GPD_i	Ganho de peso diário de cada ave no i-ésimo VC, g dia ⁻¹ ;
hfg_i	Calor latente de vaporização da água no i-ésimo VC, J kg ⁻¹ ;
$IAPfc_i$	Índice térmico ambiental de produtividade para frango de corte no i-ésimo VC;
$ITU_{\text{Thom } i}$	Índice de temperatura e umidade proposto por Thom (1959) no i-ésimo VC;
$ITU_{\text{D\&B } i}$	Índice de temperatura e umidade proposto por DeShazer & Beck (1988) no i-ésimo VC;
LHP	Percentual do calor sensível liberado pela ave na forma de calor latente, %;
LT	Código de iluminação, 0 ou 1 para 100% do tempo com as luzes ligadas ou desligadas, respectivamente. Valores entre 0 e 1 caracterizam iluminação parcial podendo ser calculados pela seguinte expressão: $LT = (LOT/100) \times \text{MIN}(1, \text{MAX}(0,0,(6,02 - Ir) / 6,02))$, em que LOT é o tempo com as luzes desligadas por hora, %, e Ir é a intensidade de radiação solar do ambiente externo, W m ⁻² ;

M_c	Massa corporal das aves, kg;
$\dot{m}_{\text{água } i}$	Massa de água inserida pela nebulização no i-ésimo VC, kg s ⁻¹ ;
\dot{m}_i	Taxa na qual a umidade é removida do VC pela ventilação, kg s ⁻¹ ;
\dot{m}_{i-1}	Taxa na qual a umidade é carregada para o VC pela ventilação, kg s ⁻¹ ;
$\dot{m}_{\text{inf } i}$	Taxa na qual a umidade é carregada para o VC pela infiltração de ar, kg s ⁻¹ ;
$\dot{m}_{p \text{ ave}}$	Taxa de produção de umidade por ave, kg s ⁻¹ ave ⁻¹ ;
$\dot{m}_{p i}$	Taxa de produção de umidade no i-ésimo VC, kg s ⁻¹ ;
\dot{m}_{PAD}	Taxa na qual a umidade é conduzida para o VC pelo ar que passa pela placa porosa umedecida, kg s ⁻¹ ;
$\dot{m}_{\text{neb } i}$	Taxa na qual a umidade é conduzida para o VC devido à aplicação de água pelo sistema de nebulização, kg s ⁻¹ ;
N	Densidade de criação, aves m ⁻² ;
P_i	Perímetro do galpão no i-ésimo VC, m;
$\rho_{\text{água}}$	Densidade da água, kg m ⁻³ ;
ρ_i	Densidade do ar que sai do VC, kg m ⁻³ ;
ρ_{i-1}	Densidade do ar que entra no VC, kg m ⁻³ ;
$\rho_{\text{inf } i}$	Densidade do ar que infiltra no VC, kg m ⁻³ ;
ρ_{PAD}	Densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg m ⁻³ ;
$q_{e i}$	Taxa de conversão de calor sensível para calor latente no i-ésimo VC, W;
$q_{f i}$	Calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro da construção no i-ésimo VC, W;

$q_{h\ i}$	Calor sensível ganho dos sistemas de aquecimento no i-ésimo VC, W;
$q_{m\ i}$	Calor sensível ganho de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes, respectivamente, no i-ésimo VC, W;
$q_{neb\ i}$	Calor sensível utilizado na evaporação da água nebulizada no i-ésimo VC, W;
$q_{s\ i}$	Calor sensível liberado pelos animais alojados no i-ésimo VC, W;
$q_{s\ ave}$	Calor sensível liberado por ave no i-ésimo VC, W kg ⁻¹ ;
$q_{so\ i}$	Calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão para o i-ésimo VC, W;
$q_{vi\ i}$	Calor sensível transferido pelo ar de ventilação que entra no i-ésimo VC, W;
$q_{vo\ i}$	Calor sensível transferido pelo ar de ventilação que deixa o i-ésimo VC, W;
$q_{w\ i}$	Calor sensível transferido através da estrutura da construção no i-ésimo VC, W;
$t_{bs\ i}$	Temperatura de bulbo seco no VC atual (i), °C;
$t_{bs\ i-1}$	Temperatura de bulbo seco no VC anterior (i-1), °C;
$t_{bs\ o}$	Temperatura de bulbo seco no ambiente externo, °C;
$t_{bu\ i}$	Temperatura de bulbo úmido no VC atual (i), °C;
$t_{bu\ o}$	Temperatura de bulbo úmido no ambiente externo, °C;
$t_{p\ i}$	Temperatura da pele das aves no i-ésimo VC, °C;
t_{PAD}	Temperatura do ar após passar pela placa porosa umedecida, °C;
$t_{po\ i}$	Temperatura de ponto de orvalho no ambiente externo, °C;
$t_{r\ i}$	Temperatura retal das aves no i-ésimo VC, °C;

U_{ij}	Coefficiente global de transferência de calor, para o i-ésimo VC e j-ésimo componente da estrutura da instalação, $W m^{-2} K^{-1}$;
UR_i	Umidade relativa do ar no VC atual (i), %;
UR_{i-1}	Umidade relativa do ar no VC anterior (i-1), %;
UR_o	Umidade relativa do ar no ambiente externo, %;
$\dot{V}_{\text{água}}$	Vazão volumétrica da água aplicada pelo sistema de nebulização, $m^3 s^{-1}$;
\dot{V}_{PAD}	Vazão volumétrica do ar que atravessa a placa porosa umedecida, $m^3 s^{-1}$;
V_i	Velocidade do ar à altura de 0,30 m no i-ésimo VC, $m s^{-1}$;
\dot{V}_i	Vazão volumétrica do ar no i-ésimo VC, $m^3 s^{-1}$;
\dot{V}_{i-1}	Vazão volumétrica do ar que entra no i-ésimo VC, $m^3 s^{-1}$;
$\dot{V}_{\text{inf } i}$	Vazão volumétrica do ar que infiltra no i-ésimo VC, $m^3 s^{-1}$;
W_i	Razão de mistura do ar no i-ésimo VC, $kg kg^{-1}$;
W_{i-1}	Razão de mistura do ar que entra no i-ésimo VC, $kg kg^{-1}$;
$W_{\text{inf } i}$	Razão de mistura do ar que infiltra no i-ésimo VC, $kg kg^{-1}$;
W_{PAD}	Razão de mistura do ar que atravessa a placa porosa umedecida, $kg kg^{-1}$.

RESUMO GERAL

CARVALHO, Valcimar Ferreira de. **Modelagem e zoneamento do ambiente térmico para avaliar o desempenho de frangos de corte criados em galpões climatizados**. 2006. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiente) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver e validar um modelo matemático e computacional para a predição do ambiente térmico (temperatura e umidade relativa do ar, índice de temperatura e umidade – ITU e índice ambiental de produtividade para frangos de corte – IAPfc), das principais respostas fisiológicas (temperatura da pele – TP, temperatura retal – TR e frequência respiratória – FR) e do desempenho produtivo (consumo de ração diário – CRD, ganho de peso diário – GPD e conversão alimentar – CA) de frangos de corte ao longo de galpões climatizados, equipados com sistema de ventilação do tipo túnel com pressão negativa (SVT) e sistema de resfriamento evaporativo (SRE) do tipo material poroso umedecido e ou nebulização. O modelo computacional foi utilizado para se estudar o potencial de uso de SREs na região Sudeste do Brasil. Resultados experimentais, utilizados para a validação do modelo, mostraram que os erros padrões entre os valores simulados e medidos foram menores ou iguais a 1,27, exceto para umidade relativa (UR), CRD e FR, que foram de 5,43%, 1,77 g dia⁻¹ e 2,15 resp min⁻¹, respectivamente. Desenvolveu-se um programa computacional, denominado SisTúnel, como ferramenta de visualização detalhada dos resultados, por meio de tabela e gráficos, propiciando a simulação e o estudo de diversos cenários de produção. Os modelos matemático e computacional e dados meteorológicos de 1980 a 2001, disponibilizados por meio do Projeto Reanálise-2 do NCEP/NCAR, foram usados para o zoneamento do potencial de uso de SREs, com diferentes eficiências, acoplados a SVT para criação de frangos de corte na região Sudeste do Brasil. O ambiente térmico foi caracterizado pelo ITU e o desempenho das aves determinado pelo CRD, GPD e CA. As simulações envolveram quatro sistemas de criação (tratamentos): a) SVT (controle); b) SVT associado a SRE do tipo material poroso umedecido com 40% de eficiência (SVT_{PAD40}); c) SVT associado a SRE do tipo material poroso umedecido com 70% de eficiência (SVT_{PAD70}) e SVT_{PAD70} associado à nebulização (SVT_{PAD70+NEB}). Os resultados mostraram o efeito benéfico do uso de SREs comparados a SVT, com SVT_{PAD70+NEB} proporcionando as melhores condições de produção, principalmente nos meses de setembro e outubro, para quase toda a região Sudeste, com destaque para as mesorregiões Norte e Noroeste de Minas Gerais.

* Orientador: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFLA.

GENERAL ABSTRACT

CARVALHO, Valcimar Ferreira de. **Modeling and mapping of thermal environment to evaluate the performance of broiler chickens lodged in acclimatized housing.** 2006. 77p. Dissertation (Master degree in Agricultural Engineering – Structures and Environment) Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

The objective of this work was to develop and validate a mathematical and computational model to predict thermal environment (air temperature, relative humidity, temperature-humidity index – THI and environmental index for broiler chickens productivity – EPIbc), main physiological responses (skin temperature – TS, rectal temperature – TR and respiratory frequency – RF) and productive performance (daily feed intake – DFI, daily weight gain – DWG and feed conversion – FC) of broiler chickens lodged in acclimatized housings, equipped with negative pressure tunnel ventilation system (TVS) associated with evaporative cooling systems – ECSs (pad cooling or misting system or both of them). The computational model was used to study the ECSs potential use in Southeastern region of Brazil. Experimental results, used to validate the model, showed that standard errors between simulated and measured values were smaller than or equal to 1.27, except for relative humidity, DFI and RF that were 5.43%, 1.77 g day⁻¹ and 2.15 breathes min⁻¹, respectively. Software named SisTúnel was developed as a tool for presenting results by table and graphics, permitting the simulation and study of several productions' scenarios. Mathematical and computational models and meteorological data from 1980 to 2001 available at Project Reanalysis-2 (NCEP/NCAR) were used to map the potential of use of ECSs, with different efficiencies, coupled to TVS for broiler chicken grown at Southeastern of Brazil. Thermal environment was characterized by temperature-humidity index (THI) and chicken performance was determined by DFI, DWG and FC. Simulations involved four systems configurations (treatments): a) TVS (control), b) TVS associated with pad cooling with 40% efficiency (TVS_{PAD40}), c) TVS associated with pad cooling system with 70% efficiency (TVS_{PAD70}) and d) TVS_{PAD70} associated with a misting system (TVS_{PAD70+MIST}). Results showed that ECS use effect compared to TVS was beneficial, allowing to conclude that, especially during September and October, TVS_{PAD70+MIST} provided the best production condition for almost all Southeastern region, standing out North and Northwest areas of Minas Gerais State.

* Major Professor: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFPA.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1 INTRODUÇÃO

A avicultura de corte, no Brasil, é uma das atividades econômicas mais importantes, tanto para o mercado interno quanto para o externo. Segundo estimativas da ABEF (2006), o país, que ocupa atualmente o terceiro lugar em produção e o primeiro em exportação, deverá produzir, em 2006, um total de 9.700 toneladas de carne de frango, dos quais 3.050 toneladas deverão ser exportadas. Para a economia nacional trata-se de um resultado bastante expressivo, sendo superior ao do ano de 2005, mesmo com o temor mundial da gripe aviária, no primeiro quadrimestre deste ano.

Todo esse sucesso deve-se aos grandes investimentos que têm sido feitos para aumentar a produtividade e o bem-estar das aves, principalmente nas áreas de melhoramento genético, nutrição, manejo e sanidade. Entretanto, para que as aves possam expressar todo o seu potencial genético, torna-se indispensável, também, o desenvolvimento de outras áreas envolvidas na produção, como o ambiente de criação.

A busca pelo adequado planejamento e projeto das instalações avícolas trouxe, como conseqüência, algumas indagações, tais como: como readaptar a infra-estrutura já existente à intensificação do processo produtivo? Como projetar as novas instalações? Qual o nível de climatização a ser adotado nas diferentes regiões climáticas brasileiras? As respostas a esses questionamentos, ainda hoje, constituem um grande desafio para indústria avícola brasileira (Tinôco, 2001).

2 CONFORTO DO AMBIENTE TÉRMICO

O conceito de bem-estar animal envolve, entre outros fatores, o ambiente térmico de criação (Curtis, 1983). As aves, animais homeotérmicos, trocam calor constantemente com o ambiente, necessitando de conforto térmico para expressar todo o seu potencial genético, pois, do contrário, haverá necessidade de intensificar seus mecanismos de conservação ou de dissipação de calor, ocasionando em dispêndio de energia que resultará na redução da eficiência produtiva e maior susceptibilidade às doenças (Ferreira, 2005; Medeiros, 2001; Schmid, 1998).

De acordo com alguns pesquisadores, o conforto térmico de frangos de corte ocorre quando a temperatura do ar próximo à ave está entre 15°C e 25°C (Curtis, 1983; Zulovich & DeShazer, 1990); a umidade relativa entre 50% e 60% (Donald, 1998), não podendo atingir valores superiores a 80% (Baião, 1995); e a velocidade média do ar à altura das aves de, aproximadamente, 0,2 m s⁻¹, no inverno e 0,5 m s⁻¹, no verão (Curtis, 1983).

No projeto construtivo de instalações avícolas, diversos estudos são realizados para o telhado, a ventilação, o resfriamento evaporativo, a densidade e a velocidade do ar. Para Nääs et al. (2001), o telhado é o elemento mais significativo em uma instalação quanto ao controle da radiação solar incidente. A ventilação, segundo Baêta & Souza (1997), tem papel importante na renovação do ar no interior da instalação, pois permite redução da transferência de calor da cobertura, facilidade de trocas de calor corporal por convecção e evaporação, além de redução do excesso de umidade ambiente e de alguns gases, como NH₃, CO₂ e H₂S, advindos da cama, da respiração e dos excrementos, evitando as doenças pulmonares. O sistema de resfriamento evaporativo constitui-se, basicamente, de placas de material poroso umedecido e ou nebulizadores. A densidade de aves depende da adoção de equipamentos de condicionamento térmico existente na instalação e ou da época do ano e a ação

da velocidade do ar sobre as aves, promovida pela ventilação natural ou artificial, pode atuar positivamente na promoção do conforto térmico, como indicam os trabalhos de Medeiros (2001) e Yanagi Junior (2002).

3 CONTROLE DO AMBIENTE TÉRMICO

A criação de frangos de corte em galpões climatizados constitui uma das principais formas de otimização da produção. O controle automatizado do ambiente de instalações, atualmente bastante utilizado, pode variar em complexidade, desde um sistema simples, que liga e desliga ventiladores, dependendo da temperatura, até sistemas complexos, que medem temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, concentração de amônia, etc. e utilizam esquemas de ventilação em modo túnel, abertura automática das cortinas, resfriamento evaporativo, aquecedores e outros mecanismos de controle ambiental (Silva, 2001).

4 OBJETIVOS GERAIS

No presente trabalho, objetivou-se desenvolver e validar um modelo matemático (capítulo 2) e computacional (capítulo 3), para a predição do ambiente térmico, das principais respostas fisiológicas e do desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões climatizados. Por meio dos modelos desenvolvidos, fez-se o zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo com diferentes eficiências, acoplados a sistema de ventilação em modo túnel para a criação de frangos de corte na região Sudeste do Brasil (capítulo 4).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS (ABEF). Disponível em: <<http://www.abef.com.br>>. Acesso em: 19 jul. 2006.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto térmico animal**. Viçosa: editora UFV, 1997. 246 p.

BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas, 1995. p. 67-75.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

DONALD, J. Environmental control options under different climate conditions. **World Poultry**, Amsterdam, v. 14, n. 11, p. 22-27, 1998.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

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

NÃÄS, I. A.; SEVEGNANI, K. B.; MARCHETO, F. G.; ESPELHO, J. C.; MENEGASSI, V.; SILVA, I. J. O. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 121-126, maio 2001.

SCHMID, A. L. Refletindo sobre o calor. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, v. 88, n. 1057, p. 18-23, ago. 1998.

SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Jaboticabal, SP: Editora Jaboticabal: SBEA, 2001. v. 1, 200 p.

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. 01-26, jan. /abr. 2001.

YANAGI JUNIOR, T. **Partial surface wetting to relieve acute thermal stress of laying hens**. 2002. 93 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ZULOVICH, J. M.; DESHAZER, J. A. **Estimative egg production declines at high environmental temperatures and humidities**. St. Joseph: ASAE, 1990. (ASAE Paper No. 904021).

CAPÍTULO 2

MODELO MATEMÁTICO PARA A PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO E DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE EM GALPÕES CLIMATIZADOS

(Preparado de acordo com as normas da revista ASABE)

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho desenvolver e validar um modelo matemático para a predição do ambiente térmico, principais respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte ao longo do interior de galpões climatizados, equipados com ventilação do tipo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e/ou nebulização. Resultados experimentais, usados para a validação do modelo, mostraram que os erros padrões entre os valores simulados e medidos foram menores ou iguais a 1,27, exceto para umidade relativa, consumo de ração diário e frequência respiratória, que foram de 5,43%, 1,77 g dia⁻¹ e 2,15 resp min⁻¹, respectivamente. Dessa forma, pode-se concluir que o modelo matemático proposto simula satisfatoriamente todas as variáveis respostas modeladas, permitindo a simulação de diversos cenários de produção.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de resfriamento, ventilação túnel, conforto térmico

**MATHEMATICAL MODEL FOR THERMAL ENVIRONMENT AND
PERFORMANCE PREDICTION OF BROILER CHICKENS IN
ACCLIMATIZED HOUSINGS**

ABSTRACT

This work aimed at to develop and validate a mathematical model to predict thermal environment, main physiological responses and productive performance of broiler chickens throughout acclimatized housings equipped with negative pressure tunnel ventilation system associated with evaporative pad cooling or misting system or both of them. Experimental results, used to validate the model, showed that standard errors between simulated and measured values were smaller than or equal to 1.27, except for relative humidity, daily feed intake and respiration rate that were 5.43%, 1.77 g day⁻¹ and 2.15 breathes min⁻¹, respectively. Therefore, it was concluded that the proposed mathematical model simulated satisfactorily all response variables modeled, allowing to simulate several production scenarios.

KEYWORDS: cooling system, wind tunnel ventilation, thermal comfort

1 INTRODUÇÃO

A simulação do ambiente térmico, das principais respostas fisiológicas e produtivas de frangos de corte no interior de galpões pode fornecer ao projetista e ao produtor, informações importantes que auxiliam na tomada de decisão.

O desenvolvimento de modelos matemáticos e a aplicação de simulações computacionais permitem reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento e adaptação de projetos. Nesse contexto, diversos modelos têm sido propostos para solucionar problemas de campo e para facilitar o entendimento de diversos processos físicos, como por exemplo, modelos para prever a transferência de calor entre o animal e o ambiente que o circula (Aerts et al., 2003; Gebremedhin & Wu, 2000; Mahoney & King, 1977; McArthur, 1991; Mitchell, 1976; Wathen et al., 1971; Yanagi Junior et al., 2001), modelos para prever a transferência de calor e ou massa em instalações agrícolas (Medeiros, 1997), modelos para otimizar alguns sistemas de resfriamento evaporativo (Gates et al., 1991; Gates et al., 1992; Singletary et al., 1996; Simmons & Lott, 1996) e modelos para ajuste das respostas fisiológicas de aves (Medeiros, 2001), dentre outros.

Para o estudo detalhado de possíveis problemas e soluções relativos a galpões climatizados, dever-se-á conhecer o comportamento do ambiente térmico ao longo do galpão, bem como a sua influência sobre as respostas fisiológicas e o desempenho produtivo dos frangos de corte. Portanto, verifica-se a necessidade de se ter um modelo matemático capaz de prever a temperatura do ar, a umidade relativa, os índices do ambiente térmico, as temperaturas da pele e retal, a frequência respiratória, o consumo de ração, o ganho de peso e a conversão alimentar das aves ao longo do galpão. Isso possibilita a realização de diversas simulações para se avaliar diferentes materiais de construção que compõem a estrutura do galpão, as densidades de alojamento, as taxas de ventilação e de infiltração de ar pelas cortinas, as condições térmicas do

ambiente externo, a eficiência de resfriamento evaporativo de placas porosas e o desempenho de sistemas de nebulização, dentre outras.

Assim, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver e validar um modelo matemático em regime permanente para a predição das condições térmicas do ambiente interno e das principais respostas fisiológicas e índices de desempenho de frangos de corte ao longo de galpões climatizados equipados com ventilação do tipo túnel de vento, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo matemático visando à predição do ambiente térmico, das principais respostas fisiológicas e do desempenho produtivo de frangos de corte ao longo de galpões climatizados com ventilação em modo túnel, com pressão-negativa, associado a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização foi desenvolvido. As seguintes hipóteses foram assumidas: (a) regime permanente, (b) materiais de construção supostamente homogêneos, com propriedades constantes, (c) geração de calor no interior do galpão pelas aves de mesmo peso é constante, (d) produção de umidade das aves de mesmo peso é constante, (e) fluxo de calor uniforme e unidimensional, (f) vazão de ar fornecida pelos exaustores é constante, (g) eficiência de convecção uniforme nas superfícies externa e interna do galpão, (e) vazão de água nebulizada em cada volume de controle especificado homogênea e constante e (f) condições térmicas no interior de cada volume de controle são constantes.

2.1 Transferência de calor

Para a predição da temperatura do ar (t_{bs}) ao longo do comprimento do galpão, deve-se dividi-lo em volumes de controle (VCs). Dessa forma, em um

galpão com ventilação do tipo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido, o ar do ambiente externo entra por uma de suas extremidades, atravessando o material poroso umedecido e, em seguida, percorre os diversos VCs até sair pela outra extremidade, onde se encontram os exaustores. Ao atravessar o material poroso umedecido, o ar externo é resfriado, de forma evaporativa, a um determinado valor de temperatura (t_{PAD}). Em seguida, ao atravessar os diversos VCs, a t_{bs} é novamente alterada, devido aos ganhos e perdas de calor. Em galpões comerciais para criação de frangos de corte utilizados no Brasil ocorrem infiltrações de ar do ambiente externo, principalmente através das cortinas instaladas nas suas laterais, por não haver vedação perfeita. Assim, para se estimar a t_{bs} em cada VC, estas infiltrações devem ser consideradas. Caso exista também um sistema de nebulização instalado no galpão, como forma suplementar de resfriamento do ambiente, deve-se considerar a efetividade desse sistema na promoção do resfriamento do ar ao longo do galpão.

Em condições de regime permanente, o balanço de energia em um galpão climatizado caracteriza-se pelo não acúmulo de energia no VC. Os calores sensíveis que entram (+) e que saem (-) de cada VC (i) podem ser expressos pela equação 1, adaptada de Albright (1990):

$$q_{m_i} + q_{so_i} + q_{h_i} + q_{s_i} + q_{w_i} + q_{f_i} + q_{vi_i} - q_{e_i} - q_{vo_i} - q_{neb_i} = 0 \quad (1)$$

O calor sensível dissipado pelas aves em cada VC (q_{si}) pode ser estimado pela equação 2, sendo o calor sensível líquido dissipado por cada ave ($q_{s_{ave}}$) estimado pela equação 3 (Xin et al., 2001), que é uma combinação dos termos q_{e_i} e q_{s_i} . De acordo com Xin et al. (2001), a equação 3 foi desenvolvida para aves criadas sob cama, em galpões comerciais (20 no total), em condições de t_{bs}

e umidade relativa (UR) que variaram de 20°C a 32°C e de 30% a 80%, respectivamente.

$$q_{s\ i} = q_{s\ ave} \cdot N \cdot A_{\text{piso } i} \cdot M_c \quad (2)$$

$$\ln(q_{s\ ave}) = -1,727 - 0,466 \cdot \ln(M_c) - 0,197 \cdot LT + 0,407 \cdot t_{bs\ i-1} - 0,0098 \cdot t_{bs\ i-1}^2 \quad (3)$$

O calor sensível transferido através da estrutura da instalação no i-ésimo VC ($q_{w\ i}$) e j-ésimo material pode ser obtido pela equação 4 (Albright, 1990).

$$q_{w\ i} = \sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} \cdot (t_{bs\ o} - t_{bs\ i}) \quad (4)$$

Segundo Albright (1990), o calor transferido pelo piso da instalação (q_{fi}) ocorre, principalmente, na região de seu perímetro, sendo proporcional ao perímetro da instalação e a diferença entre as t_{bs} do ambiente externo e interno (equação 5). Em galpões para criação de frangos de corte em que são utilizadas camas isolantes, q_{fi} pode ser considerado desprezível (Albright, 1990; Medeiros, 1997; Silva et al., 2005).

$$q_{f\ i} = F_i \cdot P_i \cdot (t_{bs\ o} - t_{bs\ i}) \quad (5)$$

Os termos $q_{vo\ i}$ e $q_{vi\ i}$, presentes na equação 1, podem ser considerados em conjunto, conforme mostrado na equação 6, adaptada de Albright (1990).

$$q_{vo\ i} - q_{vi\ i} = 1006 \cdot \rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot (t_{bs\ i} - t_{bs\ i-1}) + 1006 \cdot \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} \cdot (t_{bs\ i} - t_{bs\ o}) + 1006 \cdot \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot (t_{bs\ i} - t_{PAD}) \quad (6)$$

A t_{bs} , após atravessar o material poroso umedecido, é denominada de t_{PAD} , podendo ser estimada a partir da equação 7 de eficiência do resfriamento (ASHRAE, 1992).

$$t_{PAD} = t_{bs\ o} - f \cdot (t_{bs\ o} - t_{bu\ o}) \quad (7)$$

O calor sensível usado para a evaporação da água nebulizada ($q_{neb\ i}$) é obtido pela equação 8, sendo β_i a fração de água nebulizada e hfg_i o calor latente de vaporização da água no i -ésimo volume de controle, em $J\ kg^{-1}$, calculados, respectivamente, pelas equações 9 (Singletary et al., 1996) e 10 (Albright, 1990).

$$q_{neb\ i} = \beta_i \cdot \rho_{\acute{a}gua} \cdot \dot{V}_{\acute{a}gua} \cdot hfg_i \quad (8)$$

$$\beta_i = -2,914 (\pm 1,548) + 0,094 (\pm 0,036) \cdot t_{bs\ i-1} + 0,0106 (\pm 0,0077) \cdot UR_{i-1} \quad (9)$$

$$hfg_i = 1000 \cdot (2501 - 2,42 \cdot t_{bs\ i}) \quad (10)$$

Substituindo-se as equações 2 a 6 e 8 na equação 1, pode-se calcular $t_{bs\ i}$ no VC (i), conforme mostrado na equação 11.

$$t_{bs\ i} = \frac{q_{m\ i} + q_{so\ i} + q_{h\ i} + q_{s\ i} + A + B - (\beta_i \cdot \rho_{\acute{a}gua} \cdot \dot{V}_{\acute{a}gua} \cdot hfg_i)}{C} \quad (11)$$

sendo que,

$$A = \left(\sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_i \cdot P_i - 1006 \cdot \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} \right) \cdot t_{bs\ o} \quad (12)$$

$$B = 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot t_{bs\ i-1} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot t_{PAD}) \quad (13)$$

$$C = \sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot A_{ij} + F_i \cdot P_i + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} - \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD}) \quad (14)$$

2.2 Transferência de massa

De forma análoga ao balanço de calor, pode-se fazer o balanço de massa (ar + água) no galpão avícola, dividindo-o em VCs. Inicialmente, o ar do ambiente externo é resfriado, de forma evaporativa, ao atravessar o material poroso umedecido e entra no galpão com certa umidade inicial. A partir desse instante, a umidade inicial do ar é alterada, devido à umidade produzida pelos animais, pela infiltração de ar ocorrida em cada VC e, caso exista, a evaporação da água pelo sistema de nebulização, sendo expressa pela equação 15 da continuidade, adaptada de Albright (1990).

$$\dot{m}_{i-1} + \dot{m}_{inf\ i} + \dot{m}_{PAD} + \dot{m}_{neb\ i} + \dot{m}_{p\ i} - \dot{m}_i = 0 \quad (15)$$

As vazões mássicas do ar que passa pelo material poroso umedecido (\dot{m}_{PAD}), que infiltra ($\dot{m}_{inf\ i}$), que advém do VC anterior (\dot{m}_{i-1}) e que sai do VC atual (\dot{m}_i), podem ser calculadas pelas equações 16, 17, 18 e 19, respectivamente.

$$\dot{m}_{PAD} = \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot W_{PAD} \quad (16)$$

$$\dot{m}_{inf\ i} = \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} \cdot W_{inf\ i} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{i-1} = \rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot W_{i-1} \quad (18)$$

$$\dot{m}_i = \rho_i \cdot \dot{V}_i \cdot W_i \quad (19)$$

A massa de água aplicada pela nebulização ($\dot{m}_{\text{neb } i}$) em cada VC pode ser estimada pela equação 20 e a massa produzida pelas aves ($\dot{m}_{\text{p } i}$) em cada VC, pela equação 21. A produção de massa por cada ave ($\dot{m}_{\text{p ave}}$) é estimada pela equação 22 (Xin et al., 2001), sendo LHP o percentual do calor sensível dissipado por ave como forma de calor latente, equação (23).

$$\dot{m}_{\text{neb } i} = \beta_i \cdot \dot{m}_{\text{água } i} \quad (20)$$

$$\dot{m}_{\text{p } i} = \dot{m}_{\text{p ave}} \cdot N \cdot A_{\text{piso } i} \quad (21)$$

$$\dot{m}_{\text{p ave}} = \text{LHP} \cdot \frac{q_{\text{s ave}}}{1000.2450} \quad (22)$$

$$\text{LHP} = 149,7 - 10,36 \cdot t_{\text{bs } i} + 0,3002 \cdot t_{\text{bs } i-1}^2 - 0,3409 \cdot \text{UR}_{i-1} \quad (23)$$

Substituindo-se as equações 16 a 20 na equação 15 e assumindo que as densidades do ar que entra e que sai do VC são constantes e calculadas a partir de $t_{\text{bs } i-1}$, pode-se obter a razão de mistura (W_i) para o ar que deixa o VC por meio da equação 24.

$$W_i = \frac{\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot W_{i-1} + \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} \cdot W_{inf\ i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot W_{PAD} + \beta_i \cdot \dot{m}_{\text{água}\ i} + \dot{m}_{p\ i}}{\rho_{i-1} \cdot (\dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{inf\ i} + \dot{V}_{PAD})} \quad (24)$$

Para o cálculo das demais variáveis psicrométricas são seguidas as metodologias propostas por Albright (1990) para o cálculo da pressão parcial de saturação do vapor d'água (P_{ws}), pressão de vapor d'água (P_w), razão de mistura para saturação (W_s), razão de mistura do ar no ambiente externo (W_o), grau de saturação (GS), volume específico (VolEsp), densidade (ρ) e umidade relativa (UR) e, de Wilhelm (1976) para o cálculo da temperatura de ponto de orvalho (t_{po}). A temperatura de bulbo úmido (t_{bu}) é obtida utilizando-se o método numérico da bissecção para o cálculo de raízes (Chandra & Singh, 1995).

2.3 Índices do ambiente térmico e de produtividade das aves

O ambiente térmico é avaliado, em cada VC, pelos índices de temperatura e umidade (ITU) propostos por Thom (1959) ou DeShazer & Beck (1988), equações 25 e 26, respectivamente.

$$ITU_{Thom\ i} = t_{bs\ i} + 0,36 \cdot t_{po\ i} + 41,5 \quad (25)$$

$$ITU_{D\&B\ i} = 0,6 \cdot t_{bs\ i} + 0,4 \cdot t_{bu\ i} \quad (26)$$

Valores de ITU_{Thom} menores que 74 configuram conforto térmico para o animal; entre 74 e 79, representam situações de alerta para os produtores e perigo para a produção; entre 79 e 84, indicam situações de perigo com possibilidades de ocorrências de perdas na produção e, acima de 84, configuram situações de emergência, sendo necessárias providências urgentes para se evitar a perda do plantel (NSCR, 1976).

Originalmente desenvolvido para galinhas poedeiras, o $ITU_{D\&B}$ também tem sido usado para quantificar a produção de frangos de corte em resposta ao

ambiente térmico (Gates et al., 1995). Valores superiores a 25 caracterizam desconforto térmico (Gates et al., 1995; Silva et al., 2005).

Para a avaliação da produtividade, utilizou-se o Índice Térmico Ambiental de Produtividade para frango de corte (IAPfc), equação 27, proposto por Medeiros et al. (2005), no qual valores de 21 a 24 (confortável) estão associados à máxima produtividade, entre 25 e 27 (moderadamente confortável) perda de peso da ave em torno de 1% a 5%, entre 28 e 30 (desconfortável) perda de 5,1% a 15%, entre 31 e 34 (extremamente desconfortável) perda de 15,1% a 30% e, para valores acima de 35 (perigoso), perda de 30,1% a 87%.

$$\begin{aligned} \text{IAPfc}_i = & 45,6026 - 2,31072 \cdot t_{bs_i} - 0,368331 \cdot \text{UR}_i + 9,70922 \cdot V_i + \\ & + 0,0549243 \cdot t_{bs_i}^2 + 0,00121828 \cdot \text{UR}_i^2 + 0,66329 \cdot V_i^2 + \\ & + 0,0128968 \cdot t_{bs_i} \cdot \text{UR}_i - 0,300928 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,05952 \cdot \text{UR}_i \cdot V_i \end{aligned} \quad (27)$$

2.4 Respostas fisiológicas

A predição das principais respostas fisiológicas das aves em cada VC foram estimadas com base nas equações propostas por Medeiros (2001). Em experimento realizado com frangos de corte da linhagem Avian Farm, criados de 1 a 21 dias de idade em galpão convencional e de 22 a 42 dias em câmaras climáticas, sob diferentes condições do ambiente térmico, com variações da t_{bs} de 16°C a 36°C, UR de 20% a 90% e velocidade média do ar de 0,0 a 3,0 m s⁻¹, este autor ajustou estatisticamente a equação 28 para o cálculo da temperatura da pele das aves (t_{p_i} , °C), a equação 29, para temperatura retal (t_{r_i} , °C) e a equação 30, para frequência respiratória (FR_{i_s} , resp min⁻¹), com coeficientes de determinação (r^2) de 0,87, 0,96 e 0,92, respectivamente.

$$\begin{aligned}
t_{p_i} = & 37,202431 - 0,021798 \cdot t_{bs_i} - 0,02013 \cdot UR_i + 0,240519 \cdot V_i + \\
& + 0,003517 \cdot t_{bs_i}^2 - 0,00016 \cdot UR_i^2 - 0,021473 \cdot V_i^2 + \\
& + 0,001687 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i - 0,011574 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,00066 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
t_{r_i} = & 46,102818 - 0,425395 \cdot t_{bs_i} - 0,031012 \cdot UR_i + 0,118907 \cdot V_i + \\
& + 0,009092 \cdot t_{bs_i}^2 + 0,00013 \cdot UR_i^2 + 0,0263 \cdot V_i^2 + \\
& + 0,000893 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i - 0,006944 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,000661 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned}
FR_i = & 311,30004 - 20,110938 \cdot t_{bs_i} - 2,012626 \cdot UR_i - 2,006346 \cdot V_i + \\
& + 0,4059 \cdot t_{bs_i}^2 + 0,006604 \cdot UR_i^2 + 3,151145 \cdot V_i^2 + \\
& + 0,05555 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i - 0,37037 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i + 0,03968 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (30)$$

2.5 Índices produtivos

Os índices produtivos das aves em cada VC também foram estimados com base nas equações propostas por Medeiros (2001), sendo a equação 31 para o consumo de ração diário médio (CRD_i, g dia⁻¹), equação 32 para o ganho de peso diário médio (GPD_i, g dia⁻¹) e equação 33 para a conversão alimentar média (CA_i, g g⁻¹), com r² de 0,91, 0,89 e 0,72, respectivamente.

$$\begin{aligned}
CRD_i = & 28,963697 + 11,306258 \cdot t_{bs_i} + 0,03095 \cdot UR_i - 6,89328 \cdot V_i - \\
& - 0,25476 \cdot t_{bs_i}^2 + 0,002513 \cdot UR_i^2 + 1,3084 \cdot V_i^2 - \\
& - 0,01389 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i + 0,24676 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,02579 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned}
GPD_i = & -92,717789 + 14,292936 \cdot t_{bs_i} + 0,253649 \cdot UR_i - 9,515579 \cdot V_i - \\
& - 0,290314 \cdot t_{bs_i}^2 + 0,001538 \cdot UR_i^2 + 0,974936 \cdot V_i^2 - \\
& - 0,016171 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i + 0,294444 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,007407 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
CA_i = & 6,364195 - 0,379572 \cdot t_{bs_i} - 0,00151 \cdot UR_i + 0,268889 \cdot V_i + \\
& + 0,00748 \cdot t_{bs_i}^2 - 0,00004651 \cdot UR_i^2 - 0,049766 \cdot V_i^2 + \\
& + 0,00025 \cdot t_{bs_i} \cdot UR_i - 0,00370 \cdot t_{bs_i} \cdot V_i - 0,00026 \cdot UR_i \cdot V_i
\end{aligned} \quad (33)$$

2.6 Coleta de dados para validação do modelo

Para a validação do modelo foram coletados dados em um galpão comercial para a criação de frangos de corte, localizado no município de Itaberaí-GO (16°01' S de latitude, 49°48' W de longitude e 661 m de altitude), entre os dias 28 e 30 de maio de 2005, das 10 às 18 horas. O galpão, equipado com ventilação em modo túnel (pressão negativa) e sistema de resfriamento evaporativo dos tipos material poroso umedecido e nebulização, possui dimensões de 12 x 125 x 2,5 m, cobertura de telhas de cimento amianto, alvenarias do tipo tijolo furado com dimensões de 0,12 x 0,20 x 0,20 m, dez exaustores (64,55 m³ h⁻¹) localizados em uma das extremidades (Figura 1), succionando o ar externo através de um portão, de quatro janelas e de duas placas com material poroso umedecido, com vazões iguais a 13,43 m³ s⁻¹, 17,64 m³ s⁻¹ e 11,97 m³ s⁻¹, respectivamente e infiltrações de ar ao longo das cortinas (15,76 m³ s⁻¹) e de uma porta lateral (4,26 m³ s⁻¹), localizada a 66 m da mesma extremidade. As infiltrações de ar ao longo das cortinas foram determinadas pela diferença das vazões entre as seções, calculadas em função do produto da velocidade do ar, medida em 9 pontos de cada seção, por sua respectiva área. Dois sistemas de resfriamento evaporativo atuavam concomitantemente: um do tipo material poroso umedecido, com dois painéis de dimensões 10,70 x 1,80 m e o outro do tipo nebulização, composto por sete linhas transversais situadas à distância de 15, 25, 35, 45, 60, 80 e 110 m em relação à extremidade oposta aos exaustores, sendo cada linha um conjunto de dez emissores de água com vazões de 6 L h⁻¹ emissor⁻¹. Os frangos de corte da linhagem Cobb, com idade 37±1 dia

e peso médio de $2,40 \pm 0,13$ kg, estavam alojados na densidade de 14 aves m^{-2} , totalizando 21.000 aves.

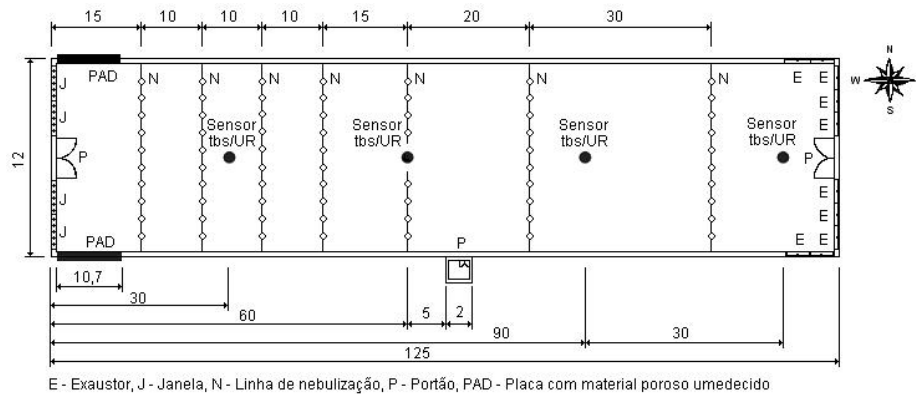


FIGURA 1 Esquema do galpão em vista superior mostrando a distribuição dos equipamentos e pontos de coletas de dados. Unidade: m.

Para a coleta de dados, dividiu-se o galpão em quatro seções (localizadas a 30, 60, 90 e 120 m da extremidade oposta aos exaustores), nas quais foram feitas as medições (Figura 1). As medidas de velocidade do ar (V) no interior do galpão, à altura de 0,30 m, 1,00 m e 1,70 m do piso, no centro e nas extremidades (afastadas a 0,30 m das cortinas) de cada seção, foram obtidas por meio de um anemômetro digital de hélice ($\pm 3\%$), com cinco repetições. O mesmo anemômetro foi utilizado para a medição da pressão atmosférica local ($\pm 0,3$ kPa). Para a obtenção da t_{bs} e UR no ambiente externo e no centro de cada seção à altura de 0,30 m do piso, utilizaram-se cinco sensores/registradores portáteis ($\pm 3\%$), pré-programados para coletar dados em intervalos de um minuto. Os dados de t_{bs} e UR foram filtrados, sendo considerados apenas 30 testes que se referiam aos instantes em que os sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo operavam de maneira ininterrupta, por, pelo menos, cinco minutos.

As Tabelas 1 e 2 mostram os componentes da estrutura do galpão e os parâmetros envolvidos nas trocas de calor usados como dados de entrada do modelo. Cada região especificada representa trechos do galpão com características construtivas semelhantes e condições supostamente homogêneas.

TABELA 1 Componentes da estrutura do galpão com suas respectivas áreas e coeficientes globais de transferência de calor (U).

Região	Área (m ²)							U (W m ⁻² ° C ⁻¹)
	1 ¹	2 ¹	3	4	5	6	7	
VC	1-1	2-11	12-64	65-65	66-66	67-120	121-125	
Alvenaria	14,96	0	0	2,5	1,42	0	28,90	3,356
Cobertura	12	120	636	12	12	648	60	0,233
Cortinas	0	1,23	217,30	2,05	2,05	221,40	0	3,472
Muretas	1,40	14,00	47,70	0,45	0,45	48,60	0	3,356
Portões e pilares (metal)	4,80	0,41	4,51	0	0	4,92	8,41	2,329

¹ Regiões com placa de resfriamento evaporativo. VC: volume de controle.

TABELA 2 Dados de entrada das variáveis associados à transferência de calor e vazões de ar e água que entram no sistema.

Região	1 ¹	2 ¹	3	4	5	6	7
VC	1-1	2-11	12-64	65-65	66-66	67-120	121-125
Variáveis							
q _m , q _{so} , q _h e q _f (W)	0	0	0	0	0	0	0
Ḃ _{inf_i} no VC (m ³ s ⁻¹)	31,07	0	0,19	0,19	4,26	0,10	0
Ḃ _{PAD} no VC (m ³ s ⁻¹)	1,09	1,09	0	0	0	0	0
Ḃ _{água} no VC (l h ⁻¹)	0	0	5,35	5,35	5,35	2,03	2,03

¹ Regiões com placa de resfriamento evaporativo.

q_m : calor sensível ganho de fontes mecânicas; q_{so} : calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão; q_h : calor sensível ganho dos sistemas de aquecimentos; q_f : calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro do galpão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelo matemático

As equações 11 e 24, para o cálculo da t_{bs} e razão de mistura (W), respectivamente, e equações 25 a 33, para o cálculo do ITU_{Thom} , $ITU_{D\&B}$, IAPfc, TP, TR, FR, CRD, GPD e CA, respectivamente, compõem o modelo matemático para a predição das variáveis do ambiente, principais respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões climatizados, equipados com ventilação do tipo túnel, com pressão negativa e sistemas resfriamento evaporativo dos tipos material poroso umedecido e nebulização.

3.2 Validação do modelo

As simulações realizadas para a validação do modelo mostraram que os erros padrões médios entre os valores simulados e medidos para t_{bs} e UR foram de $0,73^{\circ}\text{C}$ e $5,43\%$, respectivamente. Para as demais variáveis, compararam-se os valores calculados pelas equações 25 a 33, utilizando-se dados de t_{bs} e UR medidos e simulados pelo próprio sistema. Assim, os erros padrões médios encontrados para ITU_{Thom} , $ITU_{D\&B}$, IAPfc, CRD, GPD, CA, TR, TP e FR foram, respectivamente, iguais a $0,65$, $0,28$, $0,57$, $1,77 \text{ g dia}^{-1}$, $1,27 \text{ g dia}^{-1}$, $0,03 \text{ g g}^{-1}$, $0,04^{\circ}\text{C}$, $0,17^{\circ}\text{C}$ e $2,15 \text{ resp min}^{-1}$. Na Figura 2 são mostrados os valores dos erros padrões médios para as variáveis estudadas em cada seção de coleta de dados.

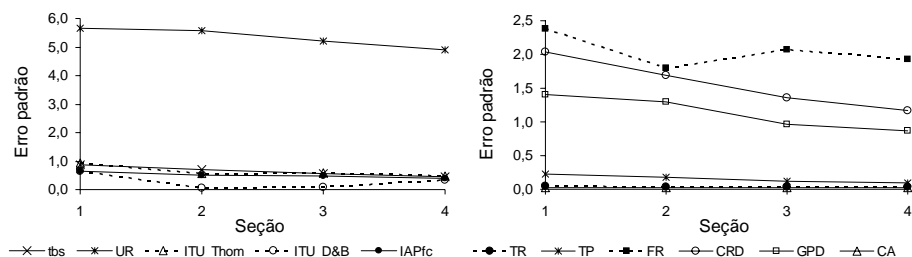


FIGURA 2 Erros padrões médios nas quatro seções de medições ao longo do galpão (30, 60, 90 e 120 m), para as variáveis estudadas.

A Figura 3 mostra o comportamento das variáveis estudadas ao longo do galpão em um teste usado como exemplo ($t_{bs\ o} = 24,4^{\circ}\text{C}$ e $UR\ o = 74\%$), nos quais foram comparados os dados observados nas quatro seções com os dados simulados ao longo do galpão. No geral, verificou-se um bom ajuste do modelo, com r^2 de 0,998, 0,890, 0,996, 0,978, 0,883, 0,998, 0,982, 0,972, 0,684 para t_{bs} , UR, ITU_{Thom} , TP, TR, FR, CRD, GPD e CA, respectivamente. O ITU_{Thom} (Figura 3c) assumiu valores menores que 74 até 43 m da entrada do galpão, caracterizando condição de conforto térmico às aves. Para o restante do galpão, o ITU_{Thom} ficou entre 74 e 79, indicando situações de alerta para os produtores e perigo para a produção, conforme determina a NSCR (1976).

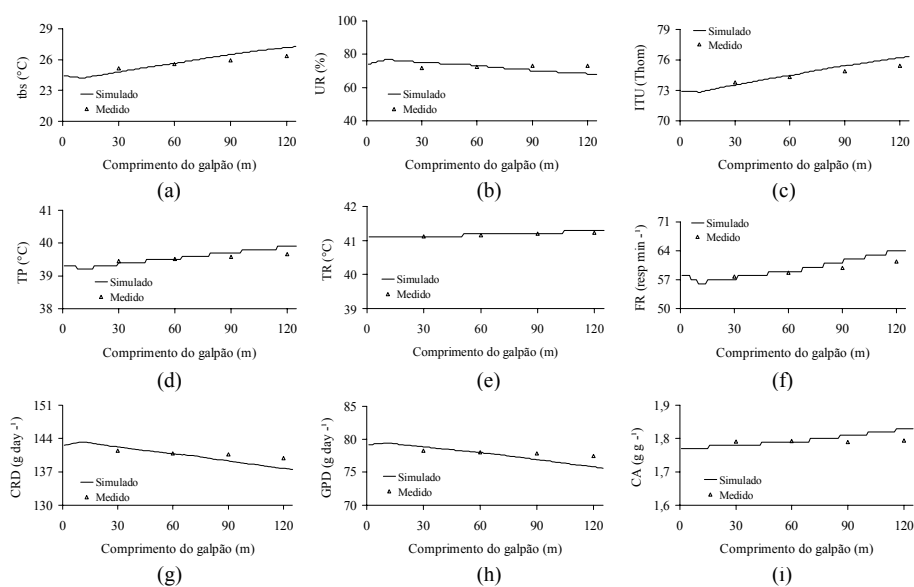


FIGURA 3 Comportamentos da temperatura do ar (t_{bs}), umidade relativa (UR) e índice de temperatura e umidade (ITU_{Thom}), temperatura da pele (TP), temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), consumo de ração diário (CRD), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA), simulados ao longo do galpão e observados em quatro seções.

Pelo comportamento do ITU_{Thom} (Figura 3c), verifica-se que o ambiente térmico sofreu variações ao longo do galpão. Nos primeiros metros, na região que compreende a placa porosa umedecida, as aves estavam em conforto térmico e, à medida que o ar se desloca em direção à saída do galpão, o ambiente torna-se cada mais desconfortável. Sendo assim, calculou-se a diferença média entre os valores das variáveis simuladas para o início do galpão com os valores médios das variáveis simuladas para o final do galpão (Figura 4). As áreas comparadas corresponderam a 1/5, 1/4, 1/3 e 1/2 da área total do galpão.

Os resultados (Figura 4) mostram que a primeira metade do galpão constitui melhor região de criação de frangos de corte, comparada à outra metade. As diferenças entre os valores médios da t_{bs} , UR e ITU_{Thom} , para os 25 m iniciais do galpão (1/5 da área total), com os valores médios dessas mesmas variáveis para os 25 m finais do galpão, chegam a 2,7°C, 7,0% e 3,0, respectivamente (Figura 4a), demonstrando a necessidade de readaptação do *layout* do galpão em favor da homogeneidade do ambiente térmico, ao longo do seu comprimento. Para as respostas fisiológicas (Figura 4b), a variação é pouco expressiva, pois o aumento da FR até 6 resp min^{-1} é, de certa forma aceitável, se comparado à variação observada em aves sob estresse agudo que, segundo Ferreira (2005), pode chegar a 250 resp min^{-1} . Para a TR, a variação máxima de 0,2°C é praticamente desprezível se comparada ao intervalo de TR apresentado por aves em conforto térmico que, segundo Mount (1979), é de 41,2°C a 42,2°C. Para o desempenho produtivo (Figura 4c), as maiores diferenças de CRD, GPD e CA são de 4,8 g dia^{-1} , 3,2 g dia^{-1} e 0,05 g g^{-1} , respectivamente.

De acordo com estes resultados, os frangos de corte de peso médio de 2,4 kg, alojados na densidade de 14 aves m^{-2} , no primeiro 1/5 de um galpão comercial de dimensões 12x125m, apresentarão CRD médio de, aproximadamente, 20 kg dia^{-1} a menos que os frangos alojados no 1/5 final do mesmo galpão. Da mesma forma, a diferença entre o somatório do GPD das

aves do início do galpão com o somatório do GPD das aves no fim do galpão poderá ser de até $13,4 \text{ kg dia}^{-1}$, o que corresponde à soma do peso de cinco a seis aves.

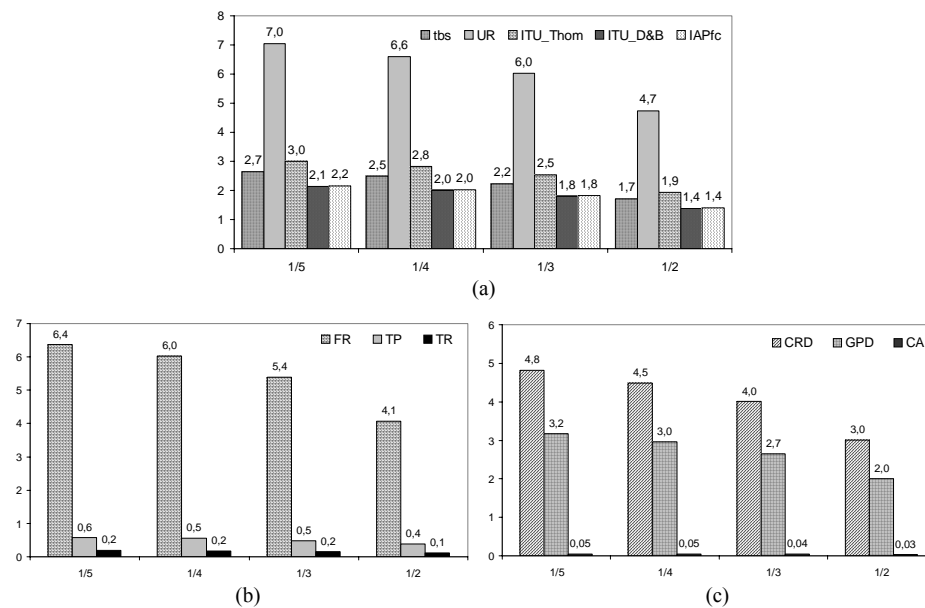


FIGURA 4 Variações médias da temperatura do ar (t_{bs}), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU_{Thom}), temperatura da pele (TP), temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), consumo de ração diário (CRD), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA) de frangos de corte, ao comparar duas regiões (início e fim) do galpão, correspondentes a 1/5, 1/4, 1/3 e 1/2 da área total do galpão.

3.3 Exemplo de aplicação

O modelo matemático permite que se façam diversos estudos envolvendo simulações de diferentes materiais de construção, densidades de alojamento, taxas de ventilação e de infiltração de ar pelas cortinas, condições térmicas do ambiente externo, eficiências de resfriamento evaporativo de placas porosas, dentre outras, auxiliando no processo de tomada de decisão. A seguir, é

apresentado um exemplo de aplicação do modelo, objetivando o estudo da produtividade.

3.3.1 Simulação do IAPfc

Para esse exemplo, consideraram-se como padrão as seguintes características de galpão: dimensões de 12 x 125 x 2,5 m, infiltrações de ar através das cortinas de 5% da vazão total succionada pelos exaustores ($63 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), dois painéis de dimensões 10,70 x 1,80 m e eficiência de resfriamento evaporativo (ER) de 70%, densidade de alojamento (DA) de 14 aves m^{-2} com massa corporal média de 2,4 kg por ave e pressão atmosférica local de 93,58 kPa. As simulações foram feitas em função da combinação fatorial da t_{bs} (30°C e 35°C), UR (45% e 65%), V (0,3, 1,2 e 2,1 m s^{-1}), ER (40%, 60% e 80%) e DA (14, 16 e 18 aves m^{-2}).

Os resultados, conforme mostrados na (Tabela 3), indicam que a variação da t_{bs} de 30°C para 35°C resulta em queda na produtividade, devido ao aumento do desconforto térmico das aves ao longo do galpão. Essa situação se agrava com o aumento da UR de 45% para 65%, que contribui negativamente no potencial de perda de calor por evaporação. Quando a V varia de 0,3 para 2,1 m s^{-1} , a perda de produtividade se reduz, devido ao aumento das perdas de calor por convecção e ao aumento da vazão de ar que passa pela placa porosa umedecida. Para as condições térmicas simuladas, os menores índices de perda de produtividade são observados quando V, t_{bs} e UR são iguais a 2,1 m s^{-1} , 30°C e 45%, respectivamente, enquanto que, para a V igual a 0,3 m s^{-1} , t_{bs} de 35°C e UR de 65%, as perdas são as maiores.

De forma geral, a redução da t_{bs} , UR ou DA, ou ainda, o aumento da V e ER, para os testes simulados, diminuem o percentual de perdas na produtividade. Os dados da Tabela 3 também mostram o efeito negativo do aumento da DA à produtividade, concordando com Moreira et al. (2004) que afirmam que o

aumento da DA de 10 a 16 aves m⁻² causa redução no ganho de massa corporal, principalmente na fase final de criação, apesar de não haver diferenças entre 13 e 16 aves m⁻².

TABELA 3 Percentagem do galpão com perdas de peso calculadas com base no IAPfc, para frangos de corte alojados em um galpão climatizado, equipado com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido com diferentes eficiências de resfriamento (ER), sob diversas condições ambientais e densidades de alojamentos (DA).

t _{bs} [UR]	V (m s ⁻¹)	ER (%)	Percentagem do galpão com perda de peso para os intervalos especificados															
			0 a 0,9 %			1 a 5 %			5,1 a 15 %			15,1 a 30 %			30,1 a 83 %			
			DA (aves m ⁻²)			DA (aves m ⁻²)			DA (aves m ⁻²)			DA (aves m ⁻²)			DA (aves m ⁻²)			
			14	16	18	14	16	18	14	16	18	14	16	18	14	16	18	
30 [45]	0,3	40	0	0	0	10	8	4	15	14	16	29	26	22	46	52	58	
		60	0	0	0	15	14	12	14	12	11	27	23	21	44	51	56	
		80	0	0	0	18	16	14	14	12	10	26	22	20	42	50	55	
	1,2	40	0	0	0	67	58	52	33	42	48	0	0	0	0	0	0	
		60	26	22	19	62	54	48	13	24	33	0	0	0	0	0	0	
		80	45	38	34	55	52	46	0	10	20	0	0	0	0	0	0	
	2,1	40	5	3	3	95	97	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		60	50	44	39	50	56	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		80	90	78	69	10	22	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	30 [65]	0,3	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	26	22	71	74	78
			60	0	0	0	0	0	0	4	1	0	27	26	24	69	73	76
			80	0	0	0	0	0	0	10	7	4	22	22	22	68	71	74
1,2		40	0	0	0	0	0	0	74	64	57	26	36	43	0	0	0	
		60	0	0	0	14	11	10	74	65	58	13	24	33	0	0	0	
		80	0	0	0	26	22	19	72	63	56	2	14	25	0	0	0	
2,1		40	0	0	0	50	42	37	50	58	63	0	0	0	0	0	0	
		60	0	0	0	79	68	60	21	32	40	0	0	0	0	0	0	
		80	0	0	0	98	90	79	2	10	21	0	0	0	0	0	0	
35 [45]		0,3	40	0	0	0	0	0	0	0	0	14	12	11	86	88	89	
			60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	21	18	77	79	82
			80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	25	22	73	75	78
	1,2	40	0	0	0	0	0	0	2	2	1	97	98	98	1	1	1	
		60	0	0	0	0	0	0	48	42	37	52	58	63	0	0	0	
		80	0	0	0	5	3	2	73	64	58	22	33	41	0	0	0	
	2,1	40	0	0	0	0	0	0	82	70	62	17	29	38	1	1	1	
		60	0	0	0	2	1	0	96	98	98	2	2	2	0	0	0	
		80	0	0	0	68	58	50	31	42	49	1	1	1	0	0	0	
	35 [65]	0,3	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	
			60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	
			80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	
1,2		40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100		
		60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	2	94	96	98	
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	27	23	68	73	77	
2,1		40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	94	94	6	6	6	
		60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	95	95	5	5	5	
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	97	97	3	3	3	

4 CONCLUSÕES

O modelo matemático desenvolvido, considerando as trocas de calor e massa em regime permanente, mostrou-se adequado para simular o ambiente térmico e as principais respostas fisiológicas e o desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões climatizados, equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa, associada a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização, uma vez que os erros padrões estão dentro do intervalo considerado aceitável para este tipo de estudo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq, pelo financiamento do projeto e pela concessão de uma bolsa de mestrado e PIBIC, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, M.; WATHES, C. M.; BERCKMANS, D. Dynamic Data-based Modelling of Heat Production and Growth of Broiler Chickens: Development of an Integrated Management System. **Biosystems Engineering**, San Diego, v. 84, n. 3, p. 257-266, Mar. 2003.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: ASAE, 1990. 453 p.

ASHRAE. Evaporative air cooling. In 1992 **HVAC Systems and Equipment Handdbook**. Atlanta, Ga. : American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992. Chap. 19.

CHANDRA, P. K.; SINGH, R. P. **Applied numerical methods for food and agricultural engineers**. Boca Raton: CRC Press, 1995. 500 p.

DESHAZER, J. A.; BECK, M. M. **University of Nebraska Report for Northeast Regional Poultry Project NE-127**. Lincoln: Agricultural Research Division, University of Nebraska, 1988.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

GATES, R. S.; OVERHULTS, D. G.; BOTTCHER, R. W.; ZHANG, S. H. Field calibration of a transient model for broiler misting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1623-1631, Sept./Out. 1992.

GATES, R. S.; USRY, J. L.; NIENABER, J. A.; TURNER, L. W.; BRIDGES, T. C. Optimal misting method for cooling livestock housing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 5, p. 2199-2206, Sept./Oct. 1991.

GATES, R. S.; ZHANG H.; COLLIVER D. G.; OVERHULTS D. G. Regional variation in temperature humidity index for poultry housing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 1, p. 197-205, Jan./Feb. 1995.

GEBREMEDHIN, K. G.; WU, B. **A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer**. St. Joseph: ASAE, 2000. (ASAE Paper No. 004114).

MAHONEY, S. A.; KING, J. R. The use of the equivalent black-body temperature in the thermal energetic of small birds. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 2, n. 3, p. 115-120, 1977.

McARTHUR, A. J. Metabolism of homeotherms in the cold and estimation of thermal insulation. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 16, n. 3, p. 149-155, May 1991.

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

MEDEIROS, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de modelo para simulação e desempenho de galinhas poedeiras e frangos de corte com uso de resfriamento evaporativo**. 1997. 88 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA F. C.; OLIVEIRA R. F. M.; TINÔCO I. F. F.; ALBINO L. F. T.; CECON P. R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 660-665, out./dez. 2005.

MITCHELL, J. W. Heat transfer from spheres and other animal forms. **Biophysical Journal**, Bethesda, v. 16, n. 6, p. 561-569, 1976.

MOUNT, L. E. **Adaptation to thermal environment**. Baltimore: University Park Press, 1979. 333 p.

MOREIRA, J.; MENDES, A. M.; ROÇA, R. O.; GARCIA, E. A.; NÃAS, I. A.; GARCIA R. G.; PAZ, I. C. A. Efeito da Densidade Populacional sobre Desempenho, Rendimento de Carcaça e Qualidade da Carne em Frangos de Corte de Diferentes Linhagens Comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1506-1519, nov./dez. 2004.

NATIONAL WEATHER SERVICE CENTRAL REGION. **Livestock hot weather stress**. Regional Operations Manual Letter, C-31-76. 1976.

SILVA, M. P.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A. Evaluation of the evaporative cooling usage potential for the southeast region of Brazil with a simplified model for the estimation of the energy balance in sheds for broiler chickens. In : **LIVESTOCK ENVIRONMENT**, 7. , 2005, Beijing. **Proceedings...** Beijing, China: ASABE, 2005. p. 143-150.

SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 12, n. 4, p. 497-500, July/Aug. 1996.

SINGLETERY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R. Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. St. Joseph: **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 5, p. 1801-1809, Sept./Oct. 1996.

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

WATHEN, P.; MITCHELL, J. W.; PORTER, W. P. Theoretical and experimental studies of energy exchange from Jackrabbit ears and cylindrical shaped appendages. **Biophysical Journal**, Bethesda, v. 2, n. 12, p. 1030-1047, Dec. 1971.

WILHELM, L. R. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 318-321 e 325, Mar./Apr. 1976.

XIN, H.; BERRY, I. L.; TABLER, G. T.; COSTELLO, T. A. Heat and moisture production of poultry and their housing systems: broilers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 6, p. 1851-1857, Nov./Dec. 2001.

YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, G. S.; TEIXEIRA, V. H.; XIN, H. Prediction of black globe humidity index in poultry buildings. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6. , 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001. p. 482-489.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO E DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE EM GALPÕES CLIMATIZADOS

(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Agroinformática)

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema computacional, em ambiente gráfico Delphi 7.0, para a predição do ambiente térmico (temperatura e umidade relativa do ar, índice de temperatura e umidade e índice ambiental de produtividade para frangos de corte), principais respostas fisiológicas (temperaturas da pele e retal e frequência respiratória) e desempenho produtivo (consumo de ração diário, ganho de peso diário e conversão alimentar) de frangos de corte criados em galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa, e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização, utilizando, como entrada, dados referentes às aves, ao clima e à estrutura do galpão. O comportamento das variáveis ao longo do comprimento do galpão pode ser visualizado por meio de tabela e gráficos.

PALAVRAS-CHAVE: simulação, ventilação em modo túnel, resfriamento evaporativo, índice de conforto térmico

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TO PREDICT THE THERMAL
ENVIRONMENT AND PRODUCTIVE PERFORMANCE OF BROILER
CHICKENS LODGED IN ACCLIMATIZED HOUSINGS**

ABSTRACT

This work aimed at to develop a software, in Delphi 7.0, to predict thermal environment (air temperature and relative humidity, temperature-humidity index and environmental index for broiler chickens productivity), main physiological responses (skin and rectal temperature and respiration rate) and animal performance indexes (daily feed intake, daily weight gain and feed conversion) of broiler chickens lodged in acclimatized broiler housing equipped with negative pressure tunnel ventilation system associated with pad cooling or misting system or both of them, using data related to chickens, climate and building structure as input. Variables profile along the broiler chicken house can be visualized by table and graphics.

KEYWORDS: simulation, tunnel ventilation system, evaporative cooling, thermal comfort index

1 INTRODUÇÃO

Dos galpões para a criação de frangos de corte, aquele que adota o maior nível de tecnologia é o galpão climatizado equipado com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo, como o de placas porosas umedecidas e ou nebulização. Nele, os exaustores são instalados em uma das extremidades do galpão, enquanto a entrada de ar é posicionada na extremidade oposta. A eficiência desse sistema depende da vedação adequada do galpão (reduzindo a infiltração de ar), do projeto/manejo adequado dos sistemas de ventilação e de resfriamento evaporativo, dentre outros.

Diversas pesquisas de campo têm sido conduzidas no sentido de se avaliar e comparar vários sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo (Fonseca, 1998; Tinôco et al., 2004; Zanolli et al., 1999). Porém, várias limitações, como dificuldade de encontrar quantidade suficiente de galpões similares em um mesmo local, altos custos para a implantação de experimentos, dentre outros, não permitem que estudos que abranjam um maior número de variáveis e fatores, ou níveis de fatores, sejam testados em campo. Assim, uma possível resposta ao problema pode ser obtida por meio de simulações computacionais, em uma primeira etapa para, em seguida, serem testados em campo apenas os tratamentos de interesse.

O uso de sistemas computacionais tem sido visualizado como importante ferramenta para a rastreabilidade na produção de suínos (Silva, 2003) e bovinos (Barbosa et al., 2005; Oliveira & Branco, 2005; Souza et al., 2004), análise do comportamento de suínos em repouso com base em imagens de vídeo, obtidas em tempo real (Xin & Shao, 2005), detecção de cio em vacas leiteiras (Ferreira et al., 2005; Mol et al., 1998), predição do ambiente térmico em instalações zootécnicas (Medeiros, 1997; Nääs et al. 1996; Severo et al., 2003), predição da emissão de amônia em galpões avícolas (Miragliotta & Nääs, 2001), avaliação

do bem-estar de aves (Barbosa filho et al., 2005; Pereira, 2005) e suínos (Queirós & Nääs, 2005), dentre outros.

Com base no exposto, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema computacional didático e com interface amigável, para a predição do ambiente térmico e do desempenho de frangos de corte ao longo do interior de galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento do sistema

O programa computacional denominado SisTúnel foi desenvolvido em ambiente Delphi 7.0, utilizando-se dados referentes às aves, ao clima e ao galpão, para a predição do ambiente térmico (temperatura de bulbo seco – t_{bs} , umidade relativa – UR, índice de temperatura e umidade e índice ambiental de produtividade para frangos de corte – IAPfc), principais respostas fisiológicas (temperatura da pele – TP, temperatura retal – TR e frequência respiratória – FR) e desempenho produtivo (consumo de ração diário – CRD, ganho de peso diário – GPD e conversão alimentar – CA) de frangos de corte criados em galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização.

As equações utilizadas pelo sistema, para o cálculo t_{bs} e UR, foram desenvolvidas por meio de um balanço de calor e massa, em regime permanente, tendo como base a metodologia proposta por Albright (1990) e utilizando cálculos de variáveis psicrométricas propostos por Albright (1990) e Wilhelm (1976). Para o cálculo dos índices do ambiente térmico foram utilizadas as

equações propostas por DeShazer & Beck (1988) e Thom (1959) e, para o cálculo do índice de produtividade, foi utilizada a equação proposta por Medeiros et al. (2005). Para o cálculo das principais respostas fisiológicas das aves e desempenho produtivo, utilizaram-se as equações propostas por Medeiros (2001).

2.2 Validação do sistema

Para a validação do sistema, coletaram-se dados em uma granja comercial para frangos de corte, localizada no município de Itaberaí, GO, entre os dias 28 e 30 de maio de 2005, no período de 10 às 18 horas. O galpão estava equipado com ventilação negativa em modo túnel e sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e nebulização. As medidas da velocidade do ar (V) no interior do galpão, à altura de 0,30 m, 1,00 m e 1,70 m do piso, no centro e nas extremidades (afastadas a 0,30 m das cortinas), em cada divisão do galpão, foram obtidas por meio de um anemômetro digital multifunção de hélice ($\pm 3\%$), com cinco repetições. O mesmo anemômetro foi utilizado para a medição da pressão atmosférica local ($\pm 0,3$ kPa). Para obter a t_{bs} e UR no ambiente externo e no centro de cada divisão do galpão, à altura de 0,30 m do piso, utilizaram-se cinco sensores/registradores portáteis ($\pm 3\%$) de leitura, pré-programados para coletar dados em intervalos de um minuto. Os valores simulados de t_{bs} e UR foram comparados àqueles medidos no galpão. Para as demais variáveis (ITU_{Thom} , $ITU_{D\&B}$, IAPfc, CRD, GPD, CA, TR, TP e FR) compararam-se os valores simulados, utilizando-se como dados de entrada, os valores medidos e os simulados de t_{bs} e UR para as quatro seções do galpão, localizadas a 30, 60, 90 e 120 m. A velocidade média do ar, medida no galpão, foi utilizada como dado de entrada no programa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Descrição e operação do sistema (SisTúnel)

O SisTúnel, desenvolvido de acordo com fluxograma mostrado na Figura 1, exhibe, inicialmente, ao usuário, a tela de apresentação do sistema, trazendo informações referentes a sua versão e função (Figura 2).

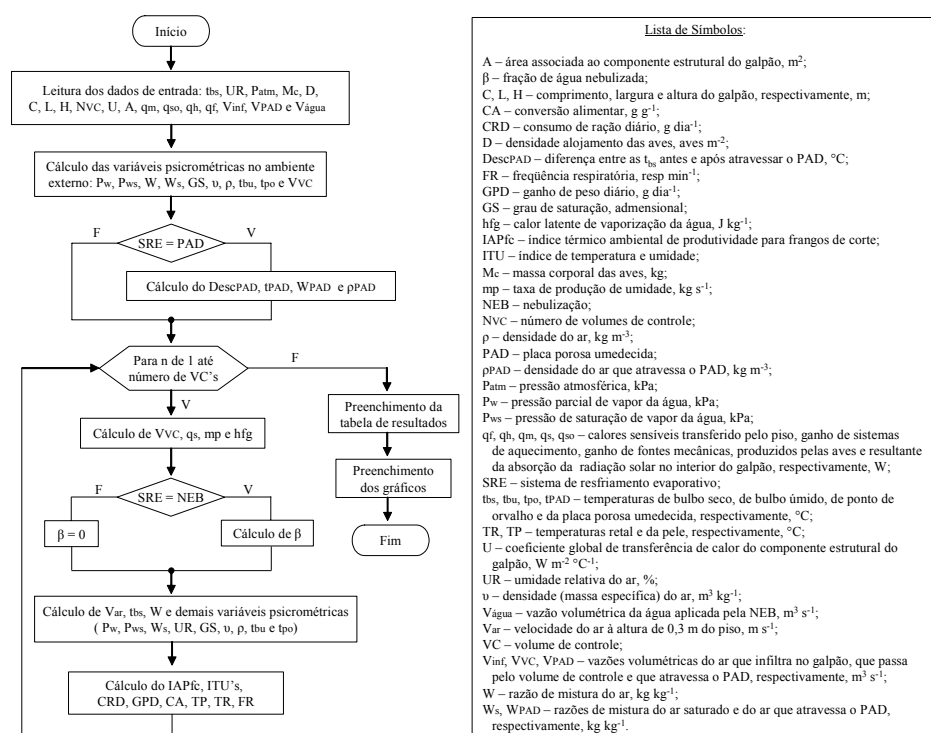


FIGURA 1 Fluxograma simplificado, mostrando a rotina principal do SisTúnel, para o cálculo das variáveis do ambiente, principais respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.



FIGURA 2 Tela de apresentação do SisTúnel.

A segunda tela (Figura 3), considerada principal e exibida na seqüência, disponibiliza o menu principal ou botões de atalho, que permitem ao usuário o acesso às seguintes funções: obter novo formulário, limpar formulário, abrir um arquivo com os dados de entrada, calcular os resultados, salvar em arquivo ou imprimir os dados de entrada e ou os resultados simulados (tabela), ajuda e sair do sistema. Cinco abas são usadas para facilitar o acesso e a visualização dos dados de entrada e dos resultados simulados. A primeira aba, intitulada “Entrada de dados”, é usada para a entrada e a visualização dos dados usados no processamento.

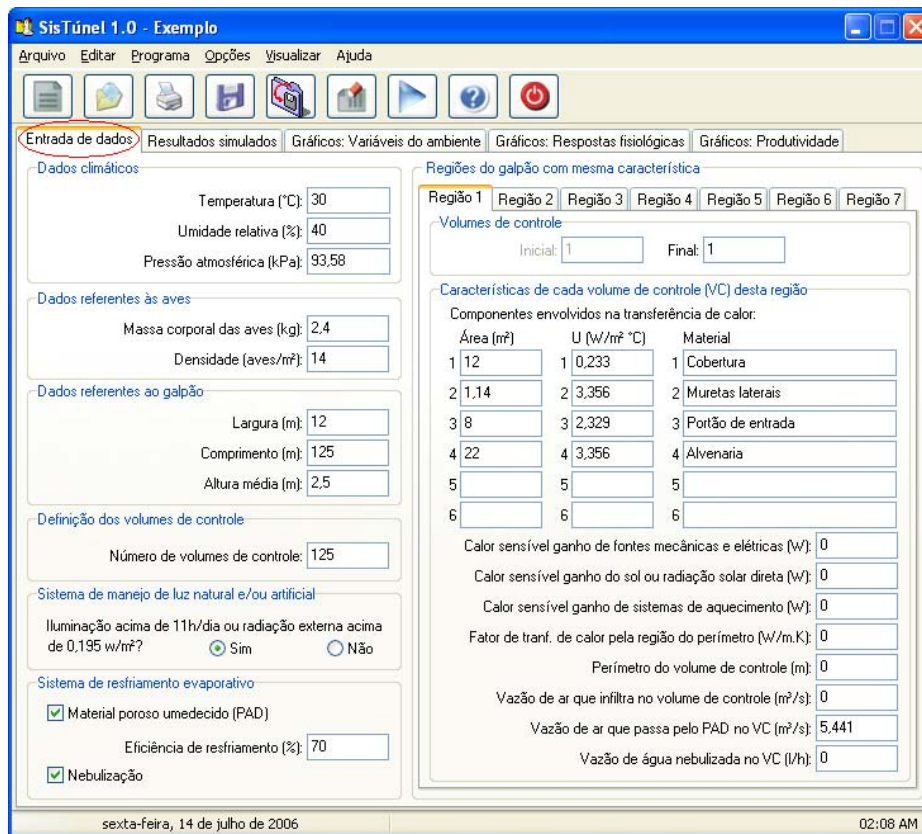


FIGURA 3 Tela principal do SisTúnel, evidenciando a aba “Entrada de dados”.

A segunda aba, “Resultados simulados” (Figura 4), permite visualizar, por meio de uma tabela, todas as variáveis simuladas ao longo do comprimento do galpão. A tabela possui onze colunas e um número de linhas que varia em função do número de volumes de controle (VC) definidos pelo usuário. A primeira coluna lista, de forma seqüencial, o número de cada VC e, a partir da segunda coluna em diante, têm-se, nesta ordem, o comprimento do galpão (m), t_{bs} (°C), UR (%), ITUs propostos por Thom (1959) e DeShazer & Beck (1988), IAPfc, GPD ($g\ dia^{-1}$), CRD ($g\ dia^{-1}$), CA ($g\ g^{-1}$), TR (°C), TP (°C) e FR (resp min^{-1}). A segunda linha exhibe os valores das variáveis na parte externa do

galpão. Na parte inferior da tabela, são mostrados os valores mínimos, máximos e médios das variáveis simuladas ao longo do galpão.

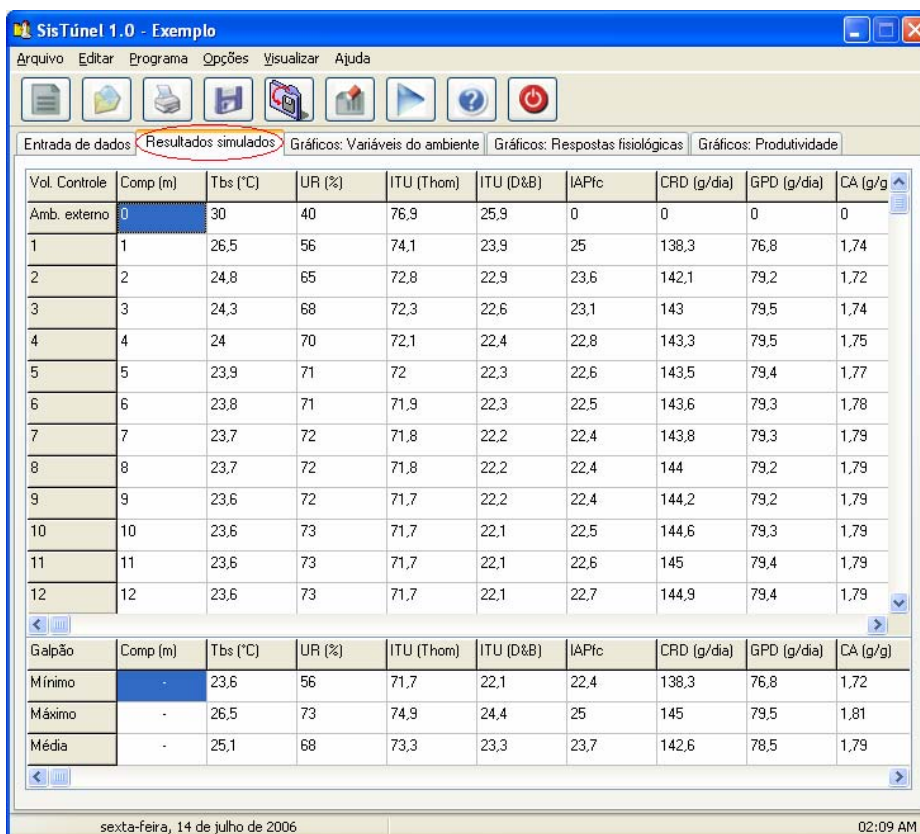


FIGURA 4 Tela principal do SisTúnel, mostrando a tabela de resultados das variáveis do ambiente térmico, principais respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.

Na aba “Gráficos: Variáveis do ambiente” (Figura 5) são mostrados três gráficos que ilustram o comportamento da t_{bs} , UR e ITU_{Thom} (nesse caso específico selecionado previamente no menu “Opções – Gráficos ITU”), ao longo do comprimento do galpão e um gráfico do tipo cores, podendo conter as

cores azul (conforto), verde (alerta), amarelo (perigo) e vermelho (emergência), estabelecidos em função de diversos estudos (Hahn, 1982; NWSCR, 1976).

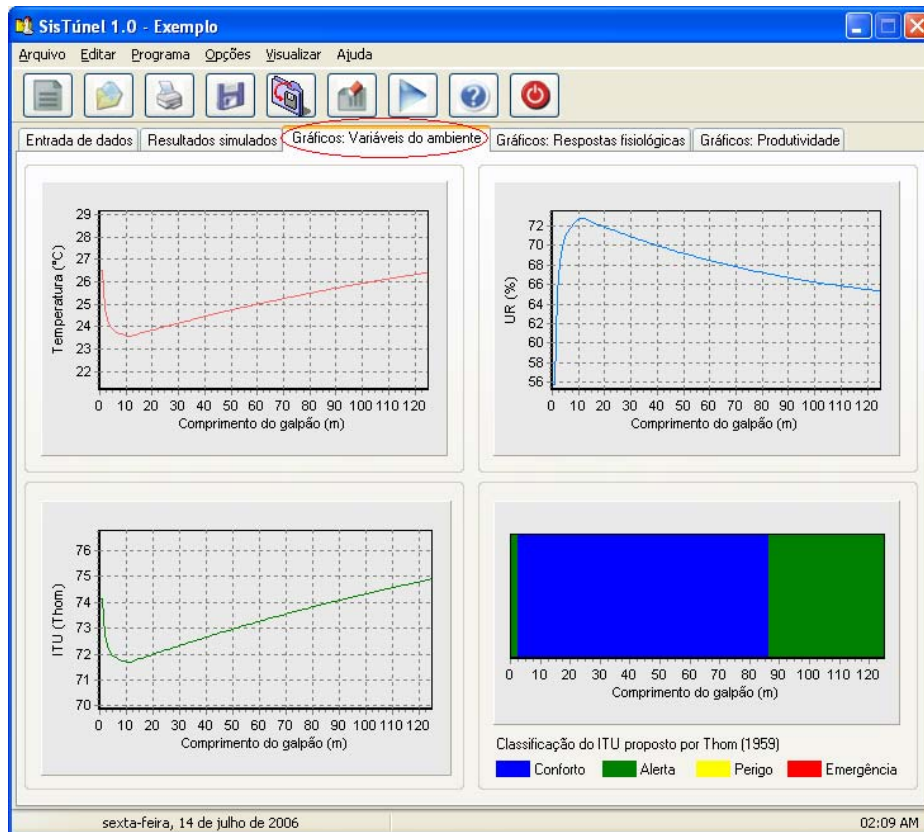


FIGURA 5 Tela principal do SisTúnel, mostrando graficamente o comportamento das variáveis do ambiente térmico, ao longo do comprimento do galpão.

A quarta aba, “Gráficos: Respostas fisiológicas” (Figura 6), mostra três gráficos que ilustram o comportamento da TP, TR e FR das aves ao longo do comprimento do galpão, enquanto que a quinta aba, “Gráficos: Produtividade” (Figura 7), mostra os gráficos de desempenho produtivo (CRD, GPD e CA).

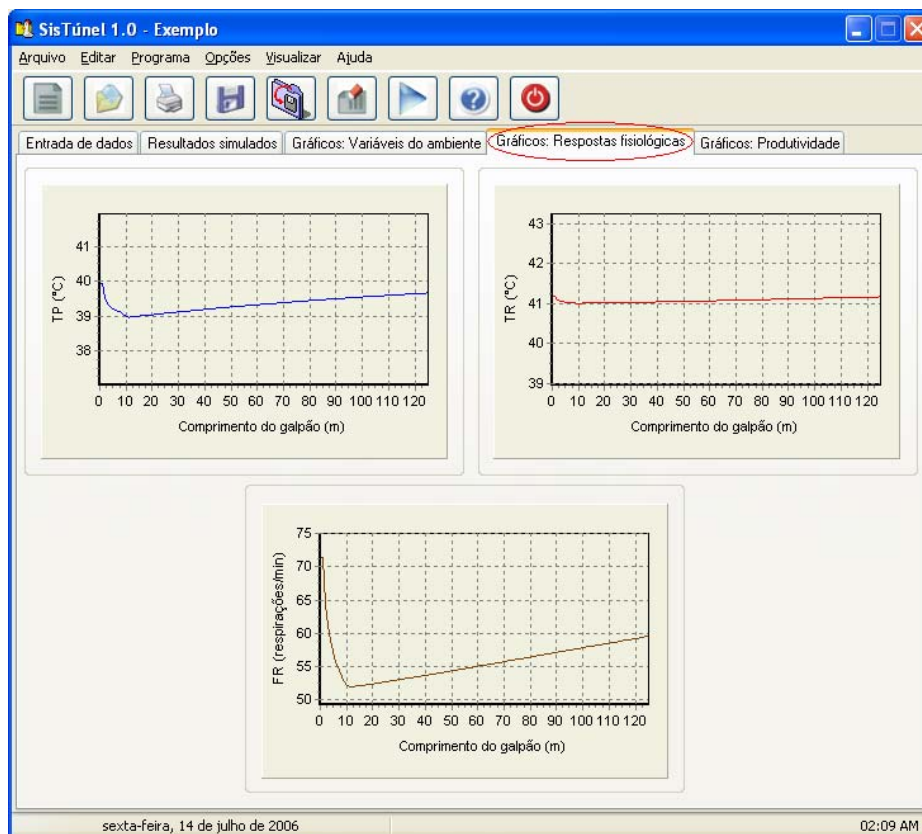


FIGURA 6 Tela principal do SisTúnel, mostrando graficamente o comportamento das principais respostas fisiológicas dos frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.

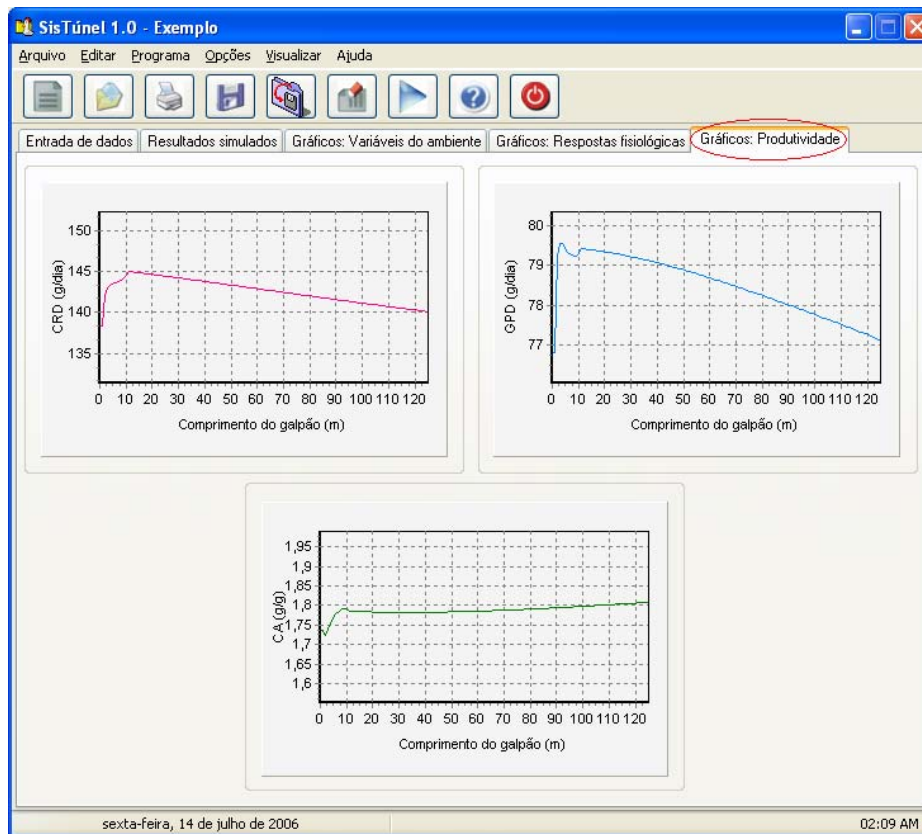


FIGURA 7 Tela principal do SisTúnel, mostrando graficamente o comportamento desempenho produtivo de frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.

3.2 Validação do sistema

Diversas simulações foram feitas para validar o sistema, comparando os valores simulados aos medidos, sendo que, para t_{bs} e UR, os erros padrões foram de $0,73^{\circ}\text{C}$ e $5,43\%$, respectivamente. Para as demais variáveis, ao serem feitas as simulações considerando os valores de t_{bs} e UR, medidos como dados de entrada e simulados pelo próprio sistema, verificou-se que os erros padrões para ITU_{Thom} , $ITU_{D\&B}$, IAPfc, CRD, GPD, CA, TR, TP e FR foram de 0,65, 0,28,

0,57, 1,77 g dia⁻¹, 1,27 g dia⁻¹, 0,03 g g⁻¹, 0,04°C, 0,17°C e 2,15 resp min⁻¹, respectivamente.

3.3 Exemplo de aplicação

Para exemplificar a aplicação do SisTúnel, fez-se uma simulação, utilizando-se, como entrada no sistema, informações relativas a um galpão climatizado, situado no município de Itaberaí, GO, com as seguintes características: 27°C para t_{bs} , 45% para UR, 93,58 kPa para pressão atmosférica, massa corporal das aves de 2,4 kg, densidade de alojamento de 14 aves m⁻², dimensões do galpão de 125 x 12 x 2,5 m (C x L x A); 125 volumes de controle, iluminação de 11 horas dia⁻¹, sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido, com eficiência de 80%, em conjunto com nebulização.

Dados referentes aos componentes da estrutura do galpão envolvidos nas trocas de calor e outros dados de entrada do sistema são mostrados nas Tabelas 1 e 2. Cada região especificada representa trechos no interior do galpão com características construtivas semelhantes e condições supostamente homogêneas.

TABELA 1 Componentes da estrutura do galpão com suas respectivas áreas e coeficientes globais de transferência de calor (U).

Região	Área (m ²)							U (W m ⁻² ° C ⁻¹)
	1 ¹	2 ¹	3	4	5	6	7	
VC	1-1	2-11	12-64	65-65	66-66	67-120	121-125	
Alvenaria	14,96	0	0	2,5	1,42	0	28,90	3,356
Cobertura	12	120	636	12	12	648	60	0,233
Cortinas	0	1,23	217,30	2,05	2,05	221,40	0	3,472
Muretas	1,40	14,00	47,70	0,45	0,45	48,60	0	3,356
Portões e pilares (metal)	4,80	0,41	4,51	0	0	4,92	8,41	2,329

¹ Regiões com placa de resfriamento evaporativo. VC: volume de controle.

TABELA 2 Dados de entrada das variáveis associados à transferência de calor e vazões de ar e água que entram no sistema.

Região	1 ¹	2 ¹	3	4	5	6	7
VC	1-1	2-11	12-64	65-65	66-66	67-120	121-125
Variáveis							
q _m , q _{so} , q _h e q _f (W)	0	0	0	0	0	0	0
Ṡ _{inf i} no VC (m ³ s ⁻¹)	31,07	0	0,19	0,19	4,26	0,10	0
Ṡ _{PAD} no VC (m ³ s ⁻¹)	1,09	1,09	0	0	0	0	0
Ṡ _{água} no VC (l h ⁻¹)	0	0	5,35	5,35	5,35	2,03	2,03

¹ Regiões com placa de resfriamento evaporativo.

q_m: calor sensível ganho de fontes mecânicas; q_{so}: calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão; q_h: calor sensível ganho dos sistemas de aquecimentos; q_f: calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro do galpão.

As Tabelas 3 e 4 mostram os valores mínimos, máximos e médios de cada variável simulada no interior do galpão. Pela Tabela 3, observa-se que o

ITU_{Thom} médio indicou alerta aos produtores (NSCR, 1976; Thom, 1959), ocorrendo leve desconforto do ambiente. Entretanto, analisando-se o ITU_{D&B}, nota-se que o valor médio dessa variável indicou conforto térmico para aves. Pela classificação do IAPfc, o valor 25,1 (Tabela 3) implica em perda de peso da ave em torno de 1% a 5%, comparado à máxima produtividade alcançada. O ambiente térmico, neste caso, para esta variável, é tido como moderadamente confortável.

Para o desempenho produtivo (Tabela 4), os resultados foram semelhantes aos obtidos por Fonseca (1998) que, em experimento realizado com aves da linhagem Hubbard, alojadas em galpão com condições de manejo e ambiente térmico semelhantes ao exemplo simulado, concluiu que CRD, GPD e CA médios, para a sexta semana de vida das aves, foram de 145,6 g dia⁻¹, 81,0 g dia⁻¹ e 1,81 g g⁻¹, respectivamente. Outros autores, como Xin et al. (1994), obtiveram CRD de 143,0 g dia⁻¹ e CA de 1,82 g g⁻¹, enquanto Fischer et al. (2002), em estudo feito com aves fêmeas da linhagem Ross, com idade de 35 dias, observou 143,2 g dia⁻¹, 67,6 g dia⁻¹ e 1,75 g g⁻¹ para CRD, GPD e CA, respectivamente.

Para as respostas fisiológicas, os valores médios de TR e TP estão de acordo com os intervalos observados por Yahav et al. (1997), cujo estudo realizado com frangos de corte machos da linhagem Cobb determinou valores de 41,1 ± 0,1°C para TR e 39,7 ± 0,2°C para TP, quando a temperatura externa foi de 26 ± 1°C. A FR média simulada foi de 59 resp min⁻¹, valor que representa aumento de 136% em relação à média considerada normal (25 resp min⁻¹) para frangos de corte em condições termoneutras, indicando que as aves se utilizaram desse mecanismo de dissipação de calor, ante a condição ambiental de leve desconforto, mostrada pelo ITU_{Thom} em parte do galpão (Figura 8c).

TABELA 3 Valores mínimos, máximos e médios das variáveis do ambiente simuladas para o interior do galpão.

	t_{bs} (°C)	UR (%)	ITU _{Thom}	ITU _{D&B}	IAP _{fc}
Mínimo	25,8	45	72,8	23,0	23,7
Máximo	28,4	53	75,8	25,1	26,4
Média	27,2	50	74,4	24,1	25,1

TABELA 4 Valores mínimos, máximos e médios das variáveis de desempenho e respostas fisiológicas das aves simuladas no interior do galpão.

	CRD (g dia ⁻¹)	GPD (g dia ⁻¹)	CA (g g ⁻¹)	TR (°C)	TP (°C)	FR (resp min ⁻¹)
Mínimo	136,2	73,8	1,82	41,0	39,6	57
Máximo	140,8	77,2	1,89	41,3	40,0	66
Média	138,5	75,6	1,85	41,2	39,8	61

Os comportamentos da t_{bs} , UR e ITU_{Thom}, ao longo do comprimento do galpão, são mostrados nas Figuras 8a, 8b e 8c, respectivamente. Pela Figura 8a, observa-se um leve decréscimo da t_{bs} nos primeiros 11 m da entrada de ar do galpão, devido à ação da placa de material poroso umedecido, que também fez com que a UR aumentasse de 45% para 52,5% (Figura 8b). A partir desse ponto, a t_{bs} aumentou novamente, evidenciando o ganho de calor proveniente das aves, apesar da ação do sistema de resfriamento evaporativo promovido pela nebulização. A UR reduziu até o final do galpão, ocorrendo uma leve descontinuidade entre 66 e 67 m da entrada principal do galpão, devido à existência de uma outra entrada de ar naquela posição. Para o ITU_{Thom} (Figura 8c), houve comportamento similar ao da t_{bs} , sendo o ambiente classificado como em condição de conforto térmico até, aproximadamente, 48 m, quando o valor estimado ultrapassou a 74 (Figuras 8c e 8d), caracterizando condição de alerta (NWSCR, 1976).

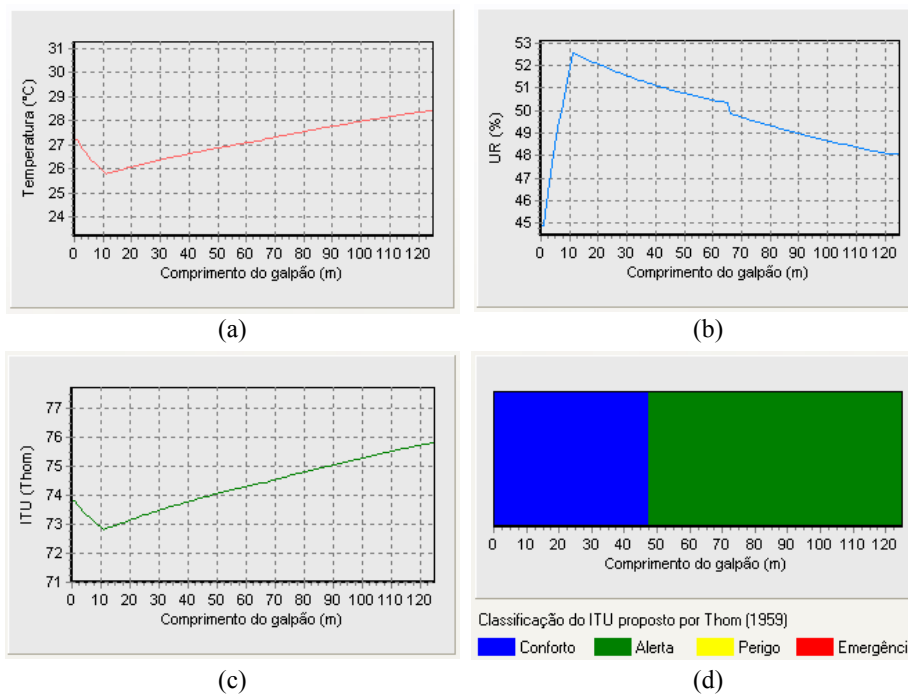


FIGURA 8 Comportamentos da (a) temperatura de bulbo seco (t_{bs}), (b) umidade relativa (UR), (c) índice de temperatura e umidade (ITU_{Thom}) e (d) classificação do ambiente térmico, ao longo do comprimento do galpão.

Na Figura 9, observa-se, graficamente, a estimativa das principais variáveis relacionadas ao desempenho produtivo dos frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão. Para o CRD (Figura 9a) e GPD (Figura 9b), a diferença entre os maiores e os menores valores observados foi de 4,6 e 3,4 g dia^{-1} , respectivamente. Entre 6 a 21 m da entrada principal de ar do galpão, a CA simulada foi de 1,82 g g^{-1} , indicando máxima produtividade para este trecho do galpão. Os maiores valores de CRD e GPD (140,8 e 77,2 g dia^{-1} , respectivamente) ocorrem a, exatamente, 11 m da entrada do galpão.

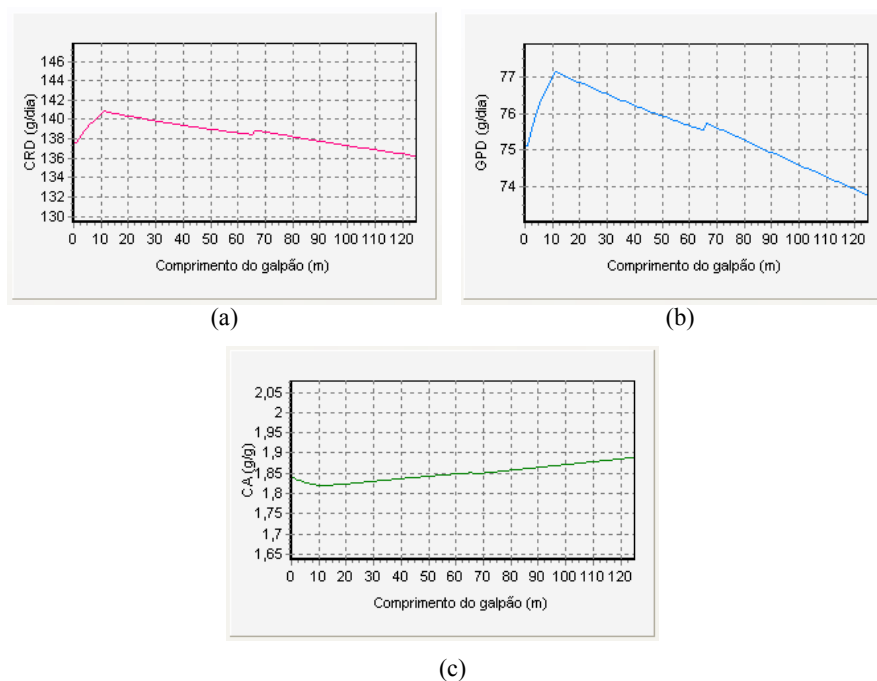


FIGURA 9 Comportamentos do (a) consumo de ração diário (CRD), (b) ganho de peso diário (GPD) e (c) conversão alimentar (CA) de frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.

Na Figura 10, pode-se observar que os comportamentos da TR e TP foram estáveis, confirmando o estado de conforto das aves, mesmo com o ITU_{Thom} superior a 74 (alerta), em alguns volumes de controle. A FR (Figura 10c) apresentou comportamento similar ao da t_{bs} , sendo o início e o fim do galpão os pontos de maior valor para esta variável, devido à própria característica de funcionamento deste sistema.

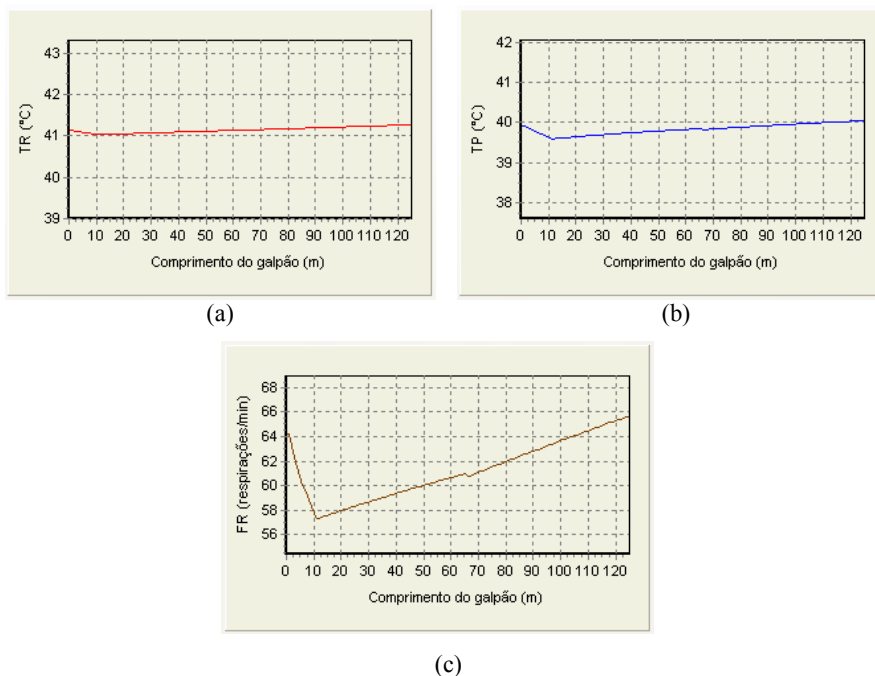


FIGURA 10 Comportamentos da (a) temperatura retal (TP), (b) temperatura da pele (TR) e (f) freqüência respiratória (FR) dos frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão.

3.4 Considerações finais

Os resultados apresentados nas Figuras 7, 8 e 9 também podem ser visualizados no formato de tabela, conforme indicado na Figura 4. O SisTúnel também permite salvá-los em arquivo com extensão “.out”, ou ainda, imprimi-los. Os dados de entrada, utilizados nas simulações, podem ser salvos em arquivo com extensão “.in”, podendo assim ser carregados futuramente pelo sistema, para outras simulações.

4 CONCLUSÕES

O programa SisTúnel é uma importante ferramenta para a predição do ambiente térmico, principais respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões equipados com ventilação em modo túnel, com pressão negativa, associado a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização. O programa pode auxiliar no desenvolvimento de projetos, pois permite, com rapidez e segurança, estudar os diversos fatores que interferem no conforto térmico dos animais, indicando as zonas propensas a estresse térmico e a queda na produção ao longo do galpão.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq, pelo financiamento do projeto e pela concessão de uma bolsa de mestrado e PIBIC, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: ASAE, 1990. 453 p.

BARBOSA, E. M.; LOPES, M. A.; ZAMBALDE, A. L.; ALVES, R. M. Desenvolvimento de um sistema para rastreabilidade de bovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: UEL/SBIAgro, 2005. 8 p. 1CD-ROM.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras criadas em diferentes sistemas – Um estudo utilizando análise de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: UEL/SBIAgro, 2005. 8 p. 1CD-ROM.

DESHAZER, J. A.; BECK, M. M. **University of Nebraska Report for Northeast Regional Poultry Project NE-127**. Lincoln: Agricultural Research Division, University of Nebraska, 1988.

FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; NÄÄS, I. A.; AMÊNDOLA, M. Utilização da lógica *fuzzy* para análise da ocorrência de cio em vacas leiteiras. In: WORKSHOP EM ZOOTECNICA DE PRECISÃO, 5., 2005, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2005. v. 1, p. 8-8.

FISCHER, G.; MAIER, J. C.; RUTZ, F.; BERMUDEZ, V. L. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja, com ou sem adição de enzimas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 402-410, jan./fev. 2002.

FONSECA, J. M. da. **Efeito da densidade de alojamento sobre o desempenho de frangos de corte criados em sistemas de nebulização e ventilação em túnel**. 1998. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

HAHN, G. L. Compensatory performance in livestock: influences on environmental criteria. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 2., 1982, Ames. **Proceedings...** Ames, 1982. p. 285-294.

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

MEDEIROS, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de modelo para simulação e desempenho de galinhas poedeiras e frangos de corte com uso de resfriamento evaporativo.** 1997. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA F. C.; OLIVEIRA R. F. M.; TINÔCO I. F. F.; ALBINO L. F. T.; CECON P. R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 660-665, out./dez. 2005.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÄÄS, I. A. The use of a software for predicting the ammonia emission inside broiler housing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AGRICULTURAL BUILDINGS, 2001, Campinas. **Proceedings...** Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 2001. v. 1, p. 186-191.

MOL, R. M.; OUWELTJES, W.; KROEZEL, G. H. Detection of oestrus and mastitis: field performance of a model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 1998, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1998. p. 865-883.

NÄÄS, I. A.; NÄÄS, O. A. A.; SILVA, I. J. O. Desenvolvimento de um Software para Determinação dos Índices de Conforto Térmico Aplicado a Produção Animal. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 4., 1996, Piracicaba. **Livro de Resumo...** Piracicaba, 1996. v. 1, p. 469-469.

NATIONAL WEATHER SERVICE CENTRAL REGION. Livestock hot weather stress. Regional Operations Manual Letter, C-31-76. 1976.

OLIVEIRA, C. A.; BRANCO, C. A. C. Geroleite Rastrear – Uma ferramenta para gestão técnica e financeira, aliando a rastreabilidade na bovinocultura leiteira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: UEL/SBIAgro, 2005. 8 p. 1CD-ROM.

PEREIRA, D. F. **Metodologia para estimativa de bem-estar de matrizes de frango de corte, utilizando monitoramento digital e construção de modelos de simulação.** 2005. 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

QUEIRÓS, M. P. G.; NÄÄS, I. A. Estimativa de padrão de conforto ambiental para creche de suínos usando lógica fuzzy. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: UEL/SBIAgro, 2005. 8 p. 1CD-ROM.

SEVERO, J. C. A.; YANAGI JUNIOR, T.; SANTOS, S. N. M.; SILVA, J. P.; BORGES, G.; TEIXEIRA, V. H. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico no interior de galpões agropecuários. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 59-72, 2003.

SILVA, T. P. O.; SILVA, K. O.; NÄÄS, I. A. Desenvolvimento de um software aplicado à rastreabilidade na produção de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2003. v. 1, p. 1-4.

SOUZA, S. R. L.; HORIE, E. H.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; SHITAKUBO, F. Desenvolvimento de um software aplicado à análise de imagens de comportamento de vacas confinadas em sistema de alojamento *free-stall*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2004. v. 1, p. 1-4.

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

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SANTOS, R. C.; SILVA, J. N.; PUGLIESI, N. L. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2004.

XIN, H.; BERRY, I. L.; BARTON, T. L.; TABLER, G. T. Feed and water consumption, growth, and mortality of male broilers. **Poultry Science**, Savoy, v. 73, n. 5, p. 610-616, May 1994.

XIN, H.; SHAO, J. Real-time behavior-based assessment and control of swine thermal comfort. In: LIVESTOCK ENVIRONMENT, 7., 2005. Beijing. **Proceedings...** Beijing, China: ASABE, 2005. p. 694-702.

YAHAV, S.; STRASCHNOW, A.; PLAVNIK, I.; HURWITZ, S. Blood system response of chickens to changes in environmental temperature. **Poultry Science**, Savoy, v. 76, n. 4, p. 627-633, Apr. 1997.

WILHELM, L. R. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units. St. Joseph: **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 318-321 e 325, Mar./Apr. 1976.

ZANOLLA, N.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; CECON, P. R.; MORAES, S. R. P. Sistemas de ventilação em túnel e lateral na criação de frangos de corte com alta densidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 361-366, set./dez. 1999.

CAPÍTULO 4

ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE USO DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE PARA A REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental)

RESUMO

No presente trabalho, fez-se o zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo (SRE) acoplado a um sistema de ventilação em modo túnel (SVT) para a criação de frangos de corte na região Sudeste do Brasil. Quatro configurações do sistema foram testadas: a) SVT, b) SVT associado a SRE do tipo material poroso umedecido com 40% de eficiência (SVT_{PAD40}), c) SVT associado a SRE do tipo material poroso umedecido com 70% de eficiência (SVT_{PAD70}) e d) SVT_{PAD70} associado a sistema de nebulização ($SVT_{PAD70+NEB}$). O ambiente térmico foi caracterizado por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) e o desempenho das aves determinados pelo consumo de ração diário (CRD), ganho de peso diário (GPD) e conversão alimentar (CA). Dados meteorológicos de 1980 a 2001, disponibilizados pelo Projeto Reanálise-2 do NCEP/NCAR, foram utilizados nesta pesquisa. No geral, verificou-se o efeito benéfico do uso dos SREs, com $SVT_{PAD70+NEB}$ proporcionando as melhores condições de produção, principalmente nos meses de setembro e outubro para quase toda a região Sudeste, com destaque para as mesorregiões Norte e Noroeste de Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE: ambiente térmico, desempenho, simulação, ventilação túnel

**MAPPING OF EVAPORATIVE COOLING SYSTEMS POTENTIAL USE
FOR BROILER CHICKENS PRODUCTION IN SOUTHEAST OF
BRAZIL**

ABSTRACT

In present work was made the mapping the potential of use of evaporative cooling systems (ECSs) coupled to a tunnel ventilation system (TVS) for broiler chicken grown in the Southern of Brazil. Four system configuration were tested: a) TVS, b) TVS associated to a pad cooling system with 40% of efficiency (TVS_{PAD40}), c) TVS associated to a pad cooling system with 70% of efficiency (TVS_{PAD70}) and d) TVS_{PAD70} associated to a misting system (TVS_{PAD70+MIST}). Thermal environment was characterized by temperature-humidity index (THI) and the chicken performance was determined by daily feed intake (DFI, g day⁻¹), daily weight gain (DWG, g day⁻¹) and feed conversion (FC, g g⁻¹). Meteorological data from 1980 to 2001, released through Reanalysis-2 Project from NCEP/NCAR were used in this research. Overall, it was verified the beneficial effect of the use of ECSs, with TVS_{PAD70+MIST} providing better production condition, especially during September and October for almost all Southeastern region, highlighting part of North and Northwest area of the Minas Gerais State.

KEYWORDS: thermal environment, performance, simulation, tunnel ventilation

1 INTRODUÇÃO

O conceito de bem-estar animal envolve o efeito de diversos parâmetros, incluindo o ambiente térmico de criação como um dos principais (Curtis, 1983). As aves, animais homeotérmicos, trocam calor constantemente com o ambiente, necessitando de conforto térmico para expressar todo seu potencial genético, pois, do contrário, haverá necessidade de intensificação de seus mecanismos de conservação ou dissipação de calor, ocasionando em dispêndio de energia que resultará na redução da eficiência produtiva e maior susceptibilidade às doenças (Ferreira, 2005; Medeiros, 2001; Schmid, 1998).

Em climas tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil, os elevados valores de temperatura do ar (t_{bs}) encontram-se entre os principais fatores que interferem negativamente nesse tipo de atividade (Tinôco, 1996). Tendo em vista este aspecto, diversas formas de arrefecimento do ar têm sido propostas para as instalações avícolas, desde o uso otimizado dos recursos da própria natureza até métodos artificiais, como a ventilação e o resfriamento evaporativo (Baêta & Souza, 1997).

A ventilação lateral ou a ventilação em modo túnel com pressão positiva ou negativa promovem a dissipação de calor sensível no interior da instalação, mas, segundo Tinôco (1996), este efeito benéfico torna-se nulo quando a t_{bs} se equipara à temperatura corporal da ave, havendo a necessidade do pré-resfriamento do ar a ser circulado no ambiente. O uso de sistemas de resfriamento evaporativo (SRE) possibilita a redução da t_{bs} em até 11°C, em algumas regiões. No Brasil, a média desta redução é de 6°C (Tinôco, 1996).

Por essa razão, diversos estudos envolvendo os efeitos da ventilação, do resfriamento evaporativo e da densidade de alojamento têm sido realizados na busca do entendimento e de soluções de problemas de campo (Campos et al. 2002; Corria & Nääs, 2001; Fonseca, 1998; Sartor et al. 2001; Stowell et al., 2001; Tinôco et al., 2004; Zanolli et al., 1999). No entanto, para se viabilizar

economicamente estudos mais complexos, poderão ser utilizados modelos matemáticos e computacionais como forma de se obter redução de tempo e de custos no desenvolvimento e adaptação de projetos, permitindo estudar aspectos estruturais e o desempenho dos animais. Com os avanços dos sistemas de informações geográficas (SIG) e a maior disponibilidade de dados meteorológicos, tornou-se possível fazer o zoneamento bioclimático de uma determinada região (Gates et al., 1995; Oliveira, 2004; Severo et al., 2003; Silva et al., 2005; Turco et al. 2006) ou, ainda, gerar mapas de alerta associados à previsão do tempo.

Assim, objetivou-se, com o presente trabalho, fazer o zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo acoplados a sistema de ventilação em modo túnel com pressão negativa para a criação de frangos de corte na região Sudeste do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados climatológicos

Para as estimativas do índice de temperatura e umidade (ITU), proposto por Thom (1959) e do desempenho dos frangos de corte, obtidos por meio do consumo de ração diário (CRD, g dia⁻¹), ganho de peso diário (GPD, g dia⁻¹) e conversão alimentar (CA, g g⁻¹) no interior de galpões climatizados, para a região Sudeste do Brasil, foram utilizados dados de t_{bs} , umidade relativa (UR) e pressão atmosférica (P_{atm}) do projeto denominado Reanalysis-2, do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e do National Center for Atmospheric Research (NCAR), para o período compreendido entre janeiro de 1980 e dezembro de 2001, em intervalos de uma hora. Optou-se pela utilização dos dados do NCEP/NCAR, por propiciarem boa cobertura espacial da região Sudeste do Brasil e seu entorno. Foi usada uma malha constituída por noventa

pontos, sendo dez pontos igualmente espaçados para a Longitude, variando de 37°30'00" a 54°22'30" O e nove pontos igualmente espaçados para a Latitude, variando de 12°22'6" a 27°37'7" S, extrapolando a região Sudeste e propiciando maior precisão na geração das iso-linhas.

Os valores horários de t_{bs} e UR ao longo do dia foram estimados com base na metodologia proposta por Zolnier (1996) e usada por Oliveira (2004) e Silva et al. (2005).

2.2 Simulação computacional

As estimativas do ambiente térmico e do desempenho produtivo dos frangos de corte ao longo do comprimento do galpão foram feitas para os 22 anos de dados climatológicos (1980–2001), em horários compreendidos entre 10:00 e 18:00 horas, para as 90 coordenadas. A escolha desse intervalo (8 horas) coincide com o período mais quente do dia, em que o funcionamento dos SREs é praticamente contínuo. Nas simulações, utilizou-se o programa computacional SisTúnel 1.0, descrito no capítulo 3. Para o cálculo da t_{bs} e da razão de mistura (W), em cada volume de controle (i), utilizaram-se as equações 1 e 5, respectivamente, desenvolvidas no capítulo 2. Para o cálculo do ITU, utilizou-se a equação 6, proposta por Thom (1959) e para o cálculo do CRD, GPD e CA, utilizaram-se as equações 7, 8 e 9, respectivamente, propostas por Medeiros (2001).

$$t_{bs,i} = \frac{q_{m,i} + q_{so,i} + q_{h,i} + q_{s,i} + A + B - (\beta_i \cdot \rho_{\text{água}} \cdot \dot{V}_{\text{água}} \cdot hfg_i)}{C} \quad (1)$$

sendo que,

$$A = \left(\sum_{j=1}^m U_{i,j} \cdot A_{i,j} + F_i \cdot P_i - 1006 \cdot \rho_{\text{inf},i} \cdot \dot{V}_{\text{inf},i} \right) \cdot t_{bs,o} \quad (2)$$

$$B = 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot t_{bs\ i-1} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot t_{PAD}) \quad (3)$$

$$C = \sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot A_{ij} + F_i \cdot P_i + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} - \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD}) \quad (4)$$

$$W_i = \frac{\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot W_{i-1} + \rho_{inf\ i} \cdot \dot{V}_{inf\ i} \cdot W_{inf\ i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot W_{PAD} + \beta_i \cdot \dot{m}_{\acute{a}gua\ i} + \dot{m}_{p\ i}}{\rho_{i-1} \cdot (\dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{inf\ i} + \dot{V}_{PAD})} \quad (5)$$

$$ITU_i = t_{bs\ i} + 0,36 \cdot t_{po\ i} + 41,5 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} CRD_i = & 28,963697 + 11,306258 \cdot t_{bs\ i} + 0,03095 \cdot UR_i - 6,89328 \cdot V_i - \\ & - 0,25476 \cdot t_{bs\ i}^2 + 0,002513 \cdot UR_i^2 + 1,3084 \cdot V_i^2 - \\ & - 0,01389 \cdot t_{bs\ i} \cdot UR_i + 0,24676 \cdot t_{bs\ i} \cdot V_i - 0,02579 \cdot UR_i \cdot V_i \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} GPD_i = & -92,717789 + 14,292936 \cdot t_{bs\ i} + 0,253649 \cdot UR_i - 9,515579 \cdot V_i - \\ & - 0,290314 \cdot t_{bs\ i}^2 + 0,001538 \cdot UR_i^2 + 0,974936 \cdot V_i^2 - \\ & - 0,016171 \cdot t_{bs\ i} \cdot UR_i + 0,294444 \cdot t_{bs\ i} \cdot V_i - 0,007407 \cdot UR_i \cdot V_i \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} CA_i = & 6,364195 - 0,379572 \cdot t_{bs\ i} - 0,00151 \cdot UR_i + 0,268889 \cdot V_i + \\ & + 0,00748 \cdot t_{bs\ i}^2 - 0,00004651 \cdot UR_i^2 - 0,049766 \cdot V_i^2 + \\ & + 0,00025 \cdot t_{bs\ i} \cdot UR_i - 0,00370 \cdot t_{bs\ i} \cdot V_i - 0,00026 \cdot UR_i \cdot V_i \end{aligned} \quad (9)$$

Quatro diferentes configurações de controle do ambiente de criação (tratamentos) de frangos de corte foram simuladas: a) apenas sistema de ventilação do tipo túnel de vento com pressão negativa – SVT (controle), b) SVT associado a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso

umedecido com 40% de eficiência de resfriamento (SVT_{PAD40}), c) SVT associado a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido com 70% de eficiência de resfriamento (SVT_{PAD70}) e d) SVT_{PAD70} associado a sistema de nebulização ($SVT_{PAD70+NEB}$). Além dos dados de t_{bs} , UR e P_{atm} , obtidos do banco de dados climatológicos, utilizaram-se também, como dados de entrada, outras variáveis, sendo as principais descritas a seguir: (a) galpão com dimensões de 125 x 12 x 2,5 m, dividido em 125 volumes de controle e com sistema de iluminação acionado durante 11 h dia⁻¹, (b) frangos de corte com massa corporal média igual a 2,4 kg, alojados na densidade de 14 aves m⁻², (c) coeficiente global de transferência de calor da cobertura igual a 0,233 W m⁻² °C⁻¹, (d) vazões de ar que infiltram na placa porosa umedecida e ao longo do galpão, principalmente através das cortinas, iguais a 70 m³ s⁻¹ e 3,5 m³ s⁻¹, respectivamente, e (e) vazão de água nebulizada no galpão igual a 420 L h⁻¹ (no caso do $SVT_{PAD70+NEB}$).

Nas simulações, adotou-se o seguinte manejo do SVT e SRE: aciona-se o SVT para valores de t_{bs} iguais ou superiores a 25°C, considerado limite superior da zona de conforto térmico para aves adultas (Curtis, 1983; Zulovich & Deshazer, 1990). Em condições nas quais o SVT não é capaz de manter a t_{bs} abaixo de 29°C, liga-se, então, o SRE (SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} , $SVT_{PAD70+NEB}$, dependendo da simulação executada), que permanece acionado enquanto a UR no interior do galpão apresenta valores inferiores a 80%, considerado limite máximo admissível de conforto às aves (Baião, 1995) e t_{bs} maior ou igual a 29°C. Para valores de UR maiores que 80% ou t_{bs} menor que 29°C, desliga-se o SRE, permanecendo apenas o SVT em atividade.

2.3 Zoneamento bioclimático

Para a geração dos mapas mensais de iso-ITU médio, CRD médio, GPD médio e CA média para SVT, reduções de ITU médio e CA média e aumentos

de GPD médio e CRD médio proporcionados pelo SVT_{PAD40}, SVT_{PAD70} e SVT_{PAD70+NEB} em relação ao SVT, para a região Sudeste do Brasil, utilizou-se o aplicativo Spring (Câmara et al., 1996) e o banco de dados b_atlas_access.exe do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis na página www.dpi.inpe.br/spring. A interpolação dos dados foi pelo método da média simples, para uma grade retangular de 5 x 5 km, estimando-se o valor da cota para cada ponto a partir da média simples dos oito pontos mais próximos.

Os dados dos ITUs mensais foram espacializados e distribuídos em quatro classes de acordo com os intervalos propostos por Thom (1959) em que ITU menor que 74 configura conforto térmico, entre 74 e 79 representa situação de alerta, entre 79 e 84 indica situação de perigo e acima de 84 configura situação de emergência. A finalização dos mapas gerados foi pelo módulo Scarta do aplicativo Spring.

Para a identificação das áreas classificadas, utilizou-se a subdivisão em mesorregiões (Figura 1) apresentada pelo IBGE (2006).

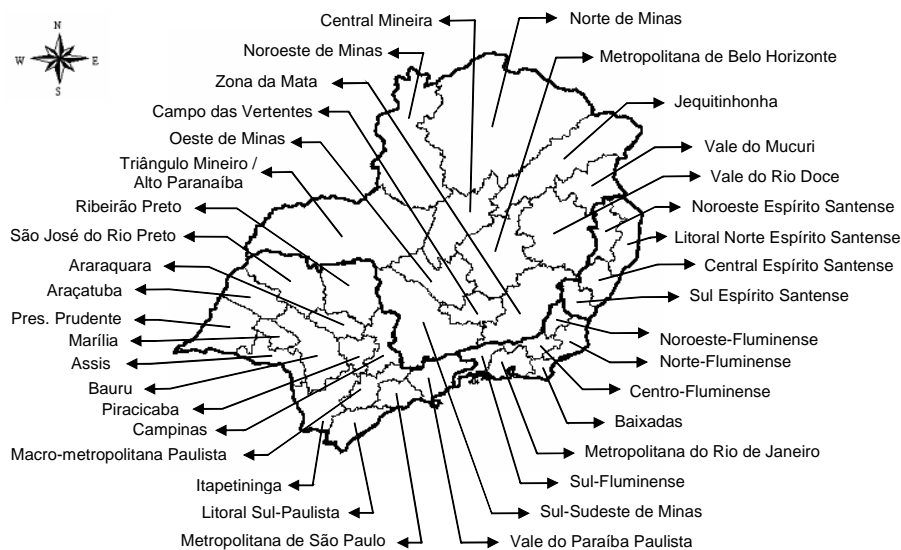


FIGURA 1 Distribuição das mesorregiões dos estados da região Sudeste do Brasil, adaptado do IBGE (2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ambiente térmico

Por meio da análise do ambiente térmico no interior do galpão, no horário entre 10:00 e 18:00 horas, verificou-se que o tratamento SVT apresentou valores médios de ITU dentro da faixa classificada como alerta aos produtores (Thom, 1959), ou seja, entre 74 e 79, para todos os meses do ano (Tabela 1). O uso de SRE associado ao SVT, em suas várias configurações (SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$), fez com que o ITU médio reduzisse de 0,2 a 1,9. O período mais crítico para a criação de frangos de corte ocorre entre os meses de outubro a março, concordando parcialmente com Oliveira (2004), que encontrou de dezembro a março. Oliveira (2004), no entanto, além de considerar apenas valores de t_{bs} e UR para o ambiente externo, utilizou dados de ITU ao longo do dia (24 horas) no cálculo das médias, obtendo, assim, valores inferiores aos

simulados neste trabalho. Silva et al. (2005) verificaram que o mês mais crítico é janeiro, porém, neste trabalho, os meses de janeiro e fevereiro apresentaram os maiores valores de ITU médio, $78,3\pm 0,7$ e $78,4\pm 0,6$, respectivamente.

O uso de SRE associado ao SVT mostrou-se mais eficiente nos meses quentes e secos, como setembro e outubro. Setembro foi o mês que apresentou as maiores reduções de ITU médio, $1,2\pm 0,8$, $1,8\pm 1,4$ e $1,9\pm 1,4$, para SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$, respectivamente. Estes resultados ocorreram devido à característica climática da região Sudeste que, no geral, apresenta verões quentes e úmidos, reduzindo o déficit de vapor de pressão e, conseqüentemente, limitando o potencial de evaporação de água (Yanagi Junior et al., 2002).

TABELA 1 Valores médios mensais de ITU, CRD (g dia⁻¹), GPD (g dia⁻¹) e CA (g g⁻¹), para o tratamento SVT e reduções de ITU e CA e aumentos de CRD e GPD, para os tratamentos SVT_{PAD40}, SVT_{PAD70} e SVT_{PAD70+NEB} em relação ao SVT, calculados para o período de 10:00 a 18:00 horas.

		Mês											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SVT	ITU	78,3±0,7	78,4±0,6	78,1±0,6	77,5±0,6	76,8±0,6	76,2±0,5	75,9±0,6	76,2±0,8	77,2±1,1	77,9±1,2	77,9±1,0	78,0±0,9
	CRD	133,8±2,9	133,8±2,2	134,6±2,0	135,9±1,6	137,0±1,5	137,9±1,3	138,0±1,7	136,4±3,4	133,6±5,2	132,3±5,4	133,3±4,3	133,9±3,7
	GPD	72,9±2,6	72,8±2,0	73,5±1,8	74,4±1,4	75,1±1,3	75,4±1,2	75,3±1,7	73,9±3,2	71,6±4,7	70,9±4,8	71,9±3,8	72,7±3,3
	CA	1,88±0,07	1,88±0,05	1,86±0,05	1,84±0,04	1,84±0,03	1,84±0,04	1,84±0,05	1,88±0,08	1,93±0,12	1,94±0,12	1,91±0,09	1,88±0,08
SVT-SVT _{PAD40}	ITU	0,5±0,5	0,4±0,5	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4	0,5±0,4	0,6±0,5	1,0±0,7	1,2±0,8	1,1±0,8	0,8±0,6	0,6±0,6
	CRD	1,9±2,1	1,7±2,0	1,5±1,7	1,3±1,3	1,4±1,2	1,5±1,2	1,9±1,7	3,3±2,8	4,7±3,6	4,5±3,3	3,4±2,6	2,5±2,3
	GPD	1,7±1,8	1,5±1,7	1,3±1,5	1,1±1,1	1,1±1,0	1,2±1,0	1,5±1,4	2,7±2,4	4,0±3,2	4,0±3,0	3,0±2,3	2,2±2,1
	CA	0,04±0,05	0,04±0,04	0,03±0,04	0,03±0,03	0,03±0,02	0,03±0,02	0,04±0,03	0,06±0,06	0,10±0,08	0,10±0,07	0,07±0,06	0,05±0,05
SVT-SVT _{PAD70}	ITU	0,5±0,6	0,4±0,6	0,3±0,5	0,2±0,4	0,3±0,4	0,4±0,5	0,9±0,8	1,6±1,3	1,8±1,4	1,5±1,1	1,0±0,8	0,6±0,7
	CRD	1,8±2,4	1,5±2,3	1,2±1,8	0,8±1,2	0,9±1,1	1,2±1,3	2,3±2,3	4,4±4,0	6,1±5,0	5,6±4,4	3,8±3,2	2,5±2,9
	GPD	1,5±2,1	1,3±1,9	1,0±1,5	0,7±1,0	0,7±0,9	0,9±1,0	1,6±1,7	3,4±3,2	4,9±4,2	4,7±3,8	3,2±2,8	2,2±2,5
	CA	0,04±0,05	0,03±0,05	0,02±0,04	0,02±0,02	0,02±0,02	0,02±0,02	0,04±0,04	0,08±0,08	0,12±0,10	0,11±0,09	0,08±0,07	0,05±0,06
SVT-SVT _{PAD70+NEB}	ITU	0,4±0,7	0,4±0,6	0,3±0,5	0,2±0,4	0,3±0,4	0,5±0,5	0,9±0,9	1,6±1,3	1,9±1,4	1,5±1,2	1,0±0,9	0,6±0,8
	CRD	1,7±2,4	1,4±2,3	1,2±1,9	0,8±1,2	0,9±1,2	1,2±1,4	2,3±2,3	4,5±4,1	6,1±5,0	5,5±4,4	3,7±3,2	2,4±2,9
	GPD	1,4±2,1	1,2±2,0	1,0±1,6	0,6±1,0	0,7±0,9	0,9±1,0	1,7±1,8	3,4±3,3	5,0±4,2	4,7±3,7	3,1±2,7	2,1±2,4
	CA	0,03±0,05	0,03±0,05	0,02±0,04	0,02±0,02	0,02±0,02	0,02±0,02	0,04±0,04	0,08±0,08	0,12±0,10	0,11±0,09	0,08±0,07	0,05±0,06

Os valores médios de ITU mostrados na Tabela 1 fornecem uma visão geral do comportamento sazonal do ITU para toda a região Sudeste. Entretanto, o comportamento espacial do ITU médio é melhor caracterizado por meio de mapas de iso-ITU e iso-redução de ITU, como ilustrado na Figura 2, para o mês de setembro. Os maiores proveitos dos SREs foram obtidos à medida que a localização do galpão se distanciou do litoral, partindo em direção ao continente no sentido noroeste. Parte das mesorregiões Norte e Noroeste de Minas foi a que apresentou os maiores potenciais de redução de ITU (de 3 a 4), seguida de partes das mesorregiões do Jequitinhonha, Central Mineira, Oeste e Sul-Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Campinas, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Piracicaba, Araraquara, Bauru, Araçatuba, Assis, Marília e Presidente Prudente, que apresentaram reduções um pouco menores (2 a 3). Parte das mesorregiões do Sul e Noroeste Espírito Santense, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Zona da Mata, Campo das Vertentes, Sul-Sudoeste de Minas, Macro-metropolitana Paulista, Litoral Sul-Paulista, Itapetininga, Vale do Paraíba Paulista e Sul-Fluminense apresentou reduções de ITU entre 1 e 2. Para as demais mesorregiões concentradas na maior parte dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo e a mesorregião Metropolitana de São Paulo, as reduções de ITU foram inferiores a 1.

Estes resultados concordam com as normais climatológicas publicadas pelo INMET (2006), para t_{bs} e UR no mês de setembro, entre 1931 a 1990 (Figura 3). Na Figura 3, observa-se que a parte mais quente e seca do Sudeste localiza-se na região Norte de Minas, tornando-a mais propícia ao uso de SREs, uma vez que a eficiência desses sistemas é diretamente proporcional ao déficit de pressão de vapor local. Ademais, partindo da premissa de que, para uma mesma temperatura, a eficiência dos SREs é maior à medida que a UR torna-se menor, conclui-se, pela Figura 3B, que a redução do ITU pelo uso de SREs

tende a ser maior à medida que se desloca do litoral, partindo em direção ao continente, no sentido noroeste.

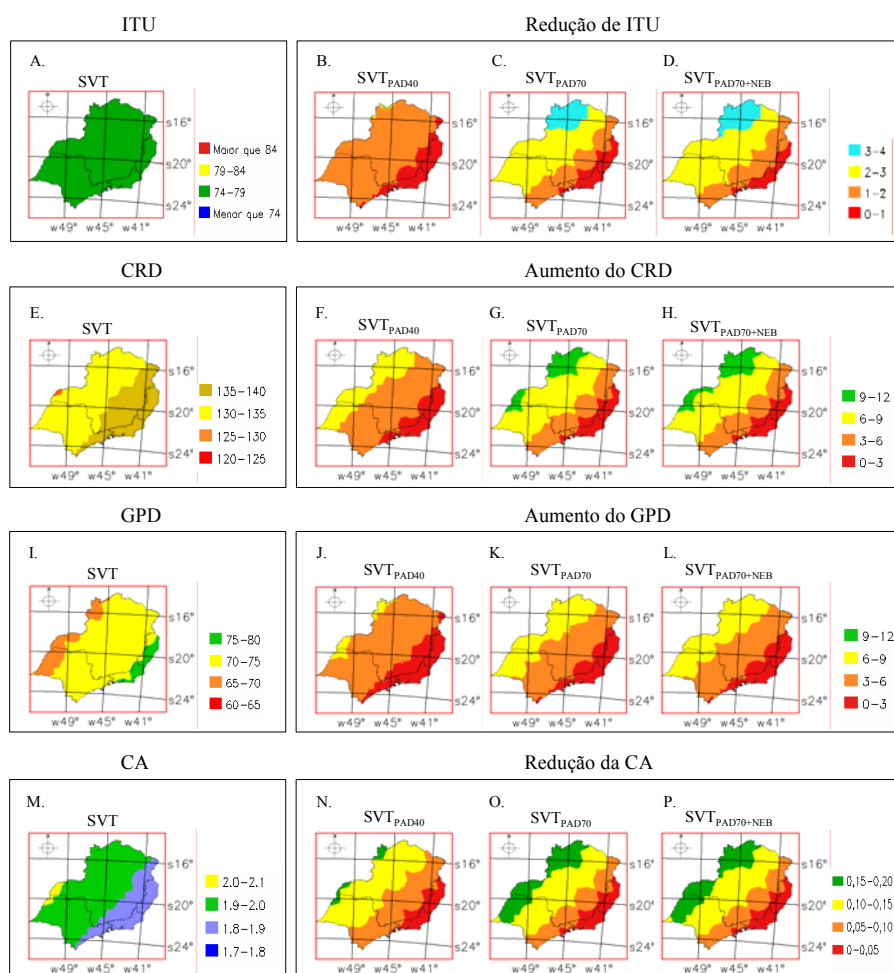
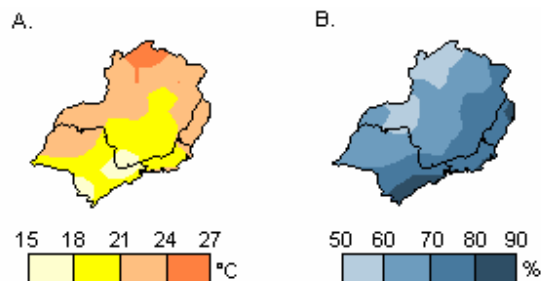


FIGURA 2 Distribuição espacial dos valores médios de ITU (A), CRD (E), GPD (I) e CA (M) no interior de galpões para criação de frangos de corte com ventilação em modo túnel (SVT); redução de ITU (B, C, D) e CA (N, O, P) e aumento de CRD (F, G, H) e GPD (J, K, L) para SVT associado a sistema de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido com 40% (SVT_{PAD40}) e 70% de eficiências (SVT_{PAD70}) e SVT_{PAD70} funcionando simultaneamente a sistema de nebulização ($SVT_{PAD70+NEB}$), para o mês de setembro na região Sudeste do Brasil.



Fonte: INMET 1931/1990

FIGURA 3 Comportamentos espaciais da temperatura do ar média (t_{bs} , °C) (A) e da umidade relativa média (UR, %) (B) para a região Sudeste do Brasil, no mês de setembro, adaptado de INMET (2006).

Os resultados mostrados neste trabalho diferem daqueles encontrados por Silva et al. (2005) que consideram a região costeira do Rio de Janeiro e do Espírito Santo e parte fronteira do Sudeste com a Bahia como sendo as regiões com as maiores reduções de ITU, ao contrário da região central do Sudeste que, segundo os autores, é a região de menor benefício ao se fazer uso de SREs.

Para os meses de setembro e outubro, os tratamentos SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$ foram classificados como melhores em relação a SVT_{PAD40} . No entanto, para o mês de abril, o contrário foi observado para uma pequena parte da mesorregião Norte de Minas, ou seja, SVT_{PAD40} sendo melhor que SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$. A explicação é que, para o período estudado, os tratamentos SVT_{PAD70} ou $SVT_{PAD70+NEB}$ foram desligados mais vezes que SVT_{PAD40} , devido ao manejo adotado nestes sistemas, que determina desligá-los caso a UR no interior do galpão ultrapasse 80%, uma vez que, nestas condições, são maiores as dificuldades das aves em perder calor latente (Curtis, 1983). Além disso, à medida que a UR aumenta, para uma mesma temperatura, reduz-se o déficit de pressão de vapor, reduzindo a capacidade do ar em absorver umidade.

Esses resultados devem-se também às características das simulações que se baseiam em modelo de transferência de calor e massa em regime permanente,

no qual a análise foi realizada para cada hora do período estudado (10:00 às 18:00 horas). A adoção da análise em regime transiente poderá modificar sensivelmente os resultados das simulações, tornando-as mais realísticas.

Apesar dos resultados mostrados na Tabela 1 representarem as médias encontradas para o ITU ao longo do ano, na região Sudeste. Desempenhos melhores ou piores dos SREs podem ser observados ao se estudar o comportamento anual do ITU para locais específicos (Figura 4). Enquanto que, para um local situado no Norte de Minas (Figura 4A), podem-se obter reduções de ITU de até 2,0, 3,3 e 3,4 para SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$, respectivamente, em outro local situado na mesorregião Norte-Fluminense (Figura 4E), considerada quente e úmida, as reduções são inferiores a 0,1 para as três configurações de SRE. Valores intermediários de redução de ITU são observados para outros pontos localizados nas mesorregiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Metropolitana de São Paulo e Metropolitana de Belo Horizonte.

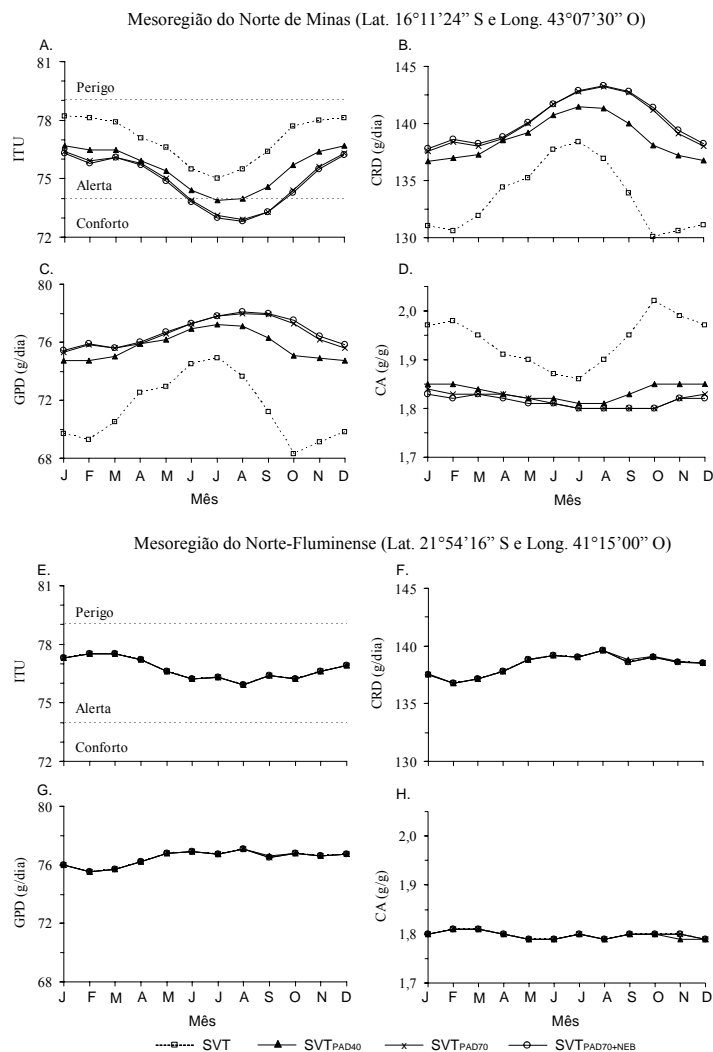


FIGURA 4 Valores médios de ITU, CRD, GPD e CA estimados para os tratamentos SVT, SVT_{PAD40}, SVT_{PAD70} e SVT_{PAD70+NEB} para dois pontos localizados em algumas mesoregiões dos estados da região Sudeste do Brasil, para o período compreendido entre 1980 e 2001.

A análise do ambiente térmico pode ser ainda mais específica ao se analisar um galpão específico em determinada localidade (Figura 5). Pela Figura 5A, pode-se observar que os melhores ambientes térmicos são obtidos pelo uso

do $SVT_{PAD70+NEB}$, SVT_{PAD70} , SVT_{NEB} e SVT , nessa ordem. Neste estudo de caso, pode-se verificar que enquanto no sistema $SVT_{PAD70+NEB}$, 51% do galpão está em condições de conforto térmico ($ITU < 74$ e $50 \leq UR \leq 70$), nos demais, SVT_{PAD70} , SVT_{NEB} e SVT as porcentagens foram de 43, 0 e 0, respectivamente (Figura 6).

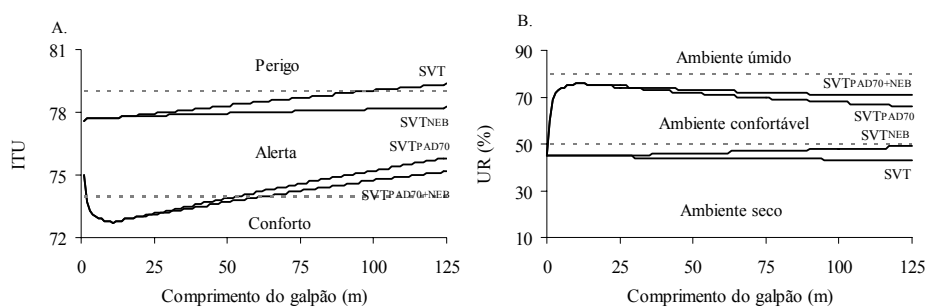


FIGURA 5 Comportamentos do ITU (A) e da UR (B), ao longo do comprimento do galpão, para os tratamentos SVT , SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$.

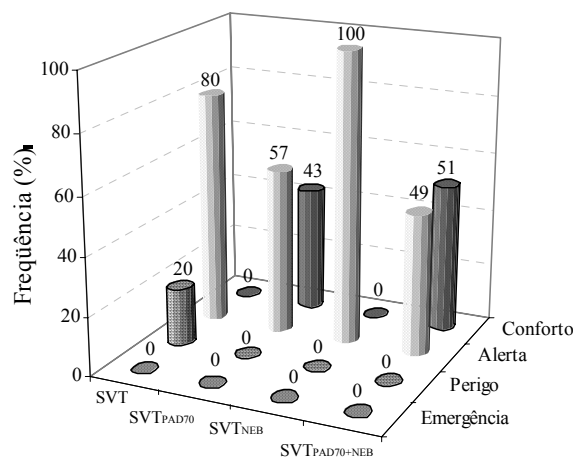


FIGURA 6 Frequência de ITU nas faixas: conforto, alerta, perigo e emergência, no interior do galpão para os tratamentos SVT , SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$.

3.2 Desempenho produtivo das aves

Os comportamentos mensais do CRD, GPD e CA médios para SVT e seus respectivos aumentos (CRD e GPD) e redução (CA), em função dos três diferentes configurações dos SREs simulados (SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$), para a região Sudeste, são mostrados na Tabela 1. Observa-se que, com uso do SVT, as aves apresentaram desempenhos pouco variáveis, sendo melhores nos meses com temperaturas mais amenas (abril a julho). Para o período de verão, os valores médios simulados foram de 133,8 a 134,6 g dia⁻¹ para o CRD, 72,7 a 73,5 g dia⁻¹ para GPD e 1,86 a 1,88 g g⁻¹ para CA.

Ao adotar os SREs, o ambiente térmico no interior do galpão tornou-se mais confortável e, assim, as aves responderam com aumento do CRD que, combinado com menor gasto de energia para dissipar calor, contribuiu para o aumento do GPD e redução da CA, ou seja, melhoraram seu desempenho. Os meses de setembro e outubro, novamente, foram aqueles responsáveis pelos maiores benefícios do uso de SREs. Em setembro, as aves apresentaram aumento do CRD de 4,7±3,6 g dia⁻¹, 6,1±5,0 g dia⁻¹ e 6,1±5,0 g dia⁻¹, aumento do GPD de 4,0±3,2 g dia⁻¹, 4,9±4,2 g dia⁻¹ e 5,0±4,2 g dia⁻¹ e redução da CA de 0,10±0,08 g g⁻¹, 0,12±0,10 g g⁻¹ e 0,12±0,10 g g⁻¹ para SVT_{PAD40} , SVT_{PAD70} e $SVT_{PAD70+NEB}$, respectivamente.

Nos meses de março a junho, observou-se que, no geral, o desempenho médio das aves foi melhor para as simulações usando o tratamento SVT_{PAD40} . A explicação, conforme descrito no item 3.1, é que, para o período estudado, os tratamentos SVT_{PAD70} ou $SVT_{PAD70+NEB}$ foram desligados mais vezes que SVT_{PAD40} , devido ao manejo adotado nestes sistemas, que determina desligá-los, caso a UR no interior do galpão ultrapasse a 80%.

Pela Figura 2, observa-se que o SRE foi mais bem aproveitado em partes das mesorregiões Norte e Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, São José do Rio Preto e Araçatuba, com aumentos de CRD e GPD e reduções de

CA que chegaram a 9 a 12 g dia⁻¹, 6 a 9 g dia⁻¹ e 0,15 a 0,20 g g⁻¹, respectivamente. Para a maioria das mesorregiões dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, mesorregião Metropolitana de São Paulo e parte das mesorregiões divisoras de Minas Gerais com os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, pouco benefício trouxe o uso dos SREs, sendo encontradas reduções de CA de 0 a 0,05 g g⁻¹ e aumentos de CRD e GPD de 0 a 3 g dia⁻¹. Similarmente ao ITU, os efeitos benéficos do uso dos SREs, em relação ao desempenho das aves, aumentam à medida em que se desloca do litoral para continente no sentido noroeste.

Na Figura 4, os maiores aumentos do CRD e GPD e reduções de CA, proporcionados pelo uso dos SREs em relação ao SVT, foram de 11,3 g dia⁻¹, 9,2 g dia⁻¹ e 0,22 g g⁻¹, respectivamente, para um local específico na mesorregião Norte de Minas. Isso mostra que a referida região possui os melhores potenciais de aumento do desempenho das aves, comparado as demais mesorregiões dos estados do Sudeste. Por outro lado, o uso de SREs em galpões localizados na mesorregião Norte-Fluminense auxilia pouco o desempenho das aves.

4 CONCLUSÕES

Por meio do zoneamento bioclimático da região Sudeste do Brasil, foi possível avaliar o ambiente térmico e o desempenho de frangos de corte no interior de galpões climatizados, com diferentes eficiências de sistema de resfriamento evaporativo e concluir que: (a) somente o uso da ventilação não foi suficiente para garantir conforto térmico às aves no período estudado, para as horas mais quentes do dia; (b) altas temperaturas, associadas a altas umidades que ocorrem nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e parte do litoral paulista, são limitantes ao uso de sistemas de resfriamento evaporativo; (c) exceto para a maioria das mesorregiões dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, parte do Litoral Sul-Paulista, Zona da Mata e Vale do Rio Doce; os

meses de setembro e outubro, considerados quentes e secos, foram aqueles com os maiores potenciais de redução de ITU, refletindo beneficentemente sobre o desempenho das aves; (d) as mesorregiões mais beneficiadas com o uso de resfriamento evaporativo são parte do Norte e Noroeste de Minas, do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, São José do Rio Preto e Araçatuba; (e) durante os meses mais quentes e menos úmidos, o sistema de resfriamento evaporativo com eficiência de 70% (SVT_{PAD70}) apresentou melhor desempenho que aquele com 40% (SVT_{PAD40}), indicando a importância do manejo adequado deste sistema e a escolha do tipo de material poroso a ser usado na placa, e (f) o uso do sistema $SVT_{PAD70+NEB}$ é recomendado para a região Sudeste do Brasil, por proporcionar melhores condições de conforto às aves.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq, pelo financiamento do projeto e pela concessão de uma bolsa de mestrado e PIBIC, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas, SP; FACTA, 1995. p. 67-75.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". **Computers & Graphics**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 395-403, May/June 1996.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; GASPARINO, E.; CAMPOS, A. T. Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1575-1581, Oct. 2002.

CORRIA, M. E.; NÄÄS, I. A. Adapting tunnel ventilation for high density broiler production – a case study. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001. p. 461-467.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

FONSECA, J. M. da. **Efeito da densidade de alojamento sobre o desempenho de frangos de corte criados em sistemas de nebulização e ventilação em túnel**. 1998. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GATES, R. S.; ZHANG, H.; COLLIVER, D. G.; OVERHULTS D. G. Regional variation in temperature index for poultry housing. St. Joseph: **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 1, p. 197-205, Jan./Feb. 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mesorregiões**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 17 jul. 2006.

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

OLIVEIRA, L. M. F. **Efeitos climáticos no conforto térmico animal e humano**. 2004. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SARTOR, V.; BAÊTA, F. C.; LUZ, M. L.; ORLANDO, R. C. Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 17-20, jan./mar. 2001.

SCHMID, A. L. Refletindo sobre o calor. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, v. 88, n. 1057, p. 18-23, ago. 1998.

SEVERO, J. C. A.; YANAGI JUNIOR, T.; SANTOS, S. N. M.; SILVA, J. P.; BORGES, G.; TEIXEIRA, V. H. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico no interior de galpões agropecuários. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 59-72, 2003.

SILVA, M. P.; BAÊTA F. C.; TINÔCO I. F. F.; ZOLNIER S.; RIBEIRO A. . Evaluation of the evaporative cooling usage potential for the southeast region of Brazil with a simplified model for the estimation of the energy balance in sheds for broiler chickens. In: **LIVESTOCK ENVIRONMENT**, 7., 2005, Beijing. **Proceedings...** Beijing, China: ASABE, 2005. p. 143-150.

STOWELL, R. R.; GOOCH, C. A.; INGLIS, S. Performance of tunnel ventilation for freestall dairy facilities as compared to natural ventilation with supplemental cooling fans. In: **INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM**, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001. p. 29-40.

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

TINÔCO, I. F. F. **Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta, sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono.** 1996. 169 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SANTOS, R. C.; SILVA, J. N.; PUGLIESI, N. L. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2004.

TURCO, S. H. N.; SILVA, T. G. F.; SANTOS, L. F. C.; RIBEIRO, P. H. B.; ARAÚJO, G. G. L.; HOLANDA JR., E. V.; AGUIAR, M. A. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 20-27, jan./abr. 2006.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S. Optimization of partial surface wetting to cool caged laying hens. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 45, n. 4, p. 1091-1100, July/Aug. 2002.

ZANOLLA, N.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; CECON, P. R.; MORAES, S. R. P. Sistemas de ventilação em túnel e lateral na criação de frangos de corte com alta densidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 361-366, set./dez. 1999.

ZOLNIER, S. Avaliação de modelos para estimativa dos valores médios horários do índice de temperatura e umidade. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 5, n. 16, p. 1-17, jun./1996.

ZULOVICH, J. M.; DESHAZER, J. A. **Estimative egg production declines at high environmental temperatures and humidities.** St. Joseph: ASAE, 1990. (ASAE Paper No. 904021).