

**PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE TEMPERATURA
DO GLOBO NEGRO E UMIDADE (ITGU) EM
GALPÕES CLIMATIZADOS PARA AVES DE
CORTE**

RAPHAELA CHRISTINA COSTA GOMES

2009

RAPHAELA CHRISTINA COSTA GOMES

**PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO E
UMIDADE (ITGU) EM GALPÕES CLIMATIZADOS PARA AVES DE
CORTE**

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

Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Co-Orientadores

Pesq. Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

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

Gomes, Raphaela Christina Costa.

Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) em galpões climatizados para aves de corte / Raphaela Christina Costa Gomes. – Lavras : UFLA, 2009.

76 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Conforto térmico. 2. Frango de corte. 3. Modelagem. 4. Mudanças climáticas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.0831

RAPHAELA CHRISTINA COSTA GOMES

**PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO E
UMIDADE (ITGU) EM GALPÕES CLIMATIZADOS PARA AVES DE
CORTE**

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

APROVADA em 13 de fevereiro de 2009

Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima	UFLA
Pesq. Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi	UFLA
Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira	UFLA
Profa. Dra. Cecília de Fátima Souza	UFV

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

Ao meu pessoal: pais, familiares, colegas, orientadores, amigos, companheiro e à incansável luz que reina sobre mim,

OFEREÇO

A dor da saudade faz com que pensemos em inúmeras pessoas que deixam de fazer parte de nosso dia a dia, e, que com certeza, seus nomes deveriam estar nesta página. Nada no mundo compensa a separação, nada no mundo compensa a ausência do sorriso de quem se ama. Dedico este trabalho aos meus queridos pais, irmã, familiares e amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, exemplo e proteção.

Aos meus pais, Pedro e Alba, pelo carinho, amizade e por financiar meus estudos e sonhos e a minha irmã Pollyana Kellen, pela paciência nestes anos de dedicação e ausência.

Ao meu namorado, amigo e companheiro, Flávio Faria de Souza. Seu carinho, amor, apoio e compreensão permaneceram comigo ao longo deste trabalho e continuarão para as muitas outras etapas que caminharemos juntos.

A meus avôs Joaquim Paisano (*in memoriam*) e Geralda Cândida, Heleno Bezerra e Maria Nilza Barros, por serem exemplos de luta e de vitória e a familiares que sempre me apoiaram e me deram força para seguir adiante.

Ao Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior pela orientação, amizade, dedicação, paciência e confiança.

À Profa. Dra. Sandra Regina Pires de Moraes, pela colaboração e incentivo, estando sempre prontamente disponível.

Ao Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima, pelo apoio e coorientação.

A Adriana Garcia do Amaral, companheira de faculdade, estágios, projetos, dificuldades e casa.

Aos indescritíveis amigos que encontrei nessa difícil, mas decisiva caminhada e que, mesmo distantes, não deixaram de fazer parte da minha vida e que me deram coragem para continuar.

Aos amigos do grupo de pesquisa: Adriana, Flávio, Luciano, Hellen, Leandro, Leonardo, Alisson e Gleice, pelo companheirismo demonstrado continuamente.

A Flávio Alves Damasceno, pela condução conjunta do experimento.

A Valcimar Ferreira Carvalho, pelo constante apoio e completa responsabilidade pela finalização do projeto.

A Maria Inês da Cunha, proprietária da Granja Criativa e, em especial, ao seu irmão, Paulo e esposa e ao funcionário Divino, pela hospedagem e ajuda na condução do experimento.

Ao Roberto Moraes J. Filho, Gerente Integração e Ração da Super Frango, pelo apoio oferecido na condução do experimento.

À banca examinadora, composta pelos doutores Vitor Hugo Teixeira, Silvia de Nazaré Monteiro Yanagi, Renato Ribeiro de Lima e Cecília de Fátima Souza, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Engenharia, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior, Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, Fapemig, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Aos amigos conquistados nesta cidade durante o período aqui vivido, Nat, Jam, Ana, Bá, Jaumzim, Gi, Willian e a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, prestaram auxílio e não foram citados neste trabalho, não por esquecimento, mas por falta de espaço e tempo. Sem vocês nada teria sido possível.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

RAPHAELA CHRISTINA COSTA GOMES, filha de Pedro Batista Gomes e Alba Valéria Costa Bezerra Gomes, nasceu na cidade de Anápolis, GO, em 17 de janeiro de 1985, onde se formou em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás (UEG/UnUCet), em agosto de 2007. Durante a graduação, trabalhou com pesquisa na área de Construções e Ambiência, sendo bolsista de iniciação científica pelo PIBIC/UEG. Em agosto de 2007, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA/DEA), concentrando seus estudos na área de Construções e Ambiência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Ambiente térmico	4
3.2 Elementos climáticos	5
3.2.1 Temperatura	5
3.2.2 Umidade relativa	7
3.2.3 Velocidade do ar	8
3.2.4 Temperatura de ponto de orvalho	9
3.2.5 Zona de conforto térmico	10
3.3 Índices térmicos ambientais	10
3.3.1 Índice de temperatura e umidade	10
3.3.2 Índice de temperatura, umidade e velocidade	11
3.3.3 Índice de temperatura do globo negro e umidade	12
3.3.4 Carga térmica de radiação	14
3.4 Estimativa da irradiação solar sobre a cobertura	19
3.5 Modelagem do ambiente térmico em galpões avícolas	24
3.5.1 Caracterização	24
3.6 Sistemas de criação de frangos de corte	25
3.7 Mudanças climáticas	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Dados experimentais	29
4.1.1 Caracterização dos galpões	29
4.1.2 Instrumentação	30
4.2 Modelo para predição do ITGU no interior de galpões avícolas climatizados	32
4.3 Ajuste dos modelos empíricos	34
4.4 Validação do modelo para predição do ITGU	36
4.5 Simulações computacionais para o município de Goiânia – GO	36
4.5.1 Cenário atual	36
4.5.2 Cenários futuros	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39

5.1 Modelo matemático para predição do ITGU no interior de galpões climatizados	39
5.2 Ajuste dos modelos empíricos para a estimativa das temperaturas superficiais das diversas regiões em torno do globo negro.....	39
5.3 Validação do modelo	44
5.4 Simulações computacionais	45
5.4.1 Simulação computacional do modelo	45
5.4.2 Efeito das mudanças climáticas sobre a produção de frangos de corte no município de Goiânia, GO	49
6 CONCLUSÕES	63
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
8 ANEXOS	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Regiões de um galpão aberto que trocam calor com o globo negro.....	15
FIGURA 2.	Regiões de uma pequena esfera e uma superfície retangular para o cálculo do fator forma.....	16
FIGURA 3.	Galpões utilizados para a coleta dos dados para a validação do modelo: (a) placas de resfriamento evaporativo composto por celulose e (b) de sombrite molhado por nebulizadores.....	30
FIGURA 4.	Esquema ilustrativo das regiões do galpão delimitadas para a obtenção dos dados de temperatura e umidade interna.....	31
FIGURA 5.	Regiões de um galpão climatizado com forro (a) e sem forro (b), que trocam calor com o globo negro.....	33
FIGURA 6.	Esquema ilustrativo das seis seções determinadas ao longo do galpão.....	34
FIGURA 7.	Esquema ilustrativo das três seções determinadas ao longo do galpão.....	35
FIGURA 8.	ITGUs observados e estimados pelo modelo.....	45
FIGURA 9.	Representação do (a) comportamento do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) ao longo de um galpão climatizado, equipado com ventilação em modo túnel negativo e sistemas de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e nebulização, com a respectiva (b) classificação de conforto (azul: conforto térmico e vermelho: desconforto por calor) e (c) percentagem da área do galpão classificadas nos limites propostos por Medeiros et al. (2005).....	48
FIGURA 10.	Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de janeiro, fevereiro e março, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.....	50
FIGURA 11.	Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de abril a junho, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.....	52

FIGURA 12. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	53
FIGURA 13. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	55
FIGURA 14. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de janeiro, fevereiro e março, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	57
FIGURA 15. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de abril, maio e junho, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	58
FIGURA 16. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	60
FIGURA 17. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de outubro, novembro e dezembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Normais climatológicas do período de 1961-1990, para o município de Goiânia, GO.....	37
TABELA 2. Projeção do aumento da temperatura do ar (°C) devido ao aquecimento global da superfície no final do século XXI.....	38
TABELA 3. Erro absoluto médio e desvio padrão para os valores das temperaturas das superfícies observadas e as estimadas pelas equações ajustadas.....	44

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

b	Absortividade da superfície da cobertura para a irradiação solar (adimensional)
$\cos^2\left(\frac{i}{2}\right)$	Fração de céu vista da superfície da cobertura do galpão
\bar{D}	Distância média entre a Terra e o sol
D	Distância instantânea entre a Terra e o sol
DJ	Dia juliano
d	Parâmetro adimensional de poeiras
θ	Ângulo de incidência dos raios solares diretos, ou seja, ângulo entre os referidos raios e a normal à superfície inclinada (radianos)
es	Pressão de saturação de vapor d'água (mbar)
F_i	Fator forma de cada seção da vizinhança do globo (adimensional)
h	Ângulo horário (radianos)
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção ($W m^{-2} ^\circ C^{-1}$)
H	Hora do dia (horas)
i	Ângulo de inclinação da superfície (radianos)
I_d	Irradiância solar difusa sobre uma superfície horizontal, no nível do solo (Wm^{-2})
I	Irradiância solar sobre a cobertura do galpão (Wm^{-2})
I_0	Irradiância solar direta sobre uma superfície normal aos raios solares no solo (Wm^{-2})
L	Espessura do material da cobertura (m)
K	Condutividade térmica do material da cobertura ($Wm^{-1}K^{-1}$)
m	Massa óptica absoluta de ar
n	Número de seções da vizinhança do globo
p	Pressão atmosférica (mbar)

p_w	Pressão atual de vapor (mbar)
q_c	Troca de calor por convecção ($W m^{-2}$)
q_r	Troca de calor por radiação ($W m^{-2}$)
S	Constante solar ($1353 Wm^{-2}$)
t	Tempo (horas)
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco do ar (K)
t_{bs}	Temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}C$)
$t_{bs,ext}$	Temperatura de bulbo seco do ar externa ($^{\circ}C$)
$t_{bs,int}$	Temperatura de bulbo seco do ar interna ($^{\circ}C$)
t_{bu}	Temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}C$)
$T_{c\acute{e}u}$	Temperatura de céu frio (K)
T_{gn}	Temperatura de globo negro (K)
t_{gn}	Temperatura de globo negro ($^{\circ}C$)
T_{hor}	Temperatura de horizonte (K)
T_i	Temperatura de cada seção da vizinhança do globo (K)
T_m	Temperatura média radiante (K)
T_{pns}	Temperatura de piso não sombreado (K)
T_{ps}	Temperatura de piso sombreado (K)
T_{po}	Temperatura de ponto de orvalho (K)
t_{po}	Temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}C$)
$t_{s,cl}$	Temperatura superficial da cabeceira leste ($^{\circ}C$)
$t_{s,cn}$	Temperatura superficial da cortina norte ($^{\circ}C$)
$t_{s,co}$	Temperatura superficial da cabeceira oeste ($^{\circ}C$)
$t_{s,cs}$	Temperatura superficial da cortina sul ($^{\circ}C$)
$t_{s,forro}$	Temperatura superficial do forro ($^{\circ}C$)
T_{si}	Temperatura da superfície interna do telhado (K)
$t_{s,p}$	Temperatura superficial das aves ($^{\circ}C$)
UR	Umidade relativa (%)

UR_{ext}	Umidade relativa externa (%)
UR_{int}	Umidade relativa interna (%)
v	Velocidade do ar ($m\ s^{-1}$)
v_{ext}	Velocidade do ar externa ($m\ s^{-1}$)
v_{int}	Velocidade do ar interna ($m\ s^{-1}$)
Z	Ângulo zenital do sol (radianos)
W	Quantidade de água precipitável na atmosfera na direção zenital (mm)
α	Albedo da superfície (decimal)
β	Parâmetro, percentagem de área ocupada pelas aves (%)
δ	Declinação solar (graus)
ε	Emissividade da superfície do globo (0,95)
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$)
τ	Transmitância atmosférica
ϕ	Latitude local
Ψ	Azimute do sol (radianos)
ψ'	Azimute da superfície (radianos)

RESUMO

GOMES, Raphaela Christina Costa. **Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) em galpões climatizados para aves de corte**. 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG *

Objetivou-se, com a realização do presente trabalho, obter e validar um modelo para predição do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no interior de galpões climatizados e analisar o efeito das variações climáticas sobre o ambiente de produção por meio de cenários futuros (2050 e 2100), comparados ao atual (1961-1990). Os dados experimentais, utilizados para o ajuste do modelo matemático e computacional e aqueles empregados para a validação foram coletados em dois galpões avícolas climatizados, equipados com sistema de ventilação em modo túnel negativo e sistemas de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e ou nebulização, localizados no município de Itaberaí, GO. Os resultados indicaram que o modelo adaptado é uma metodologia aplicável e promissora no auxílio ao projeto e manejo do sistema, bem como para estudos de cenários futuros. No geral, verificou-se que a tendência de aumento das temperaturas do ar terrestre ocasionará aumento do desconforto térmico no interior dos galpões, gerando condições inadequadas à produção e indicando a incapacidade dos sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo atuais em atender aos pré-requisitos mínimos de bem-estar animal.

Palavras chave: conforto térmico, avicultura, modelagem, mudanças climáticas

* Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior – UFLA (Orientador), Pesq. Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi – UFLA, Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima – DEX/UFLA.

ABSTRACT

GOMES, Raphaela Christina Costa. **Prediction of black globe humidity index (BGHI) in climatized broilers houses.** 2009. 76p. Dissertation (Master Program in Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.*

The objective of this work was to obtain and validate a model to predict black globe humidity index (BGHI) inside climatized houses, and analyzing the effect of global warming on the thermal environment of production through the comparison between future (2050 - 2100) and current (1961 - 1990) scenarios. The data used for adjustment of mathematical and computational models, as well used for validation were collected in two climatized poultry houses located at Itaberai, Goiás, Brazil. The mentioned poultry houses were equipped with negative tunnel ventilation system and pad cooling and or misting systems. The adjusted model showed up suitable to design and management of the system, characterizing a promising methodology for studies of future scenarios. The global warming caused an increase of thermal discomfort inside the facilities, creating unsuitable production conditions and indicating the inability of evaporative cooling and ventilation systems to reach the minimum pre-requirements of animal well-being.

Key words: thermal comfort, poultry, modeling, climate change.

* Guidance Committee: Tadayuki Yanagi Junior – UFLA (Major Professor), Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi – UFLA, Renato Ribeiro de Lima – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de carne de frango, segundo o *United States Department of Agriculture (USDA)*, registrou, em 2007, um aumento de 6,2%, passando de 64 para 68 milhões de toneladas. A produção brasileira no mesmo ano foi de 10,2 milhões de toneladas, resultado que manteve o país em terceiro lugar entre os maiores produtores mundiais, atrás somente de Estados Unidos e China (ABEF, 2007).

Apesar do crescimento da avicultura, verifica-se que, em climas tropicais e subtropicais, os altos valores da temperatura e da umidade relativa do ar, principalmente na primavera e no verão, geram condições de desconforto térmico quase permanente às aves, inibindo o seu desempenho produtivo e constituindo um dos principais problemas que afetam a sua criação (Fonseca, 1998).

Como estratégia para adequar o ambiente térmico no interior do galpão às exigências das aves, a climatização é uma saída eficiente, proporcionando certa independência do ambiente externo. São considerados, portanto, sistemas de climatização, aqueles que utilizam equipamentos de ventilação, exaustão, nebulização e painéis de resfriamento adiabático. Atingir o conforto térmico no interior dessas instalações avícolas, em face das condições climáticas inadequadas, torna-se uma dificuldade, uma vez que situações extremas de calor ou frio afetam consideravelmente a produção (Nääs et al., 2001).

As mudanças e as variações climáticas representam um desafio em manter a produção animal, visto que as aves, animais homeotérmicos, são sensíveis a pequenas alterações na temperatura do ambiente, respondendo de forma negativa em termos de desempenho produtivo.

Os vários cenários de mudanças climáticas para o país, em função dos diversos cenários de emissões de gases do efeito estufa (GEE, principalmente o

dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) para os próximos 100 anos, indicam a possibilidade de impactos climáticos significativos. No cenário de crescimento das emissões dos gases de efeito estufa, os modelos climáticos computacionais sugerem que poderá ocorrer aquecimento de 4° a 6°C em partes do país (principalmente na Amazônia), ao final do século XXI (Nobre, 2001).

Segundo o último relatório do IPCC (2007), além da Amazônia, outras regiões do Brasil também seriam afetadas e alguns modelos climáticos indicam mudanças climáticas durante os próximos 50 a 100 anos com aumento de precipitação nos litorais do Ártico, norte da Argentina, sul do Brasil e partes da China. Para a região Centro-Oeste do Brasil, há uma previsão de maiores eventos de chuva e seca, altas taxas de evaporação e veranicos com ondas de calor.

Para se avaliar e classificar as condições de bem-estar de frangos de corte torna-se imperativo o uso de índices de conforto térmico. Dentre os diversos índices propostos, o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) é o mais adequado para as condições de produção brasileiras por incorporar os efeitos da umidade, do escoamento do ar, da temperatura do bulbo seco e da radiação, em um único valor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi obter e validar um modelo matemático para a predição do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), em galpões climatizados equipados com ventilação em modo túnel, para a criação de frangos de corte.

2.2 Objetivos específicos

Especificamente, os objetivos foram:

- obter um modelo para a predição do ITGU em galpões climatizados para a produção de frangos de corte;
- avaliar a distribuição do ITGU em um galpão climatizado para a criação de frangos de corte;
- validar o modelo matemático com base em dados medidos no interior do galpão;
- simular cenários de distribuição do ITGU para o período atual e para o futuro, considerando a tendência para o município de Goiânia, GO.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Ambiente térmico

Como os galpões avícolas brasileiros possuem, no geral, baixo isolamento térmico, as amplitudes críticas de temperatura e umidade externas são imediatamente transferidas para o interior dos galpões, podendo provocar altos índices de mortalidade (Nacas et al., 1995).

Considerando-se que a temperatura interna das aves oscila entre 40° e 41°C, a temperatura ambiente indicada para frango de corte, poedeiras e matrizes, segundo Ferreira (2005), poderá oscilar entre 15° e 28°C. Nos primeiros dias de vida, a temperatura deve ficar entre 33° a 34°C, dependendo da umidade relativa do ar, que pode variar de 40% a 80%.

De acordo com Ferreira (2005), aves adultas apresentam melhor produção quando estão em ambientes com umidade relativa na faixa de 40% a 70%. Segundo Donald (1998), em ambientes com 26,7°C e umidade relativa de 60%, aves completamente emplumadas estão próximas ao limite superior de sua zona de conforto, ou seja, não estão estressadas pelo calor. Porém, ambientes com a mesma temperatura e umidade relativa do ar superior a 80% se tornam desconfortáveis, prejudicando o desempenho.

A ventilação tem papel importante na renovação do ar no interior de galpões avícolas. No entanto, essa taxa de renovação, muitas vezes, é insuficiente para renovar o ar interno que pode conter excesso de umidade e concentrações inadequadas de gases e poeira danosos à saúde do animal.

3.2 Elementos climáticos

Para o aprimoramento da produção avícola em países tropicais, como o Brasil, é necessário aperfeiçoar os galpões avícolas. Em regiões de clima tropical e subtropical, os elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar encontram-se entre os principais elementos que interferem negativamente esta atividade (Tinôco, 1998).

De acordo com Rivero (1986), os elementos ambientais considerados mais importantes são: temperatura, umidade, movimento do ar e radiação térmica, e o conforto térmico de um indivíduo pode ser alcançado quando as condições do meio permitirem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão.

3.2.1 Temperatura

Temperatura, uma palavra derivada do latim, é reconhecida cognitivamente como o nível de calor que existe no ambiente, resultante, por exemplo, da ação dos raios solares ou nível de calor existente num corpo. Ela é explicada pela física como a grandeza termodinâmica intensiva comum a todos os corpos que estão em equilíbrio térmico (Pécora & Silva, 2005).

A temperatura é o principal elemento climático condicionante para o conforto térmico e o funcionamento geral dos processos fisiológicos, por envolver a superfície corporal dos animais, afetando diretamente a velocidade das reações que ocorrem no organismo e influenciando a produção animal (Oliveira, 2004).

Devido à sua fácil obtenção e uso, a temperatura ambiente destaca-se como um indicador das condições térmicas ambientais, além de, por meio do conhecimento de suas médias em uma dada região, servir de base para

determinar as características da região que se afastam das condições de conforto (Jentzsch, 2002).

A faixa de temperatura ou de conforto para melhor desempenho de frangos de corte adultos foi estudada por Milligan & Winn (1964). Com base no ganho de peso, na conversão alimentar, na pigmentação e no empenamento de frangos de corte, estes autores encontraram uma faixa de temperatura ótima entre 15,5° a 26,5°C.

A temperatura ambiente pode ser considerada o fator físico de maior efeito no desempenho de frangos de corte, já que exerce grande influência no consumo de ração (Cerniglia et al., 1983; Teeter et al., 1984) e, com isso, afeta diretamente o ganho de peso e a conversão alimentar. Durante o estresse por calor há uma redução na eficiência dos alimentos. Essa redução pode também ser devida à digestibilidade alimentar mais baixa, a primeira etapa da utilização do alimento. A redução da digestibilidade do alimento pode contribuir para uma diminuição nas quantidades de nutrientes disponíveis para o crescimento (Bonnet et al., 1997; Hai et al., 2000).

De acordo com Curtis (1983) e Esmay & Dixon (1986), quando as condições ambientais no interior da instalação não estão dentro de limites adequados (zona de termoneutralidade), o ambiente térmico se torna desconfortável. Porém, o organismo animal ajusta-se fisiologicamente para manter sua homeotermia, seja para conservar ou dissipar calor. Para isso, ocorre dispêndio de energia, resultando na redução da sua eficiência produtiva. Os mesmos autores afirmam que a faixa de temperatura na zona de conforto térmico para frangos de corte criados em galpões convencionais é de 18° a 28°C, com umidade relativa variando de 50% a 70% e velocidade do ar em torno de 1,0 a 2,5 m s⁻¹. Contudo, Medeiros (2001) afirma que a máxima produtividade de frangos para as condições climáticas brasileiras é obtida quando a temperatura

está no intervalo entre 21° e 29°C, com umidade relativa de 50% a 80% e velocidade do ar de 1,5 a 2,5 m s⁻¹.

Para que as aves adultas possam suportar temperaturas ambientais superiores a 27°C, Moura (2001) recomenda o uso de sistemas de nebulização no interior dos galpões. Segundo Barnwell & Rossi (2003), para o caso de frangos de corte adultos, a temperatura efetiva deve ser de 21,1°C e a umidade relativa 50%.

3.2.2 Umidade relativa

A umidade relativa do ar, numa determinada temperatura, é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1 m³ de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1 m³ pode conter, quando está saturado naquela temperatura (Ruas, 1999). A umidade relativa do ar varia conforme a temperatura do ar. No caso da remoção de calor por evaporação, a baixa umidade do ar permite que este, estando relativamente seco, absorva a umidade da pele mais rapidamente, resfriando-a num menor tempo. Quando a umidade relativa é alta, esse efeito fica prejudicado.

Yahav et al. (1995) relataram diferenças nas respostas de frangos de 4 a 8 semanas, submetidos a quatro faixas de umidade relativa (UR) de 40% a 50%, 50% a 55%, 60% a 65% e 70% a 75%, à temperatura ambiental de 35°C. A taxa de crescimento máxima dos frangos ocorreu numa UR de 60% a 65%. Relatos indicam que fatores como a cobertura de pena, o sexo, a idade da ave, o grau de aclimação e a espécie das aves podem interagir com a UR, ao definir as respostas das aves domésticas às altas temperaturas ambientais (Balnave, 2004).

De acordo com Sainsbury (1971), Yousef (1985), Ellen et al. (2000) e Kocaman et al. (2006), de forma geral, a faixa de umidade relativa (UR) que resulta em maior desempenho animal ocorre entre 50% e 70%, apresentando um

ambiente confortável. Para Medeiros (2001), a máxima produtividade para as condições climáticas brasileiras é obtida na faixa de 50% a 80%. Para Abreu & Abreu (2001), os valores ideais de temperatura média do ar e de umidade relativa do ar são, respectivamente, 20°C e de 60% a 70%. Sob temperaturas ambientais maiores que 32°C e taxas superiores a 75% de umidade relativa, as aves estão severamente estressadas (Moura, 2001).

3.2.3 Velocidade do ar

O movimento do ar sobre um animal pode ser gerado por meio da ventilação natural ou artificial. O vento é influenciado pela altitude, pela topografia e pela rugosidade da superfície. Regiões de topografia acidentada desviam o vento, alterando sua direção e velocidade, ou podem canalizá-lo, aumentando sua velocidade. Sua fluidez permite que sua trajetória seja comparada à trajetória das águas pluviais. Esse movimento de massas de ar é utilizado para ventilação natural, mas, dependendo da ação e das características do vento, podem ocorrer alguns efeitos prejudiciais, principalmente associados a baixas temperaturas (Lamberts et al., 2005).

A ventilação é necessária para eliminar o excesso de umidade do ambiente e da cama, proveniente da água liberada pela respiração das aves e dos dejetos, permitindo a renovação do ar e a eliminação dos odores (Tinôco, 1998). Uma das alternativas para melhorar as condições térmicas e promover a renovação do ar é a ventilação forçada. Quando não há problemas com a saturação do ar dentro dos aviários, pode-se utilizar o sistema de resfriamento evaporativo, constituído basicamente pelo uso de nebulizadores, permitindo que o ar não saturado do ambiente entre em contato com a água em temperatura mais baixa, ocorrendo, então, a troca de calor entre o ar e a água.

De acordo com Barnwell & Rossi (2003), as quatro prioridades relacionadas à ventilação em períodos quentes são a velocidade do ar que passa entre as aves, a renovação do ar no galpão, a distribuição do ar no interior do galpão e o controle da umidade relativa do ar. As exigências de velocidade e de renovação do ar variam conforme a quantidade, a idade e a massa corporal das aves, a umidade relativa e a temperatura de bulbo seco.

Segundo Sainsbury (1971) e Yousef (1985), de maneira geral, a faixa de velocidade do ar (v), que contempla um maior desempenho animal, ocorre entre 0,5 a 1,5 m s^{-1} . Para Medeiros (2001), no entanto, a máxima produtividade é alcançada a uma velocidade do ar de 1,5 a 2,5 m s^{-1} . Para Barnwell & Rossi (2003), a velocidade máxima do ar deve estar entre 2,29 a 2,41 m s^{-1} , com temperatura ambiente de 21,1°C e umidade relativa de 50%.

3.2.4 Temperatura de ponto de orvalho

A umidade relativa varia com a temperatura do ar, diminuindo com o aumento desta. Quando o ar contendo certa quantidade de água é esfriado, sua capacidade de reter água é reduzida, a umidade relativa se torna saturada – com umidade 100%. A temperatura na qual esse ar se satura é denominada temperatura de ponto de orvalho. Qualquer esfriamento abaixo dessa temperatura causa condensação de vapor (Frota & Schiffer, 2003).

Ao atingir a temperatura de ponto de orvalho, o ar torna-se saturado, formando gotas d'água sobre as superfícies (Varejão-Silva, 2006). Esse processo, além de alterar as resistências térmicas dos materiais, propicia à formação de microrganismos que podem ser prejudiciais às aves.

3.2.5 Zona de conforto térmico

Pode-se definir zona de conforto como sendo uma estreita faixa de temperatura ambiente na qual a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menos gastos energético, a produção de calor é mínima e a termoneutralidade é mantida por uma pequena perda de calor para o ambiente, sem que estejam atuando mecanismos de conservação ou de dissipação de calor. Assim, na zona de conforto térmico, a fração de energia utilizada para termogênese é mínima e a energia de produção é máxima (Macari & Furlan, 2001).

Por estar relacionada a um ambiente térmico ideal, na zona de termoneutralidade as aves encontram condições adequadas para expressar suas melhores características produtivas. Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2001) consideram o ambiente confortável com temperaturas entre 18° e 28°C e umidade relativa entre 50% e 70%.

3.3 Índices térmicos ambientais

Para a determinação dos níveis de conforto térmico ambientais, diversos índices têm sido desenvolvidos, sendo dependentes de vários parâmetros inter-relacionados, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação do ambiente (Marta Filho, 1993).

3.3.1 Índice de temperatura e umidade

O índice de temperatura e umidade (ITU), desenvolvido por Thom (1959), baseia-se na temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e na umidade relativa do ar (UR), avaliada a partir da temperatura do ponto de orvalho (T_{po}). O índice de temperatura e umidade é determinado pela equação:

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (1)$$

em que:

ITU: índice de temperatura e umidade;

T_{bs} : temperatura de bulbo seco (K);

T_{po} : temperatura de ponto de orvalho (K).

O *National Weather Service* (1976) classificou o ITU em amplitudes de desconforto da seguinte forma: valores de 75 a 78 significam alerta: os produtores devem tomar precauções para evitar perdas; de 79 a 84, significa perigo: medidas de segurança devem ser tomadas para evitar perdas desastrosas, principalmente com animais confinados e maior ou igual a 85 significa emergência: providências urgentes devem ser tomadas.

O ITU, por não contabilizar a carga de radiação térmica, não é recomendado para prever o conforto ou desconforto dos animais em climas quentes (Oliveira & Esmay, 1981).

3.3.2 Índice de temperatura, umidade e velocidade

Um índice de temperatura, umidade e velocidade (ITUV) foi desenvolvido por Tao & Xin (2003), para frangos de corte comerciais (2,8±0,1 kg) sob condições agudas de desconforto térmico por calor, integrando os efeitos da temperatura do ar, umidade e velocidade na manutenção da homeotermia das aves. O ITUV é definido por

$$ITUV = (0,85 t_{bs} + 0,15 t_{bu})v^{-0,058} \quad (2)$$

em que:

ITUV: índice de temperatura, umidade e velocidade;

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C);

t_{bu} : temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$);

v : velocidade do ar (m s^{-1}).

O ITUV descreve as respostas da variação térmica no interior das aves em condições térmicas de 35° a 40°C para temperatura de bulbo seco (t_{bs}), de $19,4^{\circ}$ a $26,1^{\circ}\text{C}$ para temperatura de ponto de orvalho (t_{po}) e de $0,2$ a $1,3 \text{ m s}^{-1}$ para a velocidade do ar (v). O estado de homeotermia das aves foi classificado como normal, alerta, perigo ou emergência. Os resultados demonstraram a sensibilidade das aves a mudanças térmicas e direcionam a tomada de decisões de manejo e avaliação de risco, assegurando o bem-estar da ave e minimizando as perdas de produção relacionadas ao calor (Tao & Xin, 2003).

3.3.3 Índice de temperatura do globo negro e umidade

O índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981), é considerado mais preciso que o ITU e o ITUV para avaliar o conforto animal, por incorporar os efeitos da umidade, do escoamento do ar, da temperatura do bulbo seco e da radiação, em um único valor. Este índice consiste na inclusão da temperatura do globo negro (T_{gn}) na equação do ITU, em lugar da temperatura de bulbo seco (T_{bs}). Assim, tem-se

$$\text{ITGU} = T_{gn} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (3)$$

em que:

ITGU: índice de temperatura do globo negro e umidade;

T_{gn} : temperatura do globo negro (K);

T_{po} : temperatura do ponto de orvalho (K).

A temperatura do globo negro é obtida a partir de uma esfera oca de cobre, com diâmetro 0,15 m e espessura 0,005 m, enegrecida com tinta preta fosca no interior da qual é adaptado um elemento sensor de temperatura (termopar ou termômetro simples). A temperatura de globo negro, medida por meio deste instrumento, representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, a partir do qual se pode concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente.

A diferença entre a temperatura do globo negro e a do ar reflete o efeito das radiações sobre a ave (Oliveira & Esmay, 1981).

Várias pesquisas foram realizadas utilizando-se o ITGU para prever o conforto e o desempenho avícola, notadamente em frangos de corte. Os resultados mostraram que os valores de ITGU variaram conforme a idade das aves. Teixeira (1983) considerou valores de ITGU de 65 a 75,5 satisfatórios para a criação de frangos de corte, da 3ª a 6ª semana de idade. Segundo Piasentin (1984), valores de ITGU de 65 a 77 não influenciaram a produção de frangos com idade de 4 a 7 semanas. Lopes (1986) encontrou valores de ITGU de 63 a 70,8, correspondendo à zona de termoneutralidade de frangos de corte, da 4ª a 7ª semana de idade. Nesta faixa de ITGU, a temperatura do globo negro variou de 16,8° a 25,5°C, umidade relativa de 40% a 80%, em situação de ar calmo ($v \leq 0,1 \text{ m s}^{-1}$). De acordo com Tinôco (1988), valores de ITGU superiores a 75,0 causam desconforto em frangos de corte acima de 15 dias de idade.

Pesquisas realizadas com frangos de corte, em Belize, por Oliveira & Esmay (1981), mostraram que, para o verão, o aumento nos valores de ITGU de 80 para 82 ocasionou acréscimo de 42% na conversão alimentar e redução de 37% no ganho em peso, para as aves criadas em área não sombreada, quando comparadas com as que foram criadas em área sombreada. Os autores concluíram que o ITGU foi melhor indicador do conforto térmico que o ITU e

que a diferença entre os índices deveu-se ao efeito da radiação térmica sobre os animais, uma vez que eram idênticas as condições de vento e de umidade do ar.

Medeiros et al. (2005) classificaram os ambientes de acordo com as temperaturas e com o ITGU. Ambientes frios apresentam temperaturas variando de 16° a 20°C e ITGU de 59 a 67. Para os ambientes considerados confortáveis, a temperatura foi de 26°C e o ITGU variou de 69 a 77. Nos ambientes considerados quentes, a temperatura variou de 32° a 36°C e o ITGU de 78 a 88. Notadamente, foram observados comportamentos distintos para cada ambiente, sendo esse fato bastante conhecido pelos pesquisadores, desde a década de 1960.

Em experimento, Medeiros et al. (2005), analisando o efeito da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, verificaram que, nos ambientes considerados confortáveis, ITGU de 69 a 77 (temperatura de 26°C, umidade de 20% a 90% e velocidade do ar de 0 a 3,0 m s⁻¹), as aves se apresentaram bastante tranquilas, sem tremor, com dispersão normal, bom consumo de ração, bom ganho de peso, excelente conversão alimentar, bastante sonolentas, frequência respiratória considerada normal e fezes pastosas.

3.3.4 Carga térmica de radiação

Segundo Kelly et al. (1954), a carga térmica de radiação (CTR) expressa a radiação incidente no globo negro a partir de diferentes porções da vizinhança (superfície inferior do telhado, céu frio, horizonte, piso sombreado e não sombreado). Isso depende dos materiais usados e da geometria da construção e é dado por:

$$CTR = \sigma \sum_{i=1}^n T_i^4 F_i \quad (4)$$

em que:

CTR: carga térmica de radiação (W m⁻²);

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

T_i : temperatura da seção i -ésima da vizinhança do globo negro (K);

F_i : fator forma da seção i -ésima da vizinhança do globo (adimensional);

n : número de seções da vizinhança do globo.

Para galpões abertos, ou seja, com as cortinas abertas, verifica-se que, em torno do globo negro, há cinco regiões bem definidas, conforme ilustrado na Figura 1, que são: cobertura, horizonte, céu frio, piso sombreado e piso não sombreado.

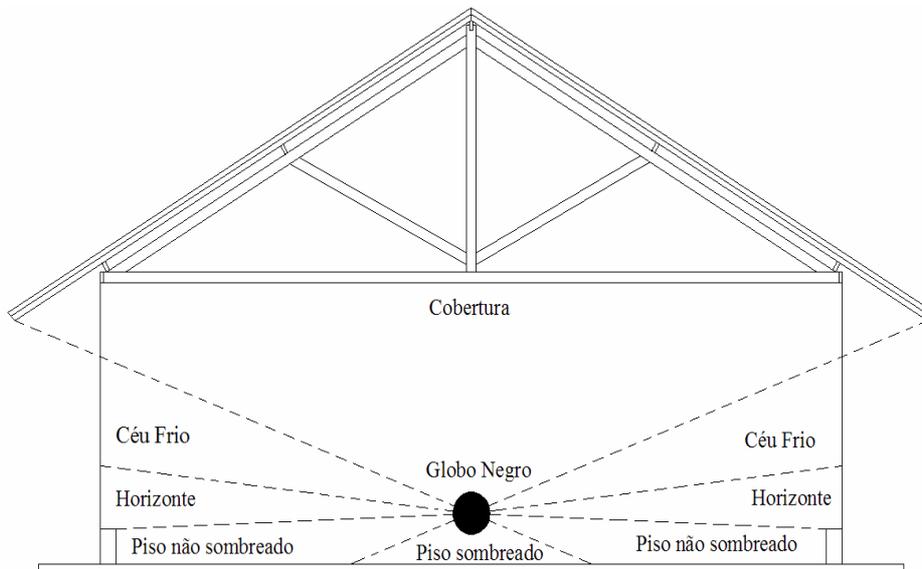


FIGURA 1. Regiões de um galpão aberto que trocam calor com o globo negro.

Oliveira (1980) sugeriu que as temperaturas de piso sombreado (T_{ps} , dado em K), piso não sombreado (T_{pns} , em K) e horizonte (T_{hor} , em K) poderiam ser estimadas em função da temperatura de bulbo seco (T_{bs} , em K). Assim, tem-se:

$$T_{ps} = T_{bs} \quad (5)$$

$$T_{pns} = T_{bs} + 6 \quad (6)$$

$$T_{\text{hor}} = T_{\text{bs}} + 5 \quad (7)$$

A temperatura de céu frio ($T_{\text{céu}}$ (K)) utilizada foi a média entre as equações 8 e 9, propostas por Swinbank (1963), citado por Duffie & Beckman (1974).

$$T_{\text{céu}} = T_{\text{bs}} - 6 \quad (8)$$

$$T_{\text{céu}} = 0,0552 T_{\text{bs}}^{1,5} \quad (9)$$

Para o cálculo do fator forma, foi utilizada a equação proposta por Albright (1990), em que, de acordo com a Figura 2, está representada a influência da região 2 sobre a região 1.

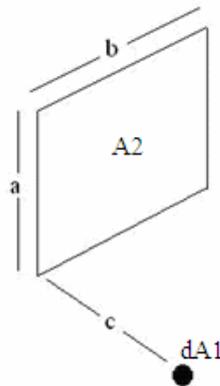


FIGURA 2. Regiões de uma pequena esfera e uma superfície retangular para o cálculo do fator forma.

$$F_{1-2} = \frac{\arctang \left[\frac{X Y}{\sqrt{1 + X^2 + Y^2}} \right]}{4\pi}$$

em que:

F_{1-2} : fator forma da área 2 sobre a área 1 (adimensional);

$$X = \frac{b}{c};$$

$$Y = \frac{a}{c}.$$

Mackey & Wright (1944) propuseram uma equação, dada em K, para determinar a temperatura na superfície interna do telhado (T_{si}).

$$T_{si} = T_{bs} + \frac{0,606 \left(\frac{b I}{h_c} \right)}{0,856 + \frac{L}{K}} \quad (10)$$

em que:

T_{si} : temperatura da superfície interna do telhado (K);

T_{bs} : temperatura de bulbo seco (K);

b : absorvidade da superfície da cobertura para a irradiação solar (adimensional);

I : irradiância solar sobre a cobertura do galpão ($W m^{-2}$);

h_c : coeficiente de filme ou de película da transferência de calor por convecção ($W m^{-2} K^{-1}$);

L : espessura do material da cobertura (m);

K : condutividade térmica do material da cobertura ($W m^{-1} K^{-1}$).

A CTR também pode ser calculada por meio do balanço de calor na superfície do globo, onde o calor ganho ou perdido por radiação no globo deve ser igual ao calor ganho ou perdido por convecção.

Bedford & Warner (1934) estudaram o equilíbrio quantitativo característico do calor trocado entre um globo e sua vizinhança e expressaram a troca de radiação pela equação 11.

$$q_r = \varepsilon \sigma (T_m^4 - T_{bg}^4) \quad (11)$$

em que:

q_r : troca de calor por radiação ($W m^{-2}$);

ε : emissividade da superfície do globo (0,95);

σ : constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$);

T_m : temperatura média radiante (K);

T_{gn} : temperatura de globo negro (K).

A troca de calor por convecção é dada por

$$q_c = 13,53 \sqrt{v} (T_{gn} - T_{bs}) \quad (12)$$

em que:

q_c : troca de calor por convecção ($W m^{-2}$);

v : velocidade do ar ($m s^{-1}$);

T_{bs} : temperatura de bulbo seco (K).

Sob condições naturais, o calor ganho ou perdido por radiação no globo deve ser igual ao calor ganho ou perdido por convecção. Igualando-se as equações 11 e 12, tem-se a equação 13, que determina a temperatura média radiante (T_m).

$$T_m = 100 \left[2,51 \sqrt{v} (T_{gn} - T_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right]^{1/4} \quad (13)$$

Se a temperatura média radiante é T_m , a radiação emitida para o globo será a carga térmica radiante, em $W m^{-2}$, determinada pela fórmula de Stefan-Boltzman (equação 14).

$$CTR = \sigma T_m^4 \quad (14)$$

Igualando-se as equações 13 e 14, tem-se a equação 15, que expressa a carga térmica de radiação incidente no globo negro a partir de diferentes regiões do galpão.

$$CTR = \sigma 100^4 \left[2,51 \sqrt{v} (T_{gn} - T_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right] \quad (15)$$

em que:

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

v : velocidade do ar (m s^{-1}).

3.4 Estimativa da irradiação solar sobre a cobertura

A irradiação solar (I) sobre o telhado é um dado de entrada da equação 10 para a determinação da temperatura da superfície interna do telhado. Paltridge & Platt (1976) determinaram a irradiação solar sobre o telhado em condições de céu claro, que é dada por:

$$I = I_o \cos\theta + I_d \cos^2 \left(\frac{i}{2} \right) + \alpha (I_o \cos Z + I_d) \left[1 - \cos^2 \left(\frac{i}{2} \right) \right] \quad (16)$$

em que:

I : irradiação solar (W m^{-2});

I_o : irradiância solar direta sobre uma superfície normal aos raios solares no solo (W m^{-2});

θ : ângulo de incidência dos raios solares diretos, ou seja, ângulo entre os referidos raios e a normal à superfície inclinada (radianos);

I_d : irradiância solar difusa sobre uma superfície horizontal, no nível do solo (W m^{-2});

i : ângulo de inclinação da superfície (radianos);

α : albedo da superfície (decimal);

Z : ângulo zenital do sol (radianos);

$\cos^2\left(\frac{i}{2}\right)$: fração de céu vista da superfície da cobertura do galpão.

A expressão anterior requer o conhecimento de vários parâmetros que dependem do movimento da Terra em torno do sol. A irradiação solar direta incidente sobre uma superfície normal aos raios solares (I_0) pode ser obtida pela expressão 17, recomendada por Brooks (1959).

$$I_0 = S \left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 \tau \quad (17)$$

em que:

I_0 : irradiação solar direta (W m^{-2});

S : constante solar (1353 W m^{-2});

\bar{D} : distância média entre a Terra e o sol;

D : distância instantânea entre a Terra e o sol;

τ : transmitância atmosférica.

O fator $(\bar{D}/D)^2$, na equação 17, permite definir a distância relativa da Terra ao sol em qualquer dia do ano e pode ser calculada pela equação 18, proposta por Paltridge & Platt (1976).

$$\left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos X + 0,001289 \sin X + 0,000719 \cos (2 X) + 0,000077 \sin (2 X) \quad (18)$$

O ângulo X , expresso em radianos, depende do dia do ano (1 a 365) e pode ser calculado pela equação 19:

$$X = \frac{2\pi(DJ-1)}{365} \quad (19)$$

em que:

DJ: dia juliano, é o número do dia do ano, variando de 1 a 365 para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro.

A transmitância atmosférica pode ser determinada conforme a equação 20.

$$\tau = \exp \left[-0,089 \left(\frac{p \text{ m}}{1013} \right)^{0,75} - 0,174 \left(\frac{W \text{ m}}{20} \right)^{0,60} - 0,083 (d \text{ m})^{0,90} \right] \quad (20)$$

em que:

p: pressão atmosférica (mbar);

m: massa ótica absoluta de ar;

W: quantidade de água precipitável na atmosfera na direção zenital (mm);

d: parâmetro adimensional de poeiras, tendo sido adotado o valor de 0,45, conforme Alves (1981).

A massa ótica do ar (equação 21) varia com o ângulo zenital do sol (Z), de 1, quando o sol está no zênite, a 35, quando o sol nasce ou se põe (Vianello & Alves, 1991).

$$m = 35 \left[1224 \cos^2 (Z) + 1 \right]^{-1/2} \quad (21)$$

A quantidade de água na atmosfera capaz de precipitar (W) é calculada em função da pressão atual de vapor d'água (p_w , mbar), como mostrado nas equações 22 e 23, respectivamente.

$$W = 2,5 p_w \quad (22)$$

$$p_w = \left(\frac{UR}{100} \right) es \quad (23)$$

em que:

UR: umidade relativa (%);

es: pressão de saturação de vapor d'água (mbar).

A pressão máxima de vapor d'água, ou seja, a máxima quantidade de vapor d'água que em um ambiente pode apresentar antes da condensação, pode ser obtida pela equação 24, em função da temperatura do ar atmosférico.

$$es = 6,1078 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 t_{bs}}{237,3 + t_{bs}} \right)} \quad (24)$$

em que:

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C).

O ângulo de incidência dos raios solares diretos sobre a cobertura do galpão pode ser obtido pela equação 25 (Duffie & Beckman, 1974):

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = \cos(h) [\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(i) + \text{sen}(i) \cos(\psi') \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\phi)] + \\ \text{sen}(h) \text{sen}(i) \text{sen}(\psi') \cos(\delta) + \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) \cos(i) - \\ \text{sen}(i) \cos(\psi') \text{sen}(\delta) \cos(\phi) \end{aligned} \quad (25)$$

em que:

h: ângulo horário (radianos);

ϕ : latitude local, positiva para o hemisfério norte e negativa para o hemisfério sul (radianos);

ψ : azimute do sol (radianos);

ψ' : azimute da superfície (radianos).

O ângulo horário pode ser determinado conforme mostrado pela equação 26:

$$h = (H - 12) \frac{\pi}{12} \quad (26)$$

em que

H: hora do dia (horas).

E a declinação do sol, em graus, pode ser calculada pela equação 27:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + DJ) \right] \quad (27)$$

O fluxo de irradiação solar difusa (I_d) que alcança a cobertura do galpão (W m^{-2}) varia com o ângulo zenital do sol, correspondendo a, aproximadamente, 15 % da irradiação solar total que alcança a superfície. Em condições de céu claro, I_d pode ser determinado pela equação 28:

$$I_d = 11,631 \{0,43 + 8,25 [1 - 0,0111 \exp(0,05 Z)]\} \quad (28)$$

Para o ângulo zenital (Z), Vianello & Alves (1991) apresentam a equação 29 para a sua estimativa. O cosseno do ângulo zenital correspondentemente é mínimo no solstício de inverno e cresce até o valor 1,0. Ocorre um período de constância neste valor, desde antes do primeiro culminar do sol no zênite até depois do segundo culminar. Novamente ele decresce, até o solstício de inverno (Tubelis & Nascimento, 1980).

$$\cos Z = \operatorname{sen}(\phi) \operatorname{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(h) \quad (29)$$

em que:

ϕ : latitude local;

δ : declinação solar;

h: ângulo horário (radianos).

3.5 Modelagem do ambiente térmico em galpões avícolas

O desenvolvimento de modelos matemáticos e a aplicação de simulações computacionais permitem reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento e de adaptação de projetos. Ademais, fornecem informações importantes ao produtor, que auxiliam na tomada de decisão (Carvalho, 2006).

Vários modelos têm sido propostos para calcular a transferência de calor entre os animais e o ambiente. Mas, de acordo com Gebremedhin & Wu (2000), é difícil desenvolver um modelo completo e que contemple transferência de calor e massa simultaneamente, devido às mudanças temporais das respostas fisiológicas e das condições ambientais.

Como exemplos de modelos desenvolvidos na área de ambiência animal, podem-se citar: modelos para prever transferência de calor entre o animal e o ambiente que o circula (Wathen et al., 1971; Mitchell, 1976; Mahoney & King, 1977; McArthur, 1991; Gebremedhin & Wu, 2000; Yanagi Junior et al., 2001a; Aerts et al., 2003), modelos para transferência de calor e/ou de massa em instalações agrícolas (Medeiros, 1997; Yanagi Junior et al., 2001b; Carvalho et al., 2006; Laranjeira & Rossi, 2006; Silva et al., 2006), modelos para otimizar alguns sistemas de resfriamento evaporativo (Gates et al., 1991; Gates et al., 1992; Singletary et al., 1996; Simmons & Lott, 1996; Abreu & Abreu, 2006; Yanagi Junior et al., 2006a; Samer et al., 2008) e modelos para ajuste das respostas fisiológicas de aves (Medeiros, 2001; Sevegnani et al., 2006; Yanagi Junior et al., 2006b; Lopes et al., 2006; Carvalho et al., 2008), dentre outros.

3.5.1 Caracterização

A modelagem é tão antiga quanto a própria matemática e vem sendo aplicada pelos povos desde os tempos primitivos, em situações do seu cotidiano. Seu conceito surgiu durante o Renascimento, para auxiliar na construção das

ideias iniciais da física. Atualmente, constitui um ramo da matemática que auxilia diversas áreas do conhecimento como: biologia, geografia, economia, engenharia e outros (Biembengut & Hein, 2003).

Segundo Biembengut & Hein (2000), modelagem matemática é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que traduz, de alguma forma, um fenômeno em questão ou um problema de situação real.

Os modelos mecânicos se baseiam na descrição do processo que ocorre no sistema real considerado, refletindo os princípios físico, químicos e biológicos (ou físico-químico-biológico). Caracterizam-se por refletirem os princípios estabelecidos cientificamente; serem desenvolvidos a partir de princípios da física, química e biologia; apresentarem grandes dificuldades na obtenção de dados necessários para o seu desenvolvimento; possuírem grande potencial de predição de alguns fenômenos e apresentarem pouca restrição quanto à extrapolação dos seus resultados.

Em relação à forma de utilização de um modelo matemático, Chaves (2005), apoiado em Biembengut & Hein (2003), frisa que um modelo matemático só é um modelo se servir de referência ou se permitir ser reproduzido para a resolução de problemas semelhantes que originaram o modelo, além de ser mola propulsora para o desenvolvimento de outros conhecimentos.

3.6 Sistemas de criação de frangos de corte

Para o aprimoramento da produção avícola intensiva em países tropicais, como o Brasil, torna-se imprescindível aperfeiçoar os abrigos e equacionar o manejo para superar os efeitos prejudiciais, provenientes de alguns fatores ambientais críticos. No país, nota-se o aumento da criação de aves confinadas, as

quais exigem instalações específicas para fazer frente a determinadas condições ambientais (Moura, 2001).

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 e utilizam esquemas de ventilação em modo túnel, abertura automática das cortinas, resfriamento evaporativo, aquecedores e outros mecanismos de controle ambiental (Silva, 2001).

A ventilação é necessária para eliminar o excesso de umidade do ambiente e a presença de alguns gases, como NH_3 , CO_2 e H_2S advindos da cama, da respiração e dos excrementos, evitando-se, assim, doenças pulmonares e permitindo a renovação do ar e a eliminação de odores (Tinôco, 1998). Segundo Baêta & Souza (1997), a ventilação permite uma redução da transferência de calor da cobertura e maior facilidade de trocas de calor corporal por convecção e evaporação.

A ventilação lateral, com pressão positiva ou negativa, promove a dissipação de calor sensível no interior da instalação, mas, de acordo com Tinôco (1996), este efeito benéfico torna-se nulo quando a temperatura de bulbo seco (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 .

O sistema de resfriamento evaporativo constitui-se, basicamente, de placas de material poroso umedecido e ou nebulizadores. A densidade das aves depende da adoção de equipamentos de condicionamento térmico existente na instalação e ou da época do ano. Além disso, está sujeita à ação da velocidade do ar que incide sobre as aves, promovida pela ventilação natural ou artificial,

podendo atuar de forma positiva na promoção de conforto térmico, como indicam os trabalhos de Medeiros (2001) e Yanagi Junior (2002).

3.7 Mudanças climáticas

O aquecimento global, causador das mudanças climáticas atuais e futuras, traz uma série de situações que caracterizam vulnerabilidades para as populações.

Segundo o IPCC (2001), apesar do aumento da concentração de CO₂ ser um estimulante ao crescimento das plantações, as vantagens desse crescimento não compensam os malefícios causados globalmente pelo excesso do gás.

Diversas mudanças climáticas globais ocorreram ao longo da história evolutiva do planeta, induzindo a uma condição de balanço. Estudos têm mostrado a relação entre o aquecimento atmosférico, mudanças climáticas globais e os efeitos na distribuição do ecossistema, conduzindo a profundas mudanças na composição da biodiversidade (Salati et al., 2001).

De acordo com o último relatório do IPCC (2008), a temperatura média global aumentar 1,5°C acima dos níveis daqueles observados no ano de 1990, sendo que, um terço das espécies animais estaria ameaçado de extinção.

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC, 2001), considerando os efeitos naturais e antrópicos, é esperado que a temperatura global aumente, nos próximos 100 anos, entre 1,4° a 5,8°C, considerando a média do ano de 1990, como referência.

Borges et al. (2008) observaram que o aumento na temperatura do ar, causada pelas mudanças climáticas, resultará num aumento do ITGU, nas instalações de frangos de corte, afetando negativamente sua produtividade. Além disso, o uso de telhados com materiais de resistência térmica mais alta permitirá a redução destes efeitos, embora não seja suficiente, conduzindo ao estudo de

novas tecnologias para promover um ambiente satisfatório para a produção de frangos de corte.

Especificamente para a região Centro-Oeste, espera-se um aumento de 3°C a 6°C para a temperatura do ar, o que agravará os problemas relativos ao conforto animal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Dados experimentais

Os dados experimentais, utilizados para o ajuste das equações empíricas empregadas para a validação do modelo matemático e para a predição do ITGU ao longo de galpões climatizados, foram coletados em dois galpões comerciais climatizados localizados no município de Itaberaí, GO (16°01' S de latitude, 49°48' W de longitude, 722 m de altitude e pressão atmosférica, medida no local, de 929 hPa). A coleta dos dados ocorreu na fase compreendida entre 21 e 43 dias, na qual os sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo atuavam de forma efetiva.

Nos galpões foram alojadas fêmeas da linhagem Cobb, com densidade de, aproximadamente, 13 aves m⁻².

4.1.1 Caracterização dos galpões

O primeiro galpão (PRE) caracteriza-se por ventilação em modo túnel e sistema de resfriamento evaporativo com placa porosa de celulose, dimensões de 10,70 x 1,80 m, 16 linhas de nebulização interna distribuídas ao longo do galpão, no total de 89 bicos nebulizadores e vazão média de 1,20±1,02 mL s⁻¹.

O segundo galpão (NEB) é caracterizado por ventilação em modo túnel e sistema de resfriamento com dois painéis cobertos por sombrite e umedecidos com o auxílio de 47 nebulizadores, distribuídos frontalmente às placas, com dimensões de 10,84 x 2,00 m. Também possui sistema de nebulização interna com 17 linhas transversais distribuídas ao longo do galpão, totalizando 94 bicos nebulizadores, com vazão média de 1,38±0,83 mL s⁻¹.

Os galpões PRE (Figura 3a) e NEB (Figura 3b) possuem as seguintes dimensões: 12 x 125 e 13,6 x 125 m, respectivamente e pé-direito de 2,5 m, ambos com cobertura de telhas de cimento amianto (espessura de 4 mm); telhado com sistema de isolamento entre a face interna e forro composto por poliuretano expandido com 0,05 m de espessura; alvenarias de tijolos furados (0,12 x 0,20 x 0,20 m); muretas laterais com 0,45 m de altura e piso de concreto. Como material para a cama foi reutilizada a palha de arroz do lote anterior. Completam o ambiente tela de arame para fechamento lateral com malha de 0,03 m, cortinas laterais azuis, forro amarelo, três linhas de comedouros automáticos, quatro linhas de bebedouros do tipo *nipple* e orientação no sentido leste-oeste.



FIGURA 3. Galpões utilizados para a coleta dos dados para a validação do modelo: (a) placas de resfriamento evaporativo composto por celulose e (b) de sombrite molhado por nebulizadores.

4.1.2 Instrumentação

As variáveis ambientais temperatura de bulbo seco interno ($t_{bs,int}$), umidade relativa interna (UR_{int}), temperatura de bulbo seco externo ($t_{bs,ext}$) e

umidade relativa (UR_{ext}) foram medidas por meio de sensores/registradores (precisão $\pm 3\%$) programados para coletar os dados a cada minuto. As duas primeiras variáveis foram coletadas em três pontos, denominados seções, a 0,3 m de altura, ao longo do comprimento na parte interna de cada galpão, cujas distâncias em relação às placas de resfriamento foram de 30, 62,5 e 95 m (Figura 4). As duas últimas variáveis foram coletadas na parte externa, em um ponto fixo a 0,3 m de altura. Os sensores/registradores ficavam alojados no interior de recipientes perfurados com função de proteção. Para as variáveis velocidade do ar interno (v_{int}) e velocidade do ar externo (v_{ext}), foi utilizado um anemômetro de hélice digital (precisão de 3% da leitura), na altura dos sensores/registradores.

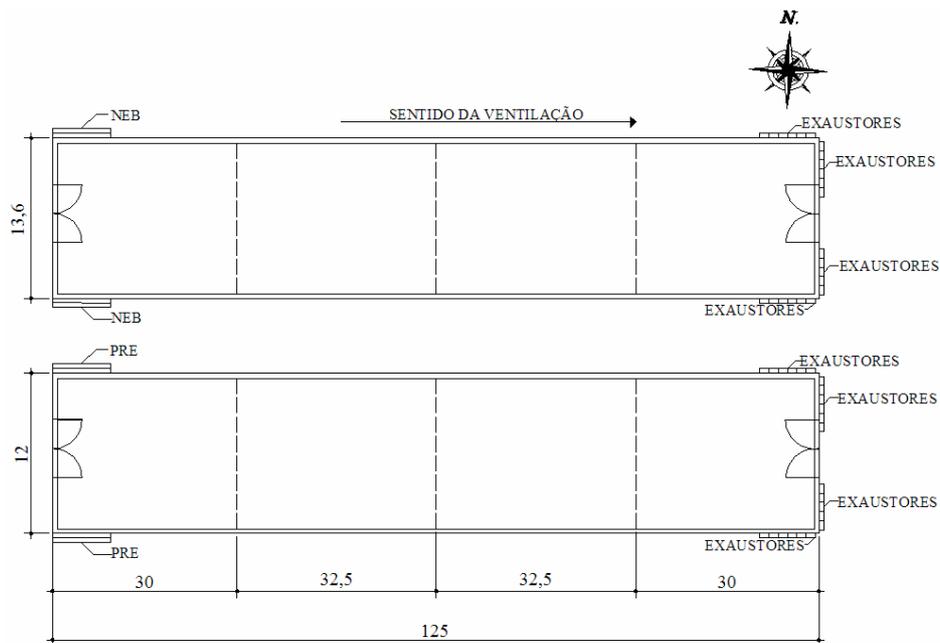


FIGURA 4. Esquema ilustrativo das regiões do galpão delimitadas para a obtenção dos dados de temperatura e umidade interna.

As temperaturas superficiais da cortina norte ($t_{s,cn}$), cortina sul ($t_{s,cs}$), cabeceira leste ($t_{s,cl}$), cabeceira oeste ($t_{s,co}$), cama ($t_{s,ca}$), superfície das aves ($t_{s,p}$) e forro ($t_{s,forro}$), que correspondem às superfícies que contribuem para a variação de

temperatura interna, foram determinadas a partir de um termômetro infravermelho com regulagem de emissividade com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. A coleta foi realizada em pontos localizados nas seis seções, distribuídas ao longo do galpão, à distância de 1 m de cada superfície analisada. O horário em que as temperaturas das superfícies foram obtidas coincidia com os horários em que o sistema estava em completo funcionamento.

4.2 Modelo para predição do ITGU no interior de galpões avícolas climatizados

O ITGU é função da temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) e da temperatura de globo negro (T_{gn}), conforme descrito na equação 3. A T_{po} é um dado medido para um determinado estado do sistema, sendo que T_{gn} , por depender de diversas variáveis, necessita ser estimada por meio de um modelo matemático.

Para prever T_{gn} , igualaram-se as equações 4 e 15, sendo a solução obtida pelo método numérico de bissecção, conforme descrito por Castilho (2001).

Em galpões climatizados, as regiões em torno do globo negro são diferentes das existentes em galpões abertos (Figura 1), conforme ilustrado na Figura 5. Para galpões sem forro, a T_{si} (temperatura da superfície interna do telhado) deverá ser calculada por meio da equação 10, sendo, portanto, função da absortividade da superfície da cobertura para a irradiação solar, irradiância solar sobre a cobertura, coeficiente de filme ou de película da transferência de calor por convecção, espessura e condutividade térmica do material da cobertura.

A irradiação solar sobre o telhado, por ser de difícil mensuração em condições de campo, pode ser estimada pelas equações 16 a 29, conforme metodologia proposta por Alves (1981). Para os casos em que os galpões são

equipados com forro, foi ajustada uma equação empírica para a determinação de temperatura superficial do forro.

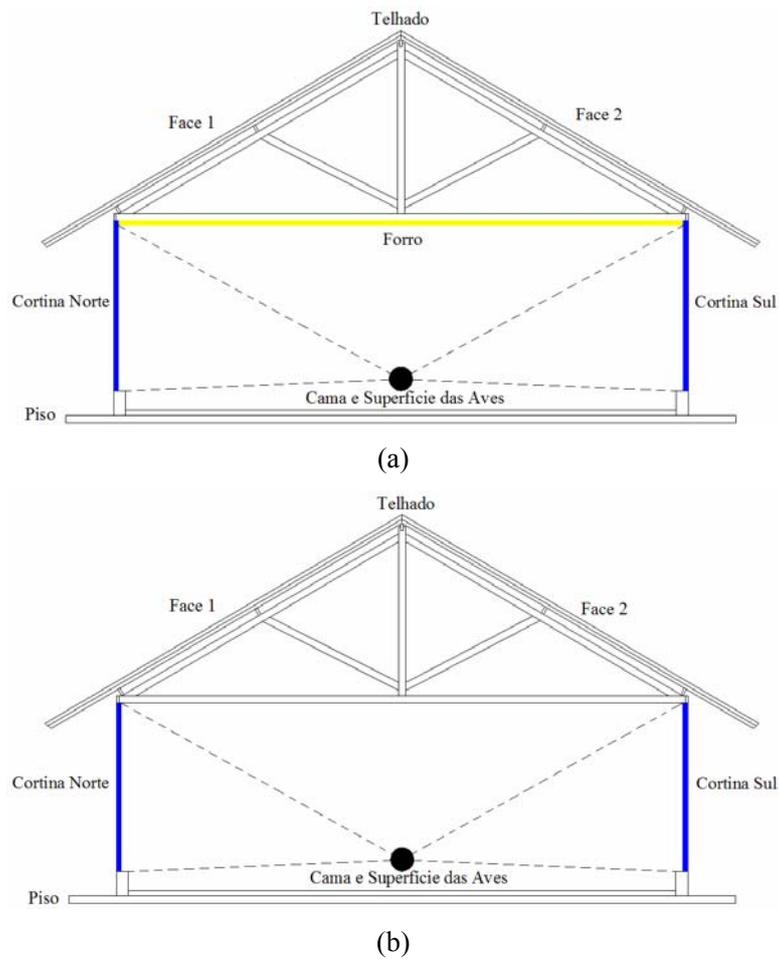


FIGURA 5. Regiões de um galpão climatizado com forro (a) e sem forro (b), que trocam calor com o globo negro.

Para as demais regiões em torno do globo, também foram ajustadas equações empíricas para a determinação das temperaturas superficiais.

4.3 Ajuste dos modelos empíricos

Para a determinação das equações empíricas para estimar as temperaturas superficiais das regiões em torno do globo negro, inicialmente foi realizada uma filtragem dos dados, identificando-se as variáveis ambientais coletadas no mesmo horário em que ocorreu a coleta da temperatura das superfícies. Para a velocidade do ar interno, foi calculada a média de vários pontos para cada seção (Figura 6), sendo estas divididas em seis seções ao longo do galpão, visto que o sistema estava em completo funcionamento, com dez exaustores.

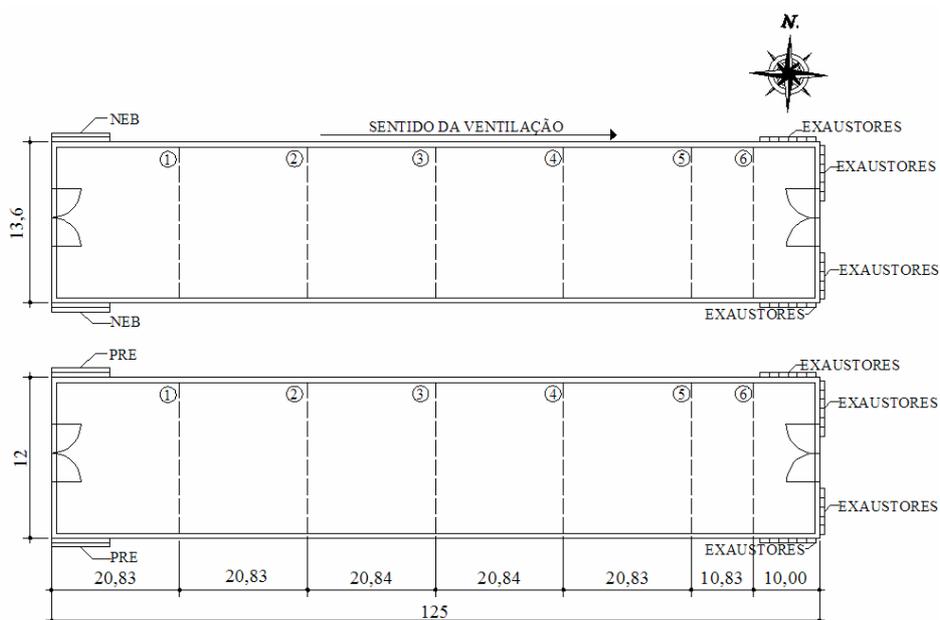


FIGURA 6. Esquema ilustrativo das seis seções determinadas ao longo do galpão.

Posteriormente, foi realizada a interpolação dos dados, visto que as seções das variáveis ambientais não correspondiam aos pontos das seções divididas para as superfícies do galpão (Figura 7). Dessa forma, aumentou-se o número de dados das variáveis ambientais de forma condizente com a variação

da mesma, caso fosse realizada a coleta em seis seções, como nas temperaturas de superfícies.

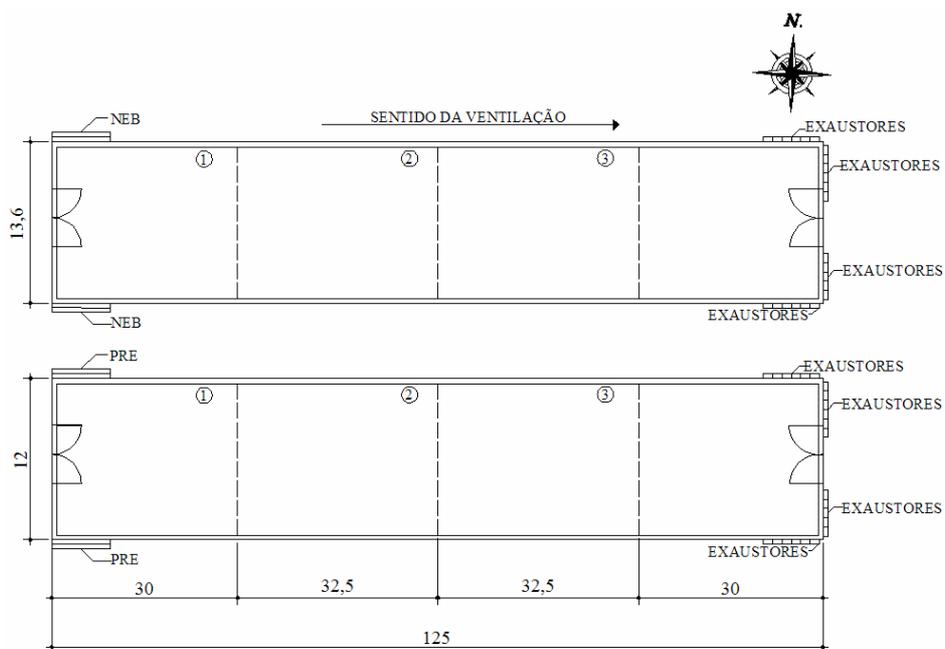


FIGURA 7. Esquema ilustrativo das três seções determinadas ao longo do galpão.

Após os ajustes dos dados terem sido organizados, foi realizada uma análise de componentes principais utilizando-se o software MINITAB. Esta análise permitiu a quantificação do efeito de cada variável ambiental nas equações das superfícies, destacando assim, as de maior importância. Este procedimento possibilitou a seleção das variáveis para gerar um melhor ajuste da equação.

Determinadas as variáveis de maior influência, a serem consideradas na obtenção das equações para a estimação das temperaturas superficiais de cada região do galpão em torno do globo negro, procederam-se aos ajustes das

equações empíricas por meio do procedimento PROC REG do SAS® (SAS, 2001).

4.4 Validação do modelo para predição do ITGU

Para a comparação dos valores de ITGU simulados pelo modelo e medidos nos galpões avícolas foi utilizada a estatística descritiva, por meio do cálculo de médias, desvio padrão da média e erro.

4.5 Simulações computacionais para o município de Goiânia – GO

Para prever o comportamento do ITGU para o município de Goiânia, GO, localizado na latitude 16°40' (S), longitude 49°15' (W) e altitude de 741 m, foram utilizados os dados das normais climatológicas do ano de 1961 a 1990 (Brasil, 1992), além de se prever o aumento da temperatura do ar, conforme o estabelecido pelo IPCC (2007), para os anos de 2050 e 2100.

As simulações foram feitas no pacote computacional 'SisTúnel', desenvolvido por Carvalho (2006), utilizando-se dados das normais climatológicas como entrada para o programa. Para cada dado de entrada foram derivados 125 dados de saída, resultantes do número de volumes de controle estabelecidos no interior do galpão.

4.5.1 Cenário atual

A simulação para o cenário atual foi realizada com base nos dados das normais climatológicas para o município de Goiânia, GO, da série de 1961-1990 (Brasil, 1992), conforme Tabela 1.

As normais climatológicas são médias mensais obtidas a partir das médias mensais e anuais dos valores diários.

TABELA 1. Normais climatológicas do período de 1961-1990, para o município de Goiânia, GO.

Meses	Pressão atm (hPa)	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Umidade relativa (%)
Jan	928,1	23,8	29,2	75
Fev	928,4	23,8	29,4	76
Mar	928,7	23,9	30,1	74
Abr	929,5	23,6	30,0	71
Mai	931,1	22,1	29,1	65
Jun	932,5	20,8	28,7	60
Jul	932,7	20,8	28,9	53
Ago	931,4	22,9	31,2	47
Set	930,0	24,6	31,9	53
Out	928,8	24,6	31,0	65
Nov	927,8	24,0	29,7	73
Dez	927,7	23,5	28,9	76

Fonte: Brasil (1992)

4.5.2 Cenários futuros

Para a simulação dos cenários futuros de distribuição de ITGU para o município de Goiânia, GO, foram utilizados dois cenários, A2 e B2. O cenário A2 é o mais pessimista com relação ao aquecimento global e o modelo sugere um aumento de 3° a 6°C, na temperatura, para a região Centro-Oeste do Brasil. O cenário B2, mais otimista, prevê um aumento de 2° a 3°C para a região.

O cenário A2 descreve um mundo heterogêneo, no qual o desenvolvimento econômico é orientado essencialmente para a região e o crescimento econômico *per capita* e o desenvolvimento tecnológico são mais fragmentados e mais lentos. O cenário B2 descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversificada do que em outros

contextos. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco não são os níveis local e regional (IPCC, 2007).

Esses dois cenários foram escolhidos com base em sua descrição, sendo os mais condizentes com as condições brasileiras. De acordo com o último relatório do IPCC (2007) sobre mudanças climáticas, as temperaturas tendem a apresentar um aumento linear ao longo dos anos. Dessa forma, para compor o cenário B2, nos anos de 2050 e 2100, adicionaram-se 1,2° e 2,4°C, respectivamente, às temperaturas médias e máximas apresentadas nas normais climatológicas de 1961-1990. De forma similar, adicionaram-se 1,7° e 3,4°C às temperaturas citadas previamente, para a composição do cenário A2.

TABELA 2. Projeção do aumento da temperatura do ar (°C) devido ao aquecimento global da superfície no final do século XXI.

Caso	Estimativa	Faixa provável
Cenário B2	2,4	1,4-3,8
Cenário A2	3,4	2,0-5,4

Fonte: IPCC (2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modelo matemático para predição do ITGU no interior de galpões climatizados

O modelo para a predição do ITGU no interior de galpões climatizados para a criação de frangos de corte baseou-se no modelo proposto por Oliveira (1980) e posteriormente adaptado por Yanagi Junior et al. (2001b), conforme especificado nas equações 3 a 29. Dentre os dados de entrada, os valores de $t_{bs,int}$ e UR_{int} foram obtidos por meio do modelo proposto por Carvalho (2006) no i-ésimo volume de controle previamente especificado. Dessa forma, o modelo computacional desenvolvido foi acoplado ao modelo proposto por Carvalho (2006). Especificamente em galpões climatizados orientados no sentido leste-oeste, torna-se imperativo o ajuste de modelos empíricos para estimar as temperaturas superficiais das cortinas norte e sul, cabeceiras leste e oeste, forro e piso, conforme descrito posteriormente.

5.2 Ajuste dos modelos empíricos para a estimativa das temperaturas superficiais das diversas regiões em torno do globo negro

Para a estimativa da temperatura superficial da cortina norte ($\hat{t}_{s,cn}$), os dados muito discrepantes foram descartados para um melhor ajuste. O motivo de tal evento pode ter ocorrido em virtude de os dados terem sido coletados em pontos fixos do galpão e, porventura, na coleta, o ponto observado pode ter sido influenciado pela irradiação solar que incidia diretamente sobre a cortina, o que aumentaria substancialmente a temperatura neste local.

Realizou-se a análise de regressão linear múltipla para determinar a equação da temperatura estimada da cortina norte em função das variáveis selecionadas (equação 30). O respectivo coeficiente de determinação da

regressão (R^2) e o coeficiente de determinação da regressão ajustado (R^2 ajustado) foram de 40,9% e 40,5%, respectivamente, e o seu valor reduzido deve-se à grande variabilidade dos dados e ao fato de serem dados pontuais. Observou-se que os coeficientes da equação estimada da temperatura superficial da cortina norte foram significativos, a 5% de probabilidade.

$$\hat{t}_{s,cn} = 35,7 - 0,0324 UR_{int} - 0,0601 UR_{ext} - 0,424 t + 0,201 t_{bs,ext} \quad (30)$$

em que:

$\hat{t}_{s,cn}$: temperatura superficial estimada da cortina norte (°C);

UR_{int} : umidade relativa interna (%);

UR_{ext} : umidade relativa externa (%);

t: tempo (horas);

$t_{bs,ext}$: temperatura de bulbo seco externa (°C).

Para a determinação da equação da temperatura estimada superficial da cortina sul ($\hat{t}_{s,cs}$) foram utilizados os dados integralmente, sem necessidade de filtragem (dados menos discrepantes), devido, principalmente, à posição solar durante a estação do ano na qual foram coletados. Constatou-se maior inclinação solar para o lado norte magnético, o que não influenciaria diretamente sobre a variação de temperatura verificada na cortina do lado sul do galpão.

Assim como na determinação da equação da temperatura estimada da cortina norte, realizou-se a análise de regressão linear múltipla para determinar a equação da temperatura estimada da cortina sul, em função das variáveis selecionadas (equação 31). Os valores de coeficiente de determinação da regressão (R^2) e o coeficiente de determinação da regressão ajustado (R^2 ajustado) foram de 56,4% e 55,9%, respectivamente. Observou-se que os coeficientes da equação da temperatura estimada da superfície da cortina sul foram significativos, a 5% de probabilidade.

$$\hat{t}_{s,cs} = 15,5 + 0,265 t_{bs,ext} + 0,359 t_{bs,int} - 0,229 t + 0,0261 UR_{int} - 0,0520 UR_{ext} \quad (31)$$

em que:

$\hat{t}_{s,cs}$: temperatura superficial estimada da cortina sul (°C);

$t_{bs,int}$: temperatura de bulbo seco interna (°C).

Para a determinação da equação empírica para a estimativa da temperatura superficial do forro ($\hat{t}_{s,forro}$) foram utilizados todos os dados.

Realizou-se, dessa forma, a análise de regressão linear múltipla para determinar a equação da temperatura do forro em função das variáveis selecionadas (Equação 32), em que os valores de R^2 e R^2 – ajustado, foram de 58,3% e 57,9%, respectivamente. Observou-se que os coeficientes da equação da temperatura estimada da superfície do forro foram significativos, a 5% de probabilidade.

$$\hat{t}_{s,forro} = 22 + 0,155 t_{bs,ext} - 0,371 t + 0,454 t_{bs,int} + 0,0324 UR_{int} - 0,0938 UR_{ext} \quad (32)$$

em que:

$\hat{t}_{s,forro}$: temperatura superficial estimada do forro do galpão (°C).

Para a equação da estimativa da temperatura superficial da cabeceira leste ($\hat{t}_{s,cl}$), realizou-se a análise de regressão linear múltipla em função das variáveis selecionadas (equação 33), tendo os valores de R^2 e R^2 – ajustado sido de 84,3% e 83,8%, respectivamente. Observou-se que os coeficientes ajustados para a equação da temperatura estimada da superfície da cabeceira leste foram significativos, a 5% de probabilidade.

$$\hat{t}_{s,cl} = 6,58 - 0,0321 UR_{ext} + 0,716 t + 0,460 t_{bs,int} \quad (33)$$

em que:

$\hat{t}_{s,cl}$: temperatura superficial estimada da cabeceira com orientação leste (°C).

No ajuste da equação para a estimativa da temperatura superficial da cabeceira oeste do galpão ($\hat{t}_{s,co}$), realizou-se a análise de regressão linear múltipla, para determinar a equação da temperatura da cabeceira oeste, em função das variáveis selecionadas (Equação 34), cujos respectivos valores de R^2 e R^2 – ajustado foram de 72,9% e 71,7%. Observou-se que os coeficientes da equação da temperatura estimada da superfície da cabeceira oeste foram significativos, a 5% de probabilidade.

$$\hat{t}_{s,co} = -167 + 0,170 t + 0,259 t_{bs,int} - 2,75 t_{bs,ext} + 87,3 t_{bs,ext}^{0,33} \quad (34)$$

em que:

$\hat{t}_{s,co}$: temperatura superficial estimada da cabeceira com orientação oeste (°C).

Para o ajuste da estimativa da equação para o cálculo da temperatura superficial do piso ($\hat{t}_{s,p}$), foram, inicialmente, ajustadas as equações da cama (Equação 35) e superfície das aves (Equação 36) separadamente, estando as equações em função apenas da temperatura de bulbo seco interna ($t_{bs,int}$, °C).

$$\hat{t}_{s,cama} = 39,1 - 0,287 t_{bs,int} \quad (35)$$

em que:

$\hat{t}_{s,cama}$: temperatura superficial estimada da cama de frango (°C).

$$\hat{t}_{s,aves} = 19,8 + 0,425 t_{bs,int} \quad (36)$$

em que:

$\hat{t}_{s,aves}$: temperatura superficial estimada das aves (°C).

Observou-se que os coeficientes das equações 35 e 36 foram significativos, a 5% de probabilidade. Após a determinação das equações, foi ajustada a equação para o piso, sendo esta definida como a média ponderada das equações 35 e 36. Cada superfície, cama e superfície das aves, possui um peso, influenciando na temperatura final da superfície do piso. Assim, definiu-se o parâmetro β , que corresponde à percentagem de área que está ocupada por aves dentro do galpão e que funciona como moderador de influência de cada região para a temperatura da superfície do piso, conforme está demonstrado na equação 37.

$$\hat{t}_{s,p} = \beta \hat{t}_{cama} + (1 - \beta) \hat{t}_{aves} \quad (37)$$

Substituindo-se na equação 37 os valores de t_{cama} e t_{aves} , que correspondem às equações 35 e 36, respectivamente, tem-se a equação para a estimativa da temperatura superficial do piso (Equação 38), que é função apenas da $t_{bs,int}$.

$$\hat{t}_{s,p} = \left(\frac{\beta}{100} \right) (39,1 - 0,287 t_{bs,int}) \quad (38)$$

em que:

$\hat{t}_{s,p}$: temperatura estimada do piso do galpão (°C);

β : parâmetro, percentagem de área ocupada pelas aves ($\beta = 90\%$, valor adotado neste trabalho).

O erro absoluto médio e o desvio padrão para os valores das temperaturas das superfícies observadas e as estimadas pelas equações ajustadas (equações 30 a 34 e 38) são listados na Tabela 3.

TABELA 3. Erro absoluto médio e desvio padrão para os valores das temperaturas das superfícies observadas e as estimadas pelas equações ajustadas.

	Temperaturas das superfícies					
	Cortina Norte	Cortina Sul	Cabeceira Leste	Cabeceira Oeste	Piso	Forro
Erro absoluto médio	1,17	0,84	0,66	0,62	1,01	0,95
Desvio padrão	1,05	0,66	0,52	0,48	0,77	0,72

Tendo em vista que os erros médios absolutos calculados entre os valores das temperaturas superficiais estimados e observados são muito próximos ou inferiores ($1,17^{\circ}\text{C}$) àqueles referentes à precisão do termômetro infravermelho ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) e que a magnitude destes erros teria pouca influência sobre o resultado final para o cálculo do ITGU, pode-se considerar que as equações são adequadas para o uso proposto.

5.3 Validação do modelo

Na Figura 8, apresenta-se a relação funcional dos ITGUs observados e simulados, sendo ajustada uma equação para estimativa do ITGU observados. A equação ajustada apresentou R^2 de 0,4128, sendo que, os coeficientes linear e angular são significativos (teste t, $P > 0,05$). Os valores médios e os desvios padrões dos ITGUs simulados e observados foram de $77,36 \pm 1,34$ e $76,64 \pm 1,55$, respectivamente, resultando em um desvio absoluto médio de $1,18 \pm 0,81$ e um erro médio de 0,93. Os resultados mostram-se promissores, tendo em vista que o sistema modelado depende de um grande número de variáveis sujeitas a grandes variações, tal como a velocidade do ar que é aleatória e tem influência nas trocas de calor por convecção nas superfícies externas do galpão.

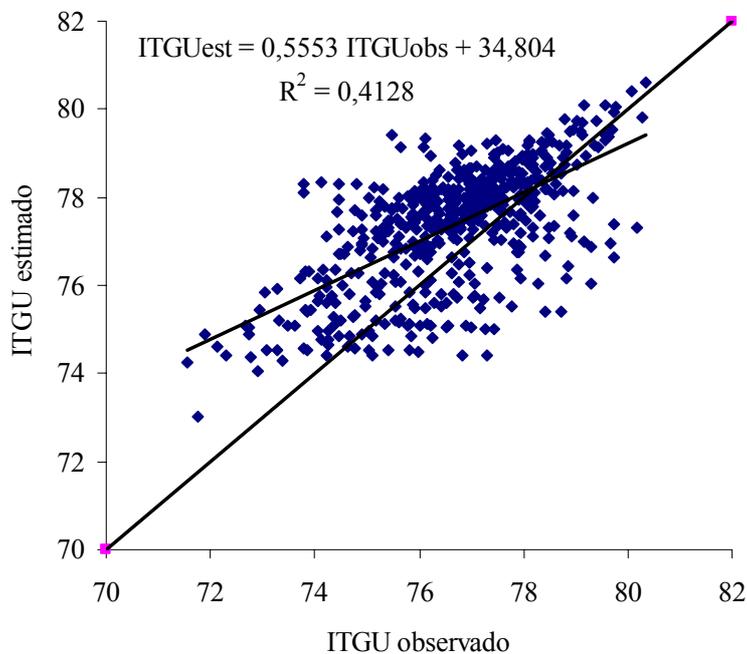


FIGURA 8. ITGUs observados e estimados pelo modelo.

5.4 Simulações computacionais

Para exemplificar a aplicação dos modelos matemático e computacional desenvolvidos, simulou-se o ITGU ao longo do galpão climatizado, para a criação de frangos de corte, equipado com sistema de ventilação em modo túnel negativo e sistemas de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e nebulização.

5.4.1 Simulação computacional do modelo

Os dados climáticos de entrada utilizados correspondem ao dia 27 de março de 2008, às 12h26min, nos quais a temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente externo assumiram valores de 26,3°C e 82%, respectivamente. Os

demais valores das variáveis de entrada correspondem aos usados por Carvalho (2006), por se tratar do mesmo galpão avaliado pelo autor.

Os resultados das simulações realizadas pelo modelo fornecem informações sobre o comportamento do ITGU ao longo do galpão, conforme ilustrado na Figura 9a, possibilitando a classificação do estado de conforto com base nos limites estabelecidos por Medeiros et al. (2005). Na Figura 9b está destacada a zona em azul como a área do galpão que oferece conforto para as aves, área esta onde a ave atinge altos valores de ganho de peso diário, um maior consumo de ração e melhor conversão alimentar, como verificado por Medeiros et al. (2005).

Ainda na Figura 9b verifica-se que, a partir do comprimento 90,5 m, a condição classificada é de estresse térmico, sendo o ambiente inadequado à produção e em piores desempenhos das aves, conforme o verificado por Medeiros et al. (2005), que observaram que as aves ficam mais agitadas, ofegantes e abrem as asas, visando aumentar a área de dissipação de calor. Neste experimento, observou-se a tendência das aves apresentarem-se mais afastadas da zona em vermelho, o que confirma os resultados. Quando mantidas em estresse por calor, os frangos de corte reduzem seu crescimento em maior proporção que o consumo de ração, o que resulta em pior índice de conversão alimentar, conforme relatado por diversos autores (Geraert et al., 1996; Baziz et al., 1996; Oliveira Neto et al., 2000).

Em adição, pela Figura 9c, podem-se obter informações sobre a percentagem das áreas do galpão, considerando o ITGU constante em cada volume de controle, submetidas aos intervalos de conforto citados previamente. Neste caso específico, verifica-se que 72,8% do galpão está na zona de conforto térmico e 27,2% está acima do limite de conforto.

Simulações desta natureza auxiliam o usuário no desenvolvimento de projetos e ou no manejo de galpões climatizados para a criação de frangos de

corde, propiciando a simulação de diversos cenários e a compreensão do sistema como um todo.

Os resultados indicam que a primeira metade do galpão constitui em uma melhor região de criação de frangos de corte, comparada a outra metade, apresentando um comportamento de ITGU dentro da zona de conforto que vai reduzindo ao longo do galpão. Resultados similares foram obtidos por Carvalho (2006) e Damasceno (2008), sugerindo que o *layout* do galpão seja modificado em favor da homogeneidade do ambiente térmico, ao longo do seu comprimento. Miragliotta (2000) e Aradas et al. (2005) encontraram maiores valores de temperaturas de bulbo seco no setor de saída do ar, próximo aos exaustores, ocasionado pelo efeito de arraste do sistema de ventilação, coincidindo com o observado nas simulações realizadas e, condizentes, portanto, com o aumento gradativo do ITGU após o ar passar pelas placas porosas umedecidas.

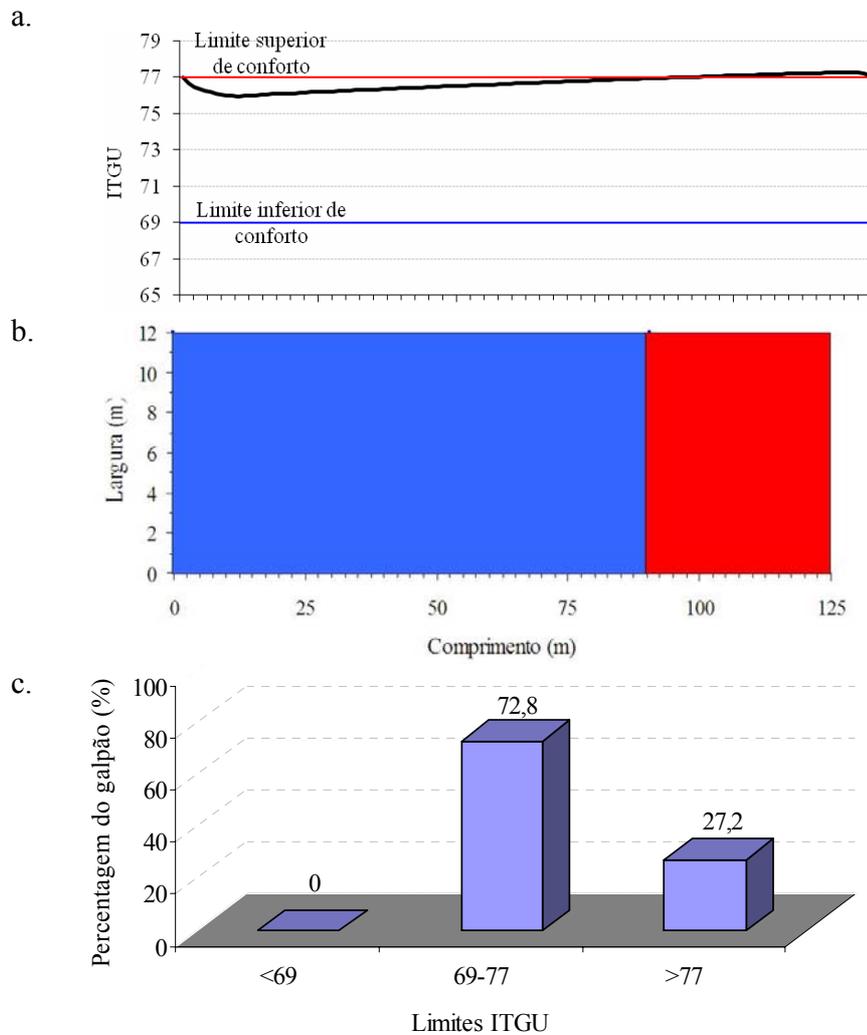


FIGURA 9. Representação do (a) comportamento do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) ao longo de um galpão climatizado, equipado com ventilação em modo túnel negativo e sistemas de resfriamento evaporativo do tipo material poroso umedecido e nebulização, com a respectiva (b) classificação de conforto (azul: conforto térmico e vermelho: desconforto por calor) e (c) percentagem da área do galpão classificadas nos limites propostos por Medeiros et al. (2005).

5.4.2 Efeito das mudanças climáticas sobre a produção de frangos de corte no município de Goiânia, GO

Para esta simulação, foi considerado o mesmo galpão climatizado para a criação de frangos de corte utilizado para a validação do modelo, dividido em 125 volumes de controle. Os dados climáticos de umidade relativa, temperatura média, temperatura máxima e a pressão atmosférica foram obtidos das normais climatológicas para o município de Goiânia no período de 1961-1990 (Brasil, 1992), sendo estes dados médios mensais. Os demais dados de entrada correspondem aos usados por Carvalho (2006).

Os resultados das simulações de ITGU em função da temperatura média, utilizando o cenário atual e os cenários futuros A2 e B2 (IPCC, 2007), representados nas Figuras 10, 11, 12 e 13, indicam um aumento gradativo do ITGU ao longo dos anos dentro das instalações, fato este que se deve, principalmente, ao aumento da temperatura externa do ar. Os aumentos previstos de ITGU para o ano de 2050, com base no aumento da temperatura do ar média para Goiânia, são de 1,2 a 1,3 e de 1,6 a 1,8 considerando os cenários B2 e A2, respectivamente. Para 2100, espera-se aumentos de 2,3 a 2,5 e de 3,2 a 3,6 para os cenários citados anteriormente. Os meses de junho e julho apresentaram os maiores acréscimos nos valores de ITGU em relação ao cenário atual (Tabela 1ª em anexo), aumentando em 1,3 e 1,8 (2050) e 2,5 e 3,6 (2100), para os cenários B2 e A2, respectivamente.

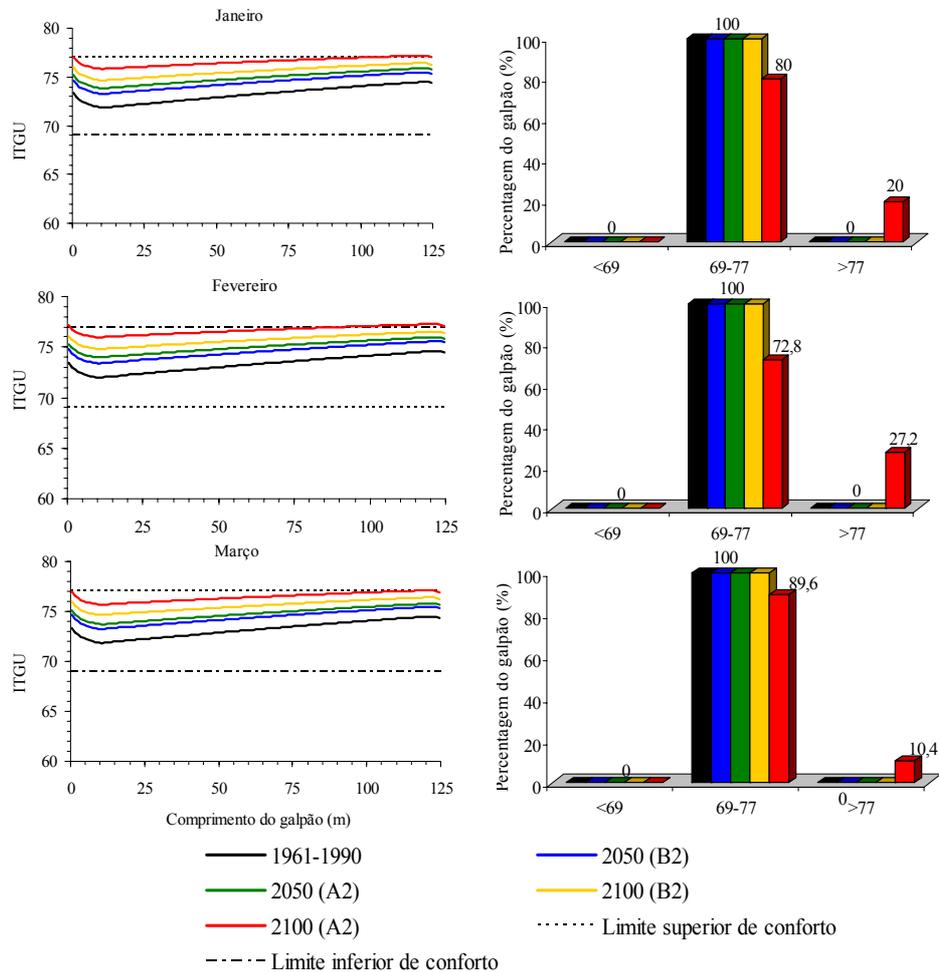


FIGURA 10. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de janeiro, fevereiro e março, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março (Figura 10), observa-se que os valores de ITGU, estimados em função da temperatura média do ar, encontram-se dentro dos limites de conforto em praticamente todos os cenários. Eles atingiram níveis de desconforto térmico para o ano de 2100 no cenário A2, em

que alcançaram 27,2% do galpão encontra-se na zona considerada de estresse térmico para o mês de fevereiro.

Na Figura 11, está demonstrado o comportamento do ITGU, estimado em função da temperatura média do ar, ao longo do comprimento do galpão, para os meses de abril, maio e junho. Para o mês de abril, os valores encontrados de ITGUs estão dentro dos limites de conforto em todos os cenários. No mês de maio, no cenário atual, cerca de 16% do galpão encontra-se na zona de estresse por frio, atingindo níveis de conforto térmico ao longo dos anos nos cenários B2 e A2. O mês de junho apresenta 68,8% do galpão, para o cenário atual, em desconforto, chegando a 100% de conforto térmico no ano de 2100, nos cenários B2 e A2.

Os valores de ITGU, estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, estão demonstrados na Figura 12. No mês de julho, no cenário atual, 88% do galpão encontra-se na zona de estresse por frio, mas atinge 100% da área do galpão na zona de conforto no ano de 2100, para o cenário A2. No mês de agosto, considerando o cenário atual, mais da metade do galpão (57,6%) apresenta-se na zona de estresse por frio. O problema foi diminuindo ao longo dos anos, chegando a 100% de conforto no ano de 2100, nos cenários B2 e A2. Para o mês de setembro, observa-se que, para todos os anos e em todos os cenários, o galpão encontra-se na zona de conforto térmico.

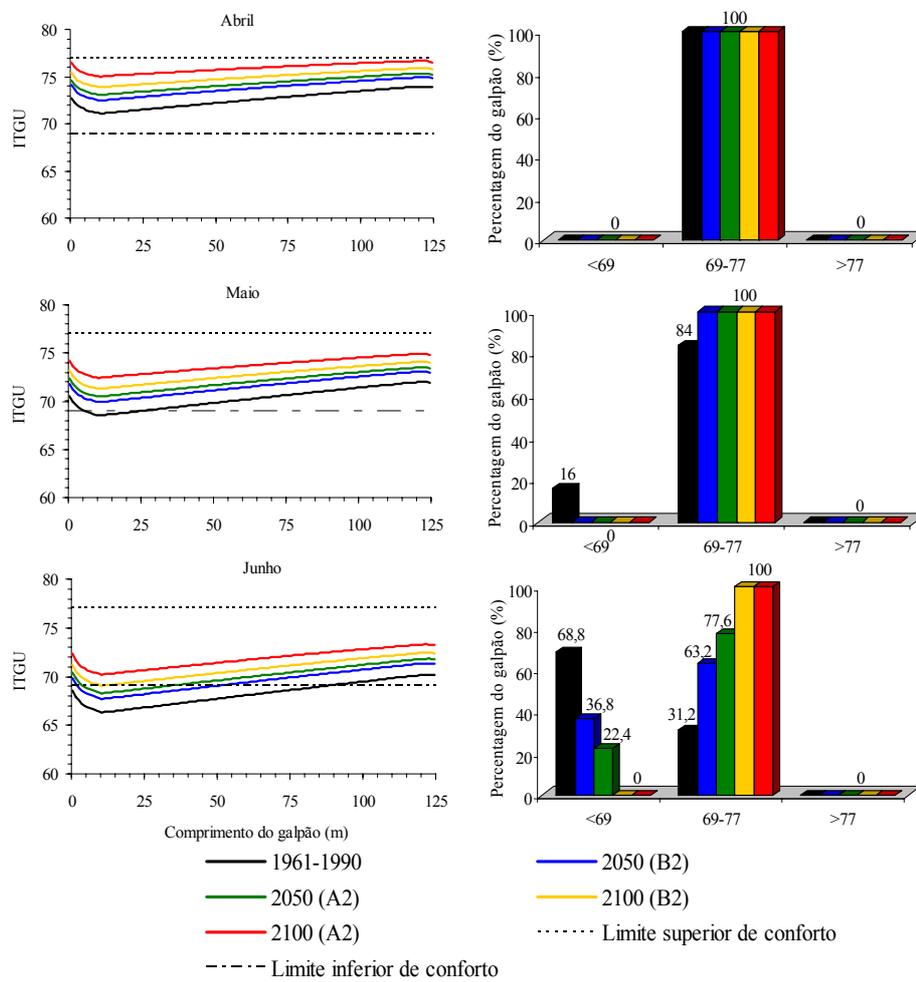


FIGURA 11. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de abril a junho, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

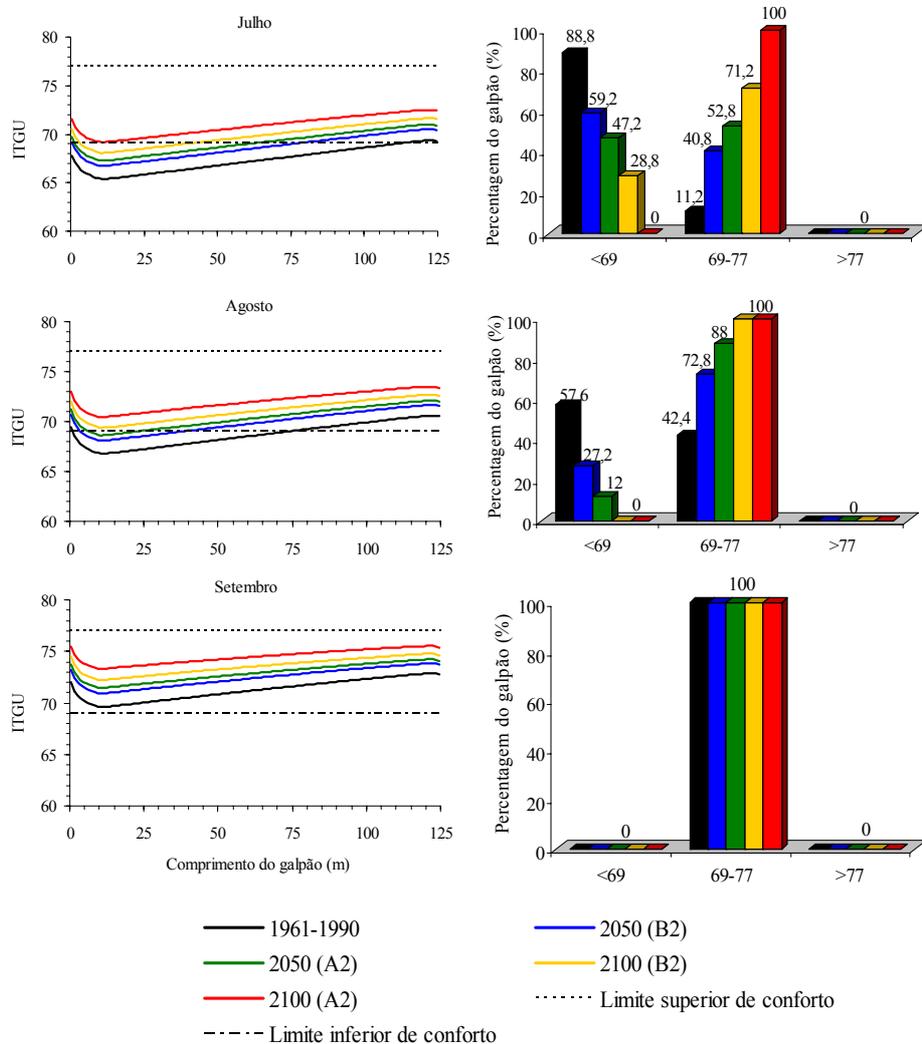


FIGURA 12. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

De acordo com os gráficos da Figura 13, para os meses de outubro, novembro e dezembro, os valores encontrados de ITGUs, estimado em função

da temperatura média do ar acrescido do aumento da temperatura proposta pelo IPCC (2007) de acordo com os cenários B2 e A2, estão dentro dos limites de conforto, exceto para os meses de novembro e dezembro no cenário A2, no qual 16% e 10,4% do galpão encontra-se na zona de desconforto térmico, respectivamente.

Deve-se salientar que valores maiores de ITGU podem ocorrer no interior do galpão, pois, nas simulações, foram utilizados valores médios da temperatura média do ar no ambiente externo como dado de entrada no modelo. Ademais, de junho a agosto (Figuras 11 e 12), observa-se que os valores de ITGU, calculados em função da temperatura média do ar externo, mantêm-se na região de conforto ou inferior à mesma, indicando que o sistema de resfriamento pode ser desligado ou funcionar sem utilizar toda a sua capacidade. Nos demais meses é freqüente encontrar valores de ITGU próximos ou, até mesmo, dentro dos limites de conforto ao longo do comprimento do galpão, caracterizando um desempenho animal favorável à alta produtividade.

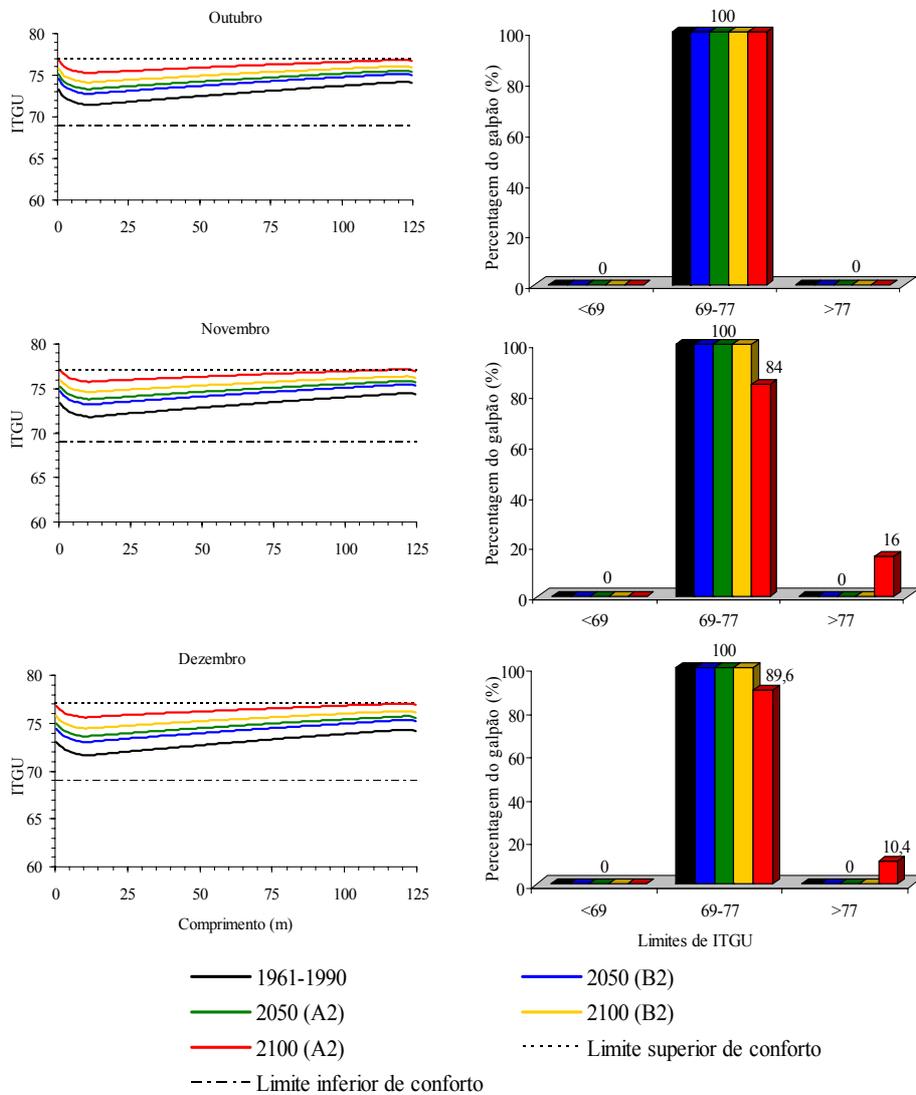


FIGURA 13. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura média do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

Os resultados das simulações de ITGU com base nas médias das temperaturas máximas do ar, para o cenário atual e os cenários futuros A2 e B2 (IPCC, 2007), estão apresentados nas Figuras 14 a 17.

Para os meses de janeiro a março (Figura 14) e abril (Figura 15), todo o galpão encontra-se na zona de desconforto térmico, para todos os anos e em todos os cenários. Verifica-se, assim, um mau funcionamento do sistema, sendo necessário rever o manejo e as condições de projeto das instalações deste galpão.

No verão ocorre um aumento das temperaturas superficiais das regiões em torno do globo negro, fazendo com que ele absorva mais calor do ambiente, acarretando a elevação da sua temperatura com consequente elevação dos valores de ITGU. O mesmo foi constatado por Furtado et al. (2003), analisando o conforto térmico em galpões avícolas.

O mês de maio (Figura 15) apresenta condições de conforto em 37,6% do galpão no cenário atual, sendo que, em junho, 100% do galpão encontra-se nesta situação. Por sua vez, para o ano de 2050 considerando o cenário B2, apenas 32,8% do galpão encontra-se classificado como estando em conforto térmico. Esta situação tende a ser mais crítica ao se considerar o pior cenário, A2 em 2050 ou todos os cenários em 2100.

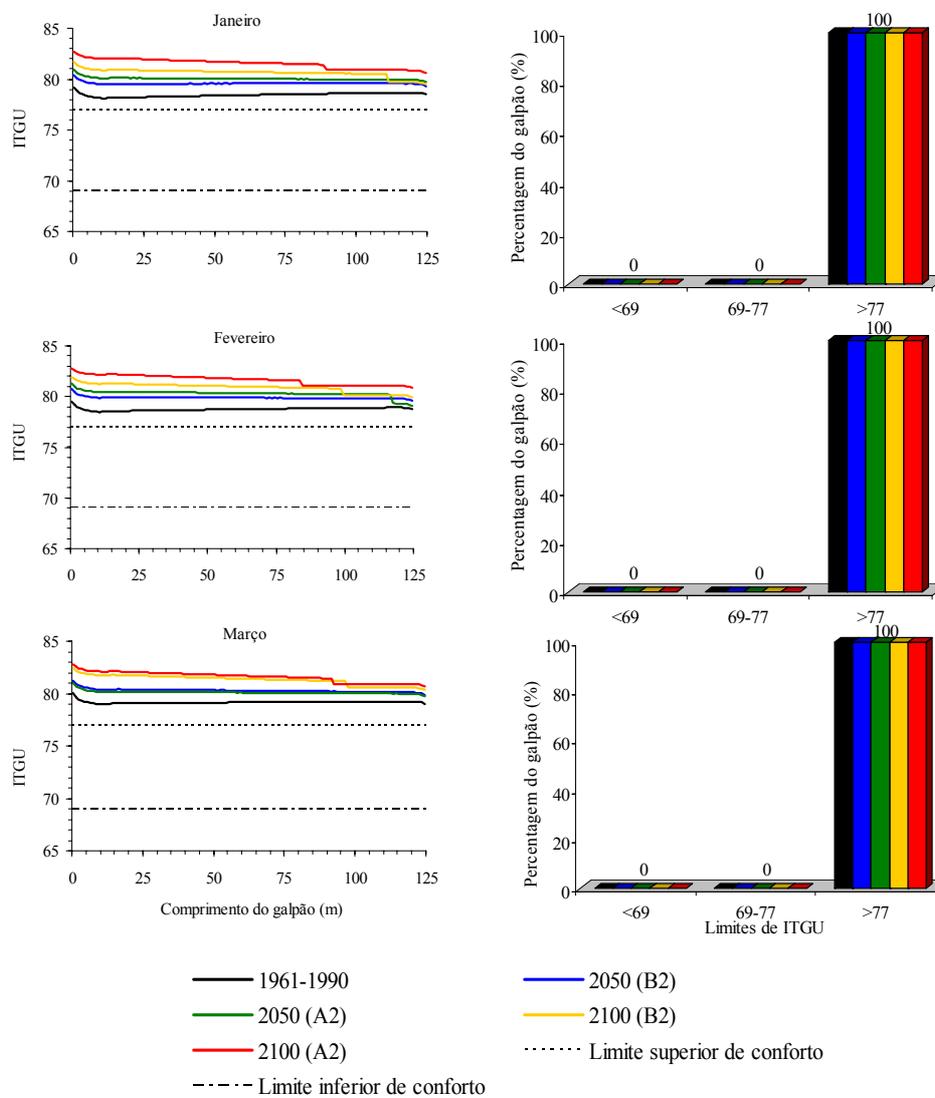


FIGURA 14. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de janeiro, fevereiro e março, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

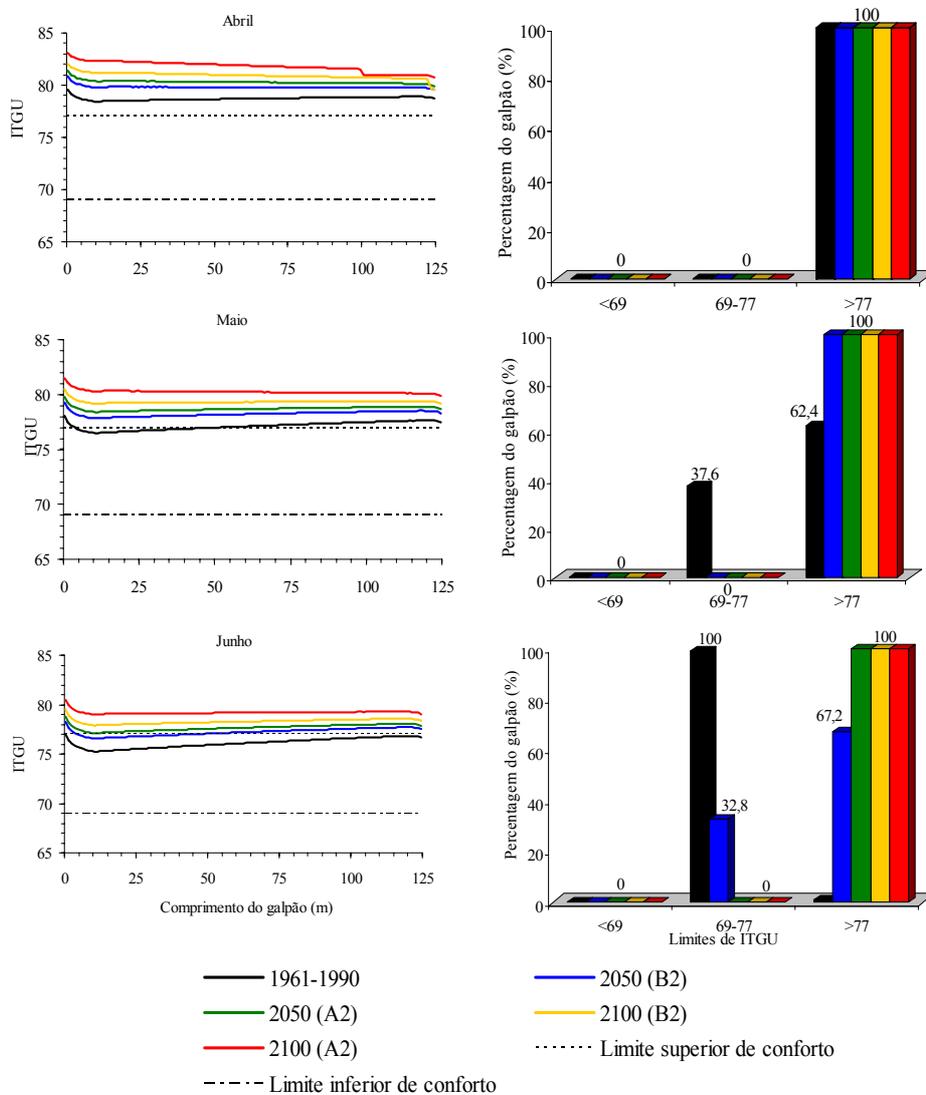


FIGURA 15. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de abril, maio e junho, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

Na Figura 16 observa-se que, no mês de julho houve uma maior percentagem do galpão em condições de conforto, chegando a 100% no cenário atual, diminuindo ao longo dos anos de 2050 e 2100, nos cenários B2 e A2, atingindo o máximo de desconforto térmico no ano de 2100 no cenário A2. O mês de agosto apresentou 87,2% no cenário atual, reduzindo bruscamente a percentagem do galpão em conforto no ano de 2050 cenário B2, chegando a apenas 7,2% do galpão na zona de conforto. Nos demais meses, setembro (Figura 16), outubro, novembro e dezembro todos os cenários para simulação apresentaram ITGUs acima do limite de conforto indicado por Medeiros et al. (2005), ITGU no intervalo de 78 a 88, havendo redução no ganho de peso diário e diminuição de 43% na ingestão de alimentos, podendo ser considerados os piores meses para a produção avícola, visto que, em todo o comprimento do galpão, a ave está susceptível a níveis altos de estresse calórico.

As simulações realizadas apresentam tendências gerais que podem ser importantes na definição de estratégias de redimensionamento dos galpões e do sistema utilizado para climatização, de forma a adequar todo o sistema produtivo de frangos de corte. Entretanto, condições mais críticas podem ocorrer devido à natureza dos dados utilizados ou devido ao próprio microclima do local onde o galpão está situado, estando susceptível a grandes variações ao longo do dia.

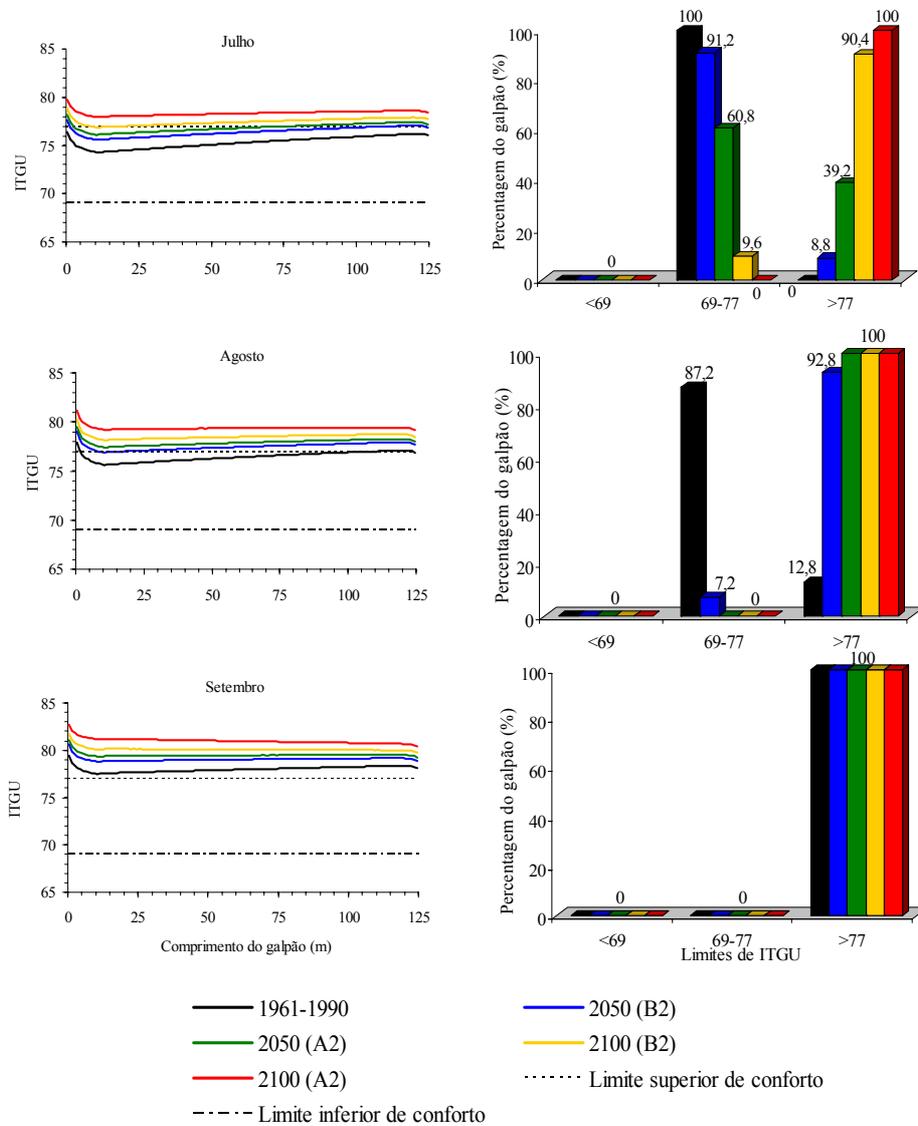


FIGURA 16. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de julho, agosto e setembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

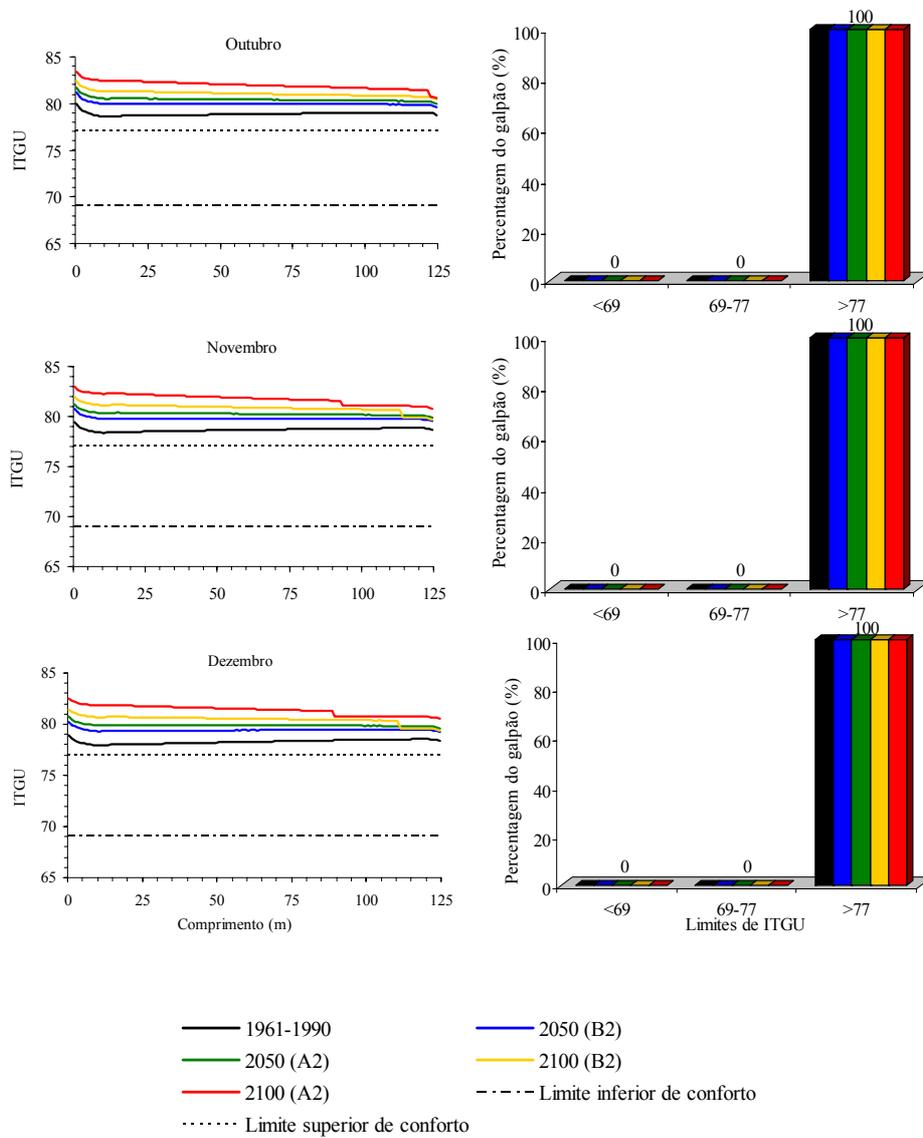


FIGURA 17. Representação dos comportamentos dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), estimados em função da temperatura máxima do ar, para os meses de outubro, novembro e dezembro, para o período de 1961-1990 e de acordo com os cenários B2 e A2 (IPCC, 2007), para os anos de 2050 e 2100.

Em concordância com os de Borges et al. (2008), os resultados desta pesquisa evidenciam os efeitos negativos das variações climáticas tendendo ao aumento das temperaturas superficiais terrestre, sobre o ambiente térmico de produção de frangos de corte. Extensas áreas, que atualmente apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento de espécies podem se perder e muitas espécies poderiam não se adaptar o suficiente para poder enfrentar este novo cenário (Marengo, 2006).

Verifica-se, ainda, a tendência do problema se agravar ao longo dos anos com o aquecimento global, conforme relatado por diversos autores, como Franco (2004) e Melado (2007), que estudaram a influência da pecuária de corte no aquecimento global; Borges et al. (2008), que avaliaram o efeito das mudanças climáticas sobre o conforto de frangos de corte.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo matemático e computacional, adaptado para a predição do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) no interior de galpões climatizados para criação de frangos de corte, é uma metodologia aplicável e promissora, podendo auxiliar no projeto e manejo do sistema.

Nos cenários futuros, utilizando-se a temperatura média do ar, ocorreram situações de estresse por calor apenas nos meses de novembro e dezembro para o ano de 2100 e cenário A2. Entretanto, quando utilizada a temperatura máxima, foi observado que, na maioria dos meses, houve estresse por calor em todos os anos e cenários.

Avaliando-se os cenários atual e futuros, observa-se que o potencial aumento das temperaturas mundiais, previsto pelo IPCC (2007), resultará em ambientes menos propícios à produção de frangos de corte no município de Goiânia, GO, sendo que, àqueles meses considerados como mais propícios à produção atualmente, tendem a ser reclassificados como causadores de certo desconforto térmico aos animais, nos cenários futuros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Diagnóstico bioclimático: qual sua importância na produção de aves. **Avicultura Industrial**, v. 91, n.1093, p.16-20, set. 2001.

ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Eficiência do resfriamento evaporativo por meio de pad cooling em aviários climatizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006. CD-ROM.

AERTS, J.M.; WATHES, C.M.; BERCKMANS, D. Dynamic data-based modeling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management system. **Biosystems Engineering**, v.3, n.84, p.257-266, 2003.

ALBRIGHT, L.D. **Environmental control for animals and plants**. Saint Joseph: ASAE, 1990. 276p.

ALVES, A.R. **Irradiância solar global em superfícies de diferentes inclinações e azimutes, para Viçosa, MG**. 1981. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARADAS, M.E.C.; NÄÄS, I.A.; SALGADO, D.A. Comparing the thermal environment in broiler houses using two bird densities under tropical conditions. **CIGR Journal of Scientific Research and Development**, v.7, Mar. 2005. Manuscript BC 03 017.

Associação brasileira dos produtores e exportadores de frango ABEF. **Relatório anual**. 2007. Disponível em: <<http://www.abef.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

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

BALNAVE, D. Challenges of accurately defining the nutrient requirements of heat-stressed poultry. **Poultry Science**, Champaign, v.83, n.1, p.5-14, 2004.

BARNWELL, R.; ROSSI, A. Maximização da performance em períodos quentes. **Avicultura Industrial**, v.11, p.72-80, 2003.

BAZIZ, H.A.; GERAERT, P.A.; GUILLAUMIN, S. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. **Poultry Science**, Champaign, v.75, p.505-513, 1996.

BEDFORD, T.; WARNER, C.G. **The globe temperature in studies of heating and ventilation**. Pittsburg: Industrial Health Research Board, 1934. 7p.

BIEMBENGUT, M.S.; HEIN, N. **Modelagem matemática no ensino**. São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

BIEMBENGUT, M.S.; HEIN, N. **Modelagem matemática no ensino**. São Paulo: Contexto, 2003. 128p.

BONNET, S.; GERAERT, P.A.; LESSIRE, M.; CARRE, B.; GUILLAUMIN, S. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.76, n.6, p.857-863, 1997.

BORGES, G.; YANAGI JUNIOR, T.; CARVALHO, L.G.; DAMASCENO, F.A.; YANAGI, S.N.M. Climate changes influence on inside thermal environment of broiler houses. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, BRASILIAN CONGRESS OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 37.; INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM – ILES, 8., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2008. CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DF, 1992. 84p.

BROOKS, F.A. **An introduction to physical microclimatology**. Davis: University of California, 1959. 264p.

BUFFINGTON, C.S.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Amsterdam, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

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

CARVALHO, V.F.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F.A.; MORAES, S.R.P.; TINÔCO, I.F.F. Análises de sensibilidade de um modelo matemático para predição do ambiente térmico em galpões climatizados para frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006. CD-ROM.

CARVALHO, V.F.; YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R.S.; DAMASCENO, F.A.; MORAES, S.R.P. Mathematical model for thermal environment and broiler chickens performance prediction in acclimatized housings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, BRASILIAN CONGRESS OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 37.; INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM – ILES, 8., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2008. CD-ROM.

CASTILHO, J.E. **Cálculo numérico**. Uberlândia: UFU, 2001. 70p.

CERNIGLIA, G.J.; HERBERT, J.A.; WATTS, A.B. The effect of constant ambient temperature and ration on the performance of sexed broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.62, n.5, p.746-754, 1983.

CHAVES, M.I.A. **Modelando matematicamente questões ambientais relacionadas com a água a propósito do ensino-aprendizagem de funções na 1ª série-EM**. 2005. 152f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemáticas)–Universidade Federal do Pará, Belém.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 409p.

DAMASCENO, F.A. **Bem-estar do animal e do trabalhador em galpões avícolas climatizados**. 2008. 195f. Dissertação (Mestrado em Construções e Ambiente)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

DONALD, J. Environmental control options under different climatic conditions. **World Poultry**, v.14, n.11, p.22-23, 1998.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar energy-thermal processes**. New York: J. Wiley, 1974.

ELLEN, H.H.; BOTTCHEER, R.W.; WACHENFELT, E.; TAKAI, H. Dust levels and control methods in poultry houses. **Journal Agriculture Safety and Healty**, v.6, p.275-282, 2000.

ESMAY, M.L.; DIXON, J.E. **Environmental control for agricultural buildings**. Westport: AVI, 1986. 287p.

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

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

FRANCO, G.L.; DIOGO, J.M.S. Manejo de bovinos de corte para minimizar o impacto ambiental. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 6.; CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 14.; REUNIÃO NACIONAL DE ENSINO EM ZOOTECNIA, 10.; FÓRUM DE ENTIDADES DE ZOOTECNISTAS, 17., 2004, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABZ; AZOO-DF; UPIS, 2004. p.351-364.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual do conforto térmico**. 8.ed. São Paulo: Nobel, 2003. 243p.

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

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**, Saint 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**, Saint Joseph, v.34, n.5, p.2199-2206, Sept./Oct. 1991.

GEBREMEDHIN, K.G.; WU, B. **A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer**. Saint Joseph: ASAE, 2000. p.537-545. (ASAE paper, 4114).

GERAERT, P.A.; PADILHA, J.C.F.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure chickens: growth performance, body composition and energy retention. **British Journal Nutrition**, London, v.75, p.195-204, 1996.

HAI, L.; RONG, D.; ZHANG, D.Z.Y. The effect of thermal environment on the digestion of broilers. **Journal Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.83, n.1, p.57-64, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001**: impacts, adaptation and vulnerability. Genebra, 2001. 25p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007**: the physical science basis: summary for policymakers: contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Genebra, 2007. 18p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate change and water**: technical paper of the intergovernmental panel on climate change, IPCC secretariat. Geneva, 2008. 210p.

JENTZSCH, R. **Estudos de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. 103f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KELLY, C.F.; BOND, T.E.; ITTNER, N.R. Designer of livestock shades. **California Agriculture**, v.8, n.8, p.3-4, 1954.

KOCAMAN, B.; ESENBUGA, N.; YILDIZ, A.; LAÇIN, E.; MACIT, M. Effects of environmental conditions in poultry houses on the performance of laying hens. **International Journal of Poultry Science**, Cambridge, v.5, n.1, p.26-30, 2006.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A.L.P.; CARLO, J.C. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 2005. 80p. Apostila.

LARANJEIRA, E.G.; ROSSI, A. Avaliação de modelo computacional para supervisão e controle de casas de vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006. CD-ROM.

LOPES, A.Z.; FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; LACERDA, W.S. Modeling productive performance of broiler chickens with artificial neural network. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, BRASILIAN CONGRESS OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 37.; INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM – ILES, 8., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2008. CD-ROM.

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

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiente na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I.J.O. **Água na produção de aves em clima.** Jaboticabal: SBEA, 2001. v.1, p.31-87.

MACKEY, C.O.; WRIGHT, L.T. Periodic heat flow-homogeneous walls or roofs. **Transactions of the ASHRAE**, v.50, n.1255, p.293-312, 1944.

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

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 2006. 212p.

MARTA FILHO, J. **Método quantitativo de avaliação de edificações para animais, através da análise do mapeamento dos índices de conforto térmico.** 1993. 159f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

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

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. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDEIROS, C.M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte.** 2001. 115f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação)-Universidade de 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. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.4, p.277-286, out./dez. 2005.

MELADO, J. Pastagem ecológica e serviços ambientais da pecuária sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Santa Maria, v.2, n.2, p.1777-1783, out. 2007.

MILLIGAN, J.L.; WINN, P.N. The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers. **Poultry Science**, Champaign, v.43, p.817-824, 1964.

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação dos níveis de amônia em dois sistemas de produção de frangos de corte com ventilação e densidade diferenciados.** 2000. 122p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambientação)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

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

MOURA, D.J. Ambientação na produção de aves de corte. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical.** Piracicaba: NUPEA-ESALQ/USP, 2001. p.75-148.

NÃÃS, I.A.; MIRAGLIOTTA, M.Y.; ARADAS, M.E.C.; SILVA, I.J.O.; BARACHO, M.S. Controle e sistematização em ambientes de produção. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical.** Piracicaba: NUPEA-ESALQ/USP, 2001. v.1, p.75-148, 165p.

NACAS, I.A.; MOURA, D.J.; LAGANÁ, C.A. A amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS AVÍCOLAS, 1995, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: FACTA. 1995. p.203-204.

NATIONAL WEATHER SERVICE. **Livestock hot weather stress**: regional operations manual letter C-31-76. Washington, DC, 1976. 45p.

NOBRE, C.A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, p.239-258, 2001.

OLIVEIRA, J.L. **Hot weather livestock housing analysis**. 1980. 120f. Thesis (Ph.D. in Agricultural Engineering)-Michigan State University, East Lansing.

OLIVEIRA, J.L.; ESMAY, M.L. Systems model analysis of hot weather housing for livestock. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, n.81-4561, p.1-17, 1981.

OLIVEIRA, L.M.F. **Efeitos climáticos no conforto térmico animal e humano**. 2004. 114f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA NETO, A.R.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ROSTAGNO, H.S.; FERREIRA, R.A.; MAXIMIANO, H.C.; GASPARINO, E. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dieta controlada e dois níveis de energia metabolizável. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.1, p.183-190, 2000.

PALTRIDGE, G.W.; PLATT, C.M.R. **Radiative processes in meteorology and climatology**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1976. 318p.

PÉCORÁ, J.D.; SILVA, R.G. **Unidades métricas correlacionadas à temperatura**. Ribeirão Preto: USP, 2005. Disponível em: <http://www.forp.usp.br/restauradora/pg/textos_tecnicos/metrologia/metrologia_temperatura.html>. Acesso em: 7 dez. 2008.

PIASSENTIN, J.A. **Conforto medido pelo índice de temperatura do globo negro e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa, MG**. 1984. 98f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RIVERO, R.O. **Arquitetura e clima**: acondicionamento térmico natural. 2.ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato, 1986. 240p.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96p.

SAINSBURY, D. **Sanidad y alojamientos para animales**. Barcelona: Continental, 1971. 196p.

SALATI, E.; NOBRE, C.A.; SANTOS, A.A. Amazonian deforestation: regional and global issues. **Amazoniana**, v.8, n.3/4, p.463-481, 2001.

SAMER, M.; GRIMM, H.; HATEM, M.; DOLUSCHITZ, R.; JUNGBLUTH, T. Spreadsheet modeling to size dairy sprinkler and fan cooling system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, BRASILIAN CONGRESS OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 37.; INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM – ILES, 8., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2008. CD-ROM.

SAS INSTITUTE. **User's guide**: release 8.2. Cary, 2001. 943p.

SEVEGNANI, K.B.; SILVA, S.H.M.; SILVA, I.J.O. Estudo das variações fisiológicas em frangos de corte submetidos ao estresse térmico utilizando análise exploratória de dados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006. CD-ROM.

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

SILVA, M.P. **Zoneamento bioclimático para produção avícola no território brasileiro**. 2006. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade de Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIMMONS, J.D.; LOTT, B.D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint 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. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.39, n.5, p.1801-1809, Sept./Oct. 1996.

TAO, X.; XIN, H. **Temperature-humidity-velocity index for market-size broilers**. Las Vegas: ASAE, 2003. 12p. (ASAE paper, 34037).

TEETER, R.G.; SMITH, M.O.; MURRAY, E. Force feeding methodology and equipment for poultry. **Poultry Science**, Champaign, v.63, n.4, p.573-575, 1984.

TEIXEIRA, V.H. **Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco – MG**. 1983. 62f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

TINÔCO, I.F.F. **Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte**. 1988. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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. 169p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TINÔCO, I.F.F. Ambiência e instalações para avicultura industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27.; ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 3., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.1-86.

TINÔCO, I.F.F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.1, p.1-23, jan./abr. 2001.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 375p.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife: UFPE, 2006. CD-ROM.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.

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

YAHAV, S.; GOLDFELD, S.; PLAVNIK, I.; HURWITZ, S. Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal Thermal Biology**, Southampton, v.20, n.3, p.245-253, 1995.

YANAGI JUNIOR, T.; CARVALHO, V.F.; YANAGI, S.N.M.; DAMASCENO, F.A. Modelagem da eficiência de resfriamento (η) evaporativo em sistemas de placas porosas umedecidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006a. CD-ROM.

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: ASAE, 2001a. p.482-489.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R.S. **Thermal discomfort index for laying hens**. Saint Joseph: ASAE, 2001b. 13p. (ASAE paper, 1-4064).

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, T.H.; GATES, R.S. A research facility for studying poultry responses to heat stress and its relief. **Applied Engineering in Agriculture**, v.18, n.2, p.255-260. 2002.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R.S.; FERREIRA, L. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, 2006b. CD-ROM.

YOUSEF, M.K. Stress physiology in livestock. **Poultry Science**, Boca Raton, v.3, p.159, 1985.

8 ANEXOS

TABELA 1A. ITGUs médios calculados com base nas temperaturas médias (ITGU_{médio}) e máximas (ITGU_{máx}) para os diversos cenários, utilizando as temperaturas médias e máximas das normais climatológicas para o município de Goiânia, GO.

		ITGU			
		ITGU _{médio}	Δ ITGU	ITGU _{máx}	Δ ITGU
Jan	1961-1990	$73,2 \pm 0,8$	-	$78,5 \pm 0,2$	-
	2050 (B2)	$74,4 \pm 0,7$	1,2	$79,6 \pm 0,1$	1,1
	2050 (A2)	$74,9 \pm 0,6$	1,7	$80,0 \pm 0,1$	1,6
	2100 (B2)	$75,6 \pm 0,5$	2,4	$80,6 \pm 0,4$	2,2
	2100 (A2)	$76,6 \pm 0,4$	3,3	$81,5 \pm 0,5$	3,1
Fev	1961-1990	$73,3 \pm 0,8$	-	$78,8 \pm 0,1$	-
	2050 (B2)	$74,5 \pm 0,7$	1,2	$79,9 \pm 0,1$	1,1
	2050 (A2)	$75,0 \pm 0,6$	1,7	$80,3 \pm 0,3$	1,5
	2100 (B2)	$75,7 \pm 0,5$	2,4	$80,9 \pm 0,4$	2,1
	2100 (A2)	$76,7 \pm 0,4$	3,4	$81,7 \pm 0,5$	2,9
Mar	1961-1990	$73,2 \pm 0,8$	-	$79,2 \pm 0,1$	-
	2050 (B2)	$74,4 \pm 0,7$	1,2	$80,3 \pm 0,2$	1,1
	2050 (A2)	$74,8 \pm 0,6$	1,6	$80,1 \pm 0,1$	0,9
	2100 (B2)	$75,6 \pm 0,5$	2,4	$81,3 \pm 0,5$	2,1
	2100 (A2)	$76,4 \pm 0,4$	3,3	$81,6 \pm 0,5$	2,4
Abr	1961-1990	$72,5 \pm 0,9$	-	$78,7 \pm 0,2$	-
	2050 (B2)	$73,8 \pm 0,8$	1,2	$79,8 \pm 0,1$	1,1
	2050 (A2)	$74,3 \pm 0,7$	1,7	$80,3 \pm 0,2$	1,6
	2100 (B2)	$74,9 \pm 0,6$	2,4	$80,9 \pm 0,3$	2,2
	2100 (A2)	$75,9 \pm 0,5$	3,3	$81,8 \pm 0,5$	3,1
Mai	1961-1990	$70,3 \pm 1,1$	-	$77,1 \pm 0,4$	-
	2050 (B2)	$71,5 \pm 1,0$	1,3	$78,2 \pm 0,2$	1,1
	2050 (A2)	$72,0 \pm 0,9$	1,8	$78,7 \pm 0,2$	1,6
	2100 (B2)	$72,7 \pm 0,9$	2,5	$79,3 \pm 0,1$	2,2
	2100 (A2)	$73,7 \pm 0,8$	3,5	$80,3 \pm 0,2$	3,1

Tabela 1A. (continuação).

		ITGU			
		ITGU _{médio}	Δ ITGU	ITGU _{máx}	Δ ITGU
Jun	1961-1990	68,2 \pm 1,2	-	76,1 \pm 0,5	-
	2050 (B2)	69,5 \pm 1,1	1,3	77,2 \pm 0,4	1,1
	2050 (A2)	70,1 \pm 1,1	1,8	77,7 \pm 0,3	1,6
	2100 (B2)	70,8 \pm 1,0	2,5	78,3 \pm 0,2	2,2
	2100 (A2)	71,8 \pm 1,0	3,6	79,2 \pm 0,2	3,1
Jul	1961-1990	67,3 \pm 1,2	-	75,3 \pm 0,6	-
	2050 (B2)	68,6 \pm 1,2	1,3	76,4 \pm 0,5	1,1
	2050 (A2)	69,1 \pm 1,2	1,8	76,8 \pm 0,4	1,5
	2100 (B2)	69,9 \pm 1,1	2,5	77,5 \pm 0,3	2,2
	2100 (A2)	70,9 \pm 1,0	3,6	78,4 \pm 0,2	3,0
Ago	1961-1990	68,7 \pm 1,2	-	76,5 \pm 0,5	-
	2050 (B2)	69,9 \pm 1,1	1,2	77,5 \pm 0,3	1,0
	2050 (A2)	70,4 \pm 1,1	1,7	77,9 \pm 0,3	1,5
	2100 (B2)	71,1 \pm 1,0	2,4	78,5 \pm 0,2	2,1
	2100 (A2)	72,0 \pm 0,9	3,3	79,4 \pm 0,2	2,9
Set	1961-1990	71,3 \pm 1,0	-	78,0 \pm 0,3	-
	2050 (B2)	72,4 \pm 0,9	1,2	79,1 \pm 0,2	1,1
	2050 (A2)	72,9 \pm 0,9	1,7	79,5 \pm 0,2	1,5
	2100 (B2)	73,6 \pm 0,8	2,3	80,1 \pm 0,2	2,1
	2100 (A2)	74,5 \pm 0,7	3,2	81,0 \pm 0,3	3,0
Out	1961-1990	72,8 \pm 0,9	-	78,9 \pm 0,2	-
	2050 (B2)	74,0 \pm 0,7	1,2	80,0 \pm 0,2	1,1
	2050 (A2)	74,5 \pm 0,7	1,7	80,4 \pm 0,2	1,6
	2100 (B2)	75,2 \pm 0,6	2,3	81,1 \pm 0,3	2,2
	2100 (A2)	76,1 \pm 0,5	3,3	82,0 \pm 0,4	3,1
Nov	1961-1990	73,2 \pm 0,8	-	78,7 \pm 0,2	-
	2050 (B2)	74,4 \pm 0,7	1,2	79,8 \pm 0,1	1,1
	2050 (A2)	74,9 \pm 0,6	1,7	80,3 \pm 0,2	1,6
	2100 (B2)	75,6 \pm 0,5	2,4	80,9 \pm 0,4	2,2
	2100 (A2)	76,5 \pm 0,4	3,3	81,8 \pm 0,5	3,1
Dez	1961-1990	73,0 \pm 0,8	-	78,3 \pm 0,2	-
	2050 (B2)	74,2 \pm 0,7	1,2	79,4 \pm 0,1	1,1
	2050 (A2)	74,7 \pm 0,6	1,7	79,9 \pm 0,1	1,6
	2100 (B2)	75,4 \pm 0,6	2,4	80,5 \pm 0,4	2,2
	2100 (A2)	76,4 \pm 0,4	3,4	81,4 \pm 0,5	3,1