

**AVALIAÇÃO E PREDIÇÃO DO AMBIENTE  
TÉRMICO EM MODELOS REDUZIDOS DE  
GALPÕES AVÍCOLAS EQUIPADOS COM  
TELHADOS NATURAL E  
ARTIFICIALMENTE VENTILADOS**

**PEDRO ANTONIO DOS SANTOS**

**2004**

**PEDRO ANTONIO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO E PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM  
MODELOS REDUZIDOS DE GALPÕES AVÍCOLAS EQUIPADOS  
COM TELHADOS NATURAL E ARTIFICIALMENTE  
VENTILADOS**

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

Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

M'

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

**Santos, Pedro Antonio**

Avaliação e predição do ambiente térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas equipados com telhados natural e artificialmente ventilados / Pedro Antonio Santos. -- Lavras : UFLA, 2004.

65 p. : il.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Avicultura. 2. Ambiente térmico. 3. Galpão avícola. 4. Telhado. 5. Ventilação natural. 6. Ventilação artificial. 7. Simulação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-636.50831

**PEDRO ANTONIO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO E PREDIÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM  
MODELOS REDUZIDOS DE GALPÕES AVICOLAS EQUIPADOS COM  
TELHADOS NATURAL E ARTIFICIALMENTE VENTILADOS**

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

**APROVADA em 26 de Abril de 2004**

**Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira**

**UFLA**

**Prof. Dr. Sebastião Pereira Lopes**

**UFLA**

**Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes**

**UFLA**

**Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

**À minha esposa, Caetana Natália e**

**minhas filhas,**

**Naianne e Larissa,**

**por suportarem o grande tempo de ausência,**

**OFEREÇO.**

**Aos meus pais, Antonio e Antonia (in memoriam);**

**Aos amigos(as) que souberam compartilhar este trabalho,**

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus

A Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

A Universidade Federal de Roraima pela minha liberação para aperfeiçoamento.

Ao prof. Tadayuki Yanagi Junior, pela orientação segura, disponibilidade, paciência, incentivo e amizade demonstrados durante o curso e na realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, professores Vitor Hugo Teixeira, Sebastião Pereira Lopes e Francisco Carlos Gomes pelas sugestões apresentadas.

Aos professores da área de concentração construtores rurais e ambiental, em especial aos professores Tadayuki Yanagi Junior, Vitor Hugo Teixeira, Francisco Carlos Gomes, Sebastião Pereira Lopes e Paulo César Hardoin, sempre presentes.

Ao prof. Mozart Martins Ferreira, Prefeito do Campus da UFLA, pelos auxílios prestados na confecção dos modelos reduzidos de galpões avícolas.

Ao prof. Manoel Alves de Faria, Chefe do DEG/UFLA, pela liberação de recursos na compra de alguns materiais de construção.

Ao professor Jacinto de Assunção Carvalho, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Eng. Agrícola, em agilizar a documentação necessária à habilitação do curso.

Aos professores Antônio Augusto Aguiar Damás, Jacinto de Assunção Carvalho, Nilson Salvador e Pedro Castro Neto, pelo empréstimo de equipamentos para medição, facilitando, a coleta dos dados.

Ao meu cunhado, Vitorio Lauro D'Amico, por ter doado as telhas de alumínio.

Aos colegas do curso de Engenharia Agrícola, em especial aos da área de concentração de construtores rurais e ambiental, pela amizade permanente.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos auxílios prestados.

Aqueles que não foram citados, mas nem por isso esquecidos, pois o trabalho em muito dependeu deles, o meu MUITO OBRIGADO.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Temperatura do ar.....	4
2.2 Temperatura do globo negro .....	5
2.3 Umidade relativa.....	5
2.4 Velocidade do ar .....	6
2.5 Índices térmicos do ambiente.....	7
2.6 Sombreamento e radiação .....	10
2.7 Efeitos do ambiente sobre o conforto térmico animal.....	10
2.8 Recursos para redução do fluxo de calor sobre a cobertura.....	12
2.8.1 Materiais isolantes e reflexivos.....	12
2.8.2 Forro .....	13
2.8.3 Pintura.....	13
2.8.4 Telhados ventilados .....	14
2.9 Teoria da similitude .....	15
2.10 Modelos reduzidos.....	16
2.11 Efetividade .....	16
2.12 Modelagem matemática .....	17
2.13 Predição do ITGU em galpões avícolas por meio de modelo matemático	18
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
3.1 Construção dos modelos em escala reduzida .....	26
3.2 Instrumentação e medições no interior dos modelos em escala reduzida ....	29
3.2.1 Temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e globo negro .....	30
3.2.2 Velocidade do ar .....	32

## RESUMO

**SANTOS, Pedro Antonio dos. Avaliação e predição do ambiente térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas equipados com telhados natural e artificialmente ventilados. 2004. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na área de Construções Rurais e Ambiente)\* - Universidade Federal de Lavras, Lavras.**

O ambiente térmico no interior de modelos construídos em escala reduzida (1:10) foi avaliado por meio do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR) e efetividade (E). O ambiente térmico no interior de quatro modelos físicos com telhados construídos com telhas cerâmicas e equipados com ventilação natural ou forçada foram comparados a dois modelos físicos construídos com telhas de cerâmica e alumínio, respectivamente, sem lanternim. Ademais, valores de ITGU e CTR simulados por meio de um modelo matemático foram comparados aos valores medidos para verificar a possibilidade de uso deste modelo matemático para projetar novos experimentos usando modelos físicos construídos em escala reduzida.

---

\* Comitê Orientador: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFLA (Orientador),  
Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira - UFLA.



## **ABSTRACT**

**SANTOS, Pedro Antonio dos. Evaluation and prediction of the thermal environment in scaled poultry buildings equipped with natural and artificially ventilated roofs. 2004. 66 p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering in the Structures and Environment)\* - Universidade Federal de Lavras, Lavras.**

**Thermal environment inside of physical models of poultry houses built in reduced scale (1:10) were evaluated through the black-globe humidity index (BGHI), thermal heat load (THL) and effectiveness ( $\epsilon$ ). Thermal environment inside of four different physical models with roof built with ceramic tiles and equipped with natural or forced roof ventilation were compared to two physical models built with ceramic and aluminum tiles, respectively, and without ridge vent. Indeed, values of BGHI and THL simulated by a mathematical model were compared to measured values to verify the possible use of this mathematical model in order to design new experiments using physical models built in reduced scale.**

---

\* **Guidance Commite: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFLA (Adviser), Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira - UFLA.**

# 1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira é uma das principais atividades agropecuárias do país e ocupa lugar de destaque no mercado mundial. Essa exploração tem passado por uma verdadeira evolução tecnológica nos últimos anos, principalmente no que se refere às instalações avícolas, que tem possibilitado aumentos crescentes de produção. Em razão disso, as exportações têm aumentado e a oferta de carne para o mercado interno tem contribuído para diminuir os preços de venda ao consumidor.

Do ponto de vista do agronegócio, a avicultura tem sido um dos componentes principais, pois no suporte à produção, tem-se vinculado a setores da produção de grãos, da indústria de fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos agrícolas, agentes financeiros, pesquisa agropecuária e transportes. Acrescenta-se também que, na fase de distribuição e processamento da produção avícola, outros setores são mobilizados, como o armazenamento e o comércio em geral, desde o atacado até o varejo.

No entanto, para manter esta inter-relação, o setor avícola tem buscado sistemas produtivos que possibilitem às aves expressar todo o potencial genético com baixo custo operacional, energético e de mão-de-obra; com máximo de produtividade. Para isso, têm sido construídos galpões cada vez mais automatizados e principalmente, que atendam ao conforto térmico das aves. Até recentemente, pouca atenção tinha sido dada às fases de planejamento e concepção arquitetônica das instalações avícolas, que objetivam compatibilizar projeto e materiais utilizados na melhoria das condições de conforto térmico no interior dos galpões.

Segundo Tinôco (2001), um ambiente é considerado confortável quando não ocorre nenhum desperdício de energia, seja para compensar o frio, ou para acionar seu sistema de dissipação do excesso de calor do ambiente. Desta forma,

a ave está em condições de conforto e, conseqüentemente, de produtividade máxima.

Aves com alto valor genético para produção e reprodução não têm desenvolvido esse potencial, em razão das altas temperaturas e umidades do ar nas regiões de clima tropical e subtropical. Para obter melhores índices de conforto térmico nessas regiões, artificios importantes foram criados, dentre eles a ventilação natural ou artificial.

Os fatores térmicos são constituídos basicamente pela temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação solar. Para controlar esses fatores, utilizam-se os mais simples artificios, como a orientação do abrigo, uso de cortinas e lanternim, até os meios mais sofisticados como os ventiladores e painéis porosos para resfriamento evaporativo.

São denominados de modificações primárias os artificios que buscam controlar os fatores ambientais naturais no sentido de proporcionar melhor conforto térmico aos animais. Essas modificações são de simples execução e permitem proteger o animal durante períodos extremos de frio ou de calor, ajudando-o a manter aproximadamente constante sua temperatura corporal. Como exemplos dessas modificações podem ser citados o sombreamento, os quebra-ventos e a ventilação natural.

Esgotadas as possibilidades de aproveitamento das modificações primárias, as secundárias devem ser acionadas no manejo do ambiente interno dos galpões. Geralmente envolvendo custos mais altos, devido o alto grau de sofisticação, essas modificações compreendem processos artificiais de ventilação, aquecimento e refrigeração.

Dentre os componentes de um galpão avícola, o telhado é o que mais contribui para o aumento da carga térmica de radiação (CTR) no interior da instalação. No entanto, galpões equipados com ventilação forçada, muitas vezes, necessitam das modificações primárias para reduzir a CTR no interior do galpão

**em condições de altas temperaturas, auxiliando assim, na redução do consumo de energia e podendo até evitar a morte das aves em condições de falta de energia elétrica.**

**Com base no exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de telhados natural e artificialmente ventilados no ambiente térmico do interior de modelos construídos em escala reduzida de galpões avícolas durante o período de verão.**

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Temperatura do ar**

As características térmicas de uma região são avaliadas em grande parte pela temperatura ambiente, a qual varia com a altitude local, proximidade do mar e com o paisagismo, além da movimentação de massas de ar que fazem com que haja oscilação, possibilitando, com isso, o conhecimento de índices indicativos que irão caracterizar as regiões. Dessa forma, a temperatura de bulbo seco do ar (tbs) é um dos principais parâmetros que caracterizam termicamente uma região, destacando-se pela facilidade de medição.

O conhecimento das temperaturas médias, máximas e mínimas de determinada região é de extrema importância para que se possa conceber uma determinada instalação, escolher os materiais construtivos mais adequados, definir o tipo de ventilação a ser adotada, bem como verificar a necessidade de se usar algum sistema de resfriamento evaporativo.

Para que as aves se mantenham em condições de conforto térmico, a tbs deve estar em torno de 35°C na primeira semana de vida da ave, 32°C na segunda, 29°C na terceira, 26°C na quarta e 23°C na quinta (Milligan & Winn, 1964; Curtis, 1983).

Confirmando a influência da temperatura na produção animal, Teixeira (1983) cita algumas experiências que comprovam as relações vitais das aves sobre tbs, como por exemplo, que frangos criados nas últimas cinco semanas de idade, em temperaturas acima de 26,7°C, durante pelo menos doze horas por dia, tiveram menor ganho de peso quando comparados aos criados em temperaturas mais amenas.

## **2.2 Temperatura do globo negro**

Nos trabalhos de pesquisa se tem usado o termômetro de globo negro para avaliar a temperatura do globo negro (tgn) que constitui forma prática e eficiente de isolar a temperatura radiante média de outros fatores do ambiente térmico. A avaliação completa do conforto animal depende, em grande parte, da quantificação desse fator (Bond & Kelly, 1955; Moraes, 1999; Jentsch, 2002).

O termômetro de globo negro padrão consiste de uma esfera oca de cobre, com diâmetro 15 cm e espessura 0,5 mm, pintada externamente na cor preto fosco. A temperatura em seu interior pode ser medida por termômetro de mercúrio ou sensor tipo termopar acoplado à termômetro digital.

Desde o início de sua utilização até o presente, o termômetro de globo negro tem sofrido variações no que diz respeito ao tamanho e material de confecção, em virtude, principalmente, do preço do globo de cobre utilizado no instrumento padrão e de estudos conduzidos em modelos em escala reduzida (Souza et al., 2002).

A tgn representa os efeitos combinados da energia radiante, tbs e velocidade do ar ( $v$ ), elementos climáticos importantes que causam desconforto ao animal (Bond & Kelly, 1955).

## **2.3 Umidade relativa**

O ar atmosférico sempre contém quantidade de vapor de água, variando com a temperatura, região, estações do ano, vegetação e águas dos rios, oceanos e mares. A umidade é então definida como o vapor d'água contido no ar sob forma de gotículas invisíveis, comportando-se como um gás. E quando essa umidade é elevada no interior dos aviários a níveis superiores aos admissíveis, verifica-se a ocorrência de problemas de ordem sanitária e deterioração dos materiais de construção no curto prazo.

O principal mecanismo de dissipação de calor pelas aves, em ambientes sujeitos a altas temperaturas, é através da evaporação por via respiratória. Essas aves terão maiores dificuldades de perder calor pela respiração caso esse ambiente esteja com alta percentagem de umidade relativa (UR), o que constitui fator negativo ao aumento de produtividade (Baião, 1995).

Segundo Hicks (1973), a UR do ar, para aves em geral, deve estar entre 35% e 75%.

Relacionando esses fatos aos aspectos da engenharia de construção, observa-se que isso influi na melhor escolha do local para as futuras instalações avícolas.

## 2.4 Velocidade do ar

O conhecimento da velocidade do ar ( $v$ ) e sua direção são fatores importantes para o planejamento das construções destinadas a criações de pequenos, médios e grandes animais. Além disso, conhecendo as características climáticas da região onde se localiza a exploração, as necessidades ambientais de diferentes espécies, o tipo de manejo e as características da construção, pode-se ter idéia da localização e das dimensões das aberturas que atendam às necessidades de ventilação.

Schimid (1998) argumenta que, no interior do aviário, torna-se necessário que haja uma ventilação adequada a fim de eliminar os excessos de umidade e outros gases como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ , o que possibilita a renovação do ar e evita as doenças pulmonares, o que é tão comum em ambientes com ar impuros.

Quando a ventilação natural for insuficiente, a utilização da ventilação artificial torna-se importante para garantir níveis adequados de qualidade do ar.

Segundo Llobet & Gondolbeu (1980), Vaquero (1981) e Curtis (1983), a velocidade ideal para movimentação do ar próximo às aves adultas é de

aproximadamente  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$  no inverno e  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  no verão. Esse limite pode ser menor para as aves mais jovens.

## 2.5 Índices térmicos do ambiente

O conhecimento das variáveis climáticas é primordial para a avaliação e controle do ambiente ao redor dos animais. A  $t_{bs}$ , provavelmente, é o fator bioclimático de maior relevância no estudo do ambiente físico do animal. Entretanto, apenas a  $t_{bs}$  não é suficiente para avaliar as condições ambientais; outras variáveis são também importantes, tais como a UR,  $v$  e a energia radiante (Rivero, 1986; Perdormo, 1988).

Vários índices de conforto térmico foram propostos com o objetivo de avaliar as condições ambientais para produção animal. Thom (1959), desenvolveu o índice de temperatura e umidade (ITU), englobando os efeitos das temperaturas de bulbo seco e úmido, conforme mostrado a seguir:

$$\text{ITU} = 0,72 (t_{bs} + t_{bu}) + 40,6 \quad (1)$$

em que:

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

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

Apesar do ITU ainda ser muito utilizado, principalmente nos países de clima temperado onde as instalações zootécnicas possuem bom isolamento térmico, tem-se buscado incorporar a velocidade do ar no ITU. Tao & Xin (2003) desenvolveram o índice de temperatura, umidade e velocidade do ar (ITUV) para frangos de corte sujeitos a condições agudas de desconforto térmico por calor, equação 2.



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

em que:

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

Outros índices incorporando  $t_{bs}$ , UR e  $v$  têm sido desenvolvidos. A equação 3 mostra o índice ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc) desenvolvido por Medeiros (2001) e a equação 4, mostra o índice de desconforto térmico para galinhas poedeiras desenvolvido por Yanagi Junior (2001a).

$$IAPfc = 45,6026 - 2,31072 \cdot t_{bs} - 0,368331 \cdot UR + 9,70922 \cdot v + \\ 0,0549243 \cdot t_{bs}^2 + 0,00121828 \cdot UR^2 + 0,66329 \cdot v^2 + \\ 0,0128968 \cdot t_{bs} \cdot UR - 0,300928 \cdot t_{bs} \cdot v - 0,05952 \cdot UR \cdot v \quad (3)$$

em que:

UR = umidade relativa do ar, %.

$$IDT = -15,17 \cdot (\pm 1,42) + 18,62 \cdot (\pm 1,64) \cdot (t_{bs})_n - \\ 0,92 \cdot (\pm 0,44) \cdot (DVP_{ar} \cdot \sqrt{v})_n \quad (4)$$

sendo,

$$(t_{bs})_n = \frac{t_{bs}}{(t_{bs})_{max}} \quad , \quad (t_{bs})_{max} = 41^{\circ}C ;$$

$$(DVP_{ar} \cdot \sqrt{v}) = \frac{DVP_{AR} \cdot \sqrt{v}}{(DVP_{ar} \cdot \sqrt{v})_{max}} \quad , \quad (DVP_{ar} \cdot \sqrt{v})_{max} = 5,8 \text{ kP.a.m.}^{-1}$$

DVP = déficit de vapor de pressão do ar, kPa;

$(\pm 1,42)$ ,  $(\pm 1,64)$ ,  $(\pm 0,44)$  = desvios padrões.

Segundo Buffington et al. (1981), o índice mais adequado para prever as condições de conforto térmico, em regiões tropicais, é o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), equação 5, em razão de incorporar a  $t_{ba}$ , a UR, a V e a radiação, em um único valor.

$$ITGU = 0,72 (t_{gn} + t_{ba}) + 40,6 \quad (5)$$

Outro parâmetro importante para a avaliação da condição ambiental é a carga térmica de radiação (CTR), que segundo Esmay (1974) pode ser determinada pela seguinte equação:

$$CTR = \sigma (T_m)^4 \quad (6)$$

sendo

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

CTR = carga térmica radiante ( $\text{W.m}^{-2}$ )

$T_m$  = temperatura média radiante, calculada pela equação

$$T_m = 100 \cdot \left[ 2.51 \cdot \sqrt{v} \cdot (T_{gn} - T_{ba}) + \left( \frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right]^{1/4} \quad (7)$$

## **2.6 Sombreamento e radiação**

O sombreamento natural ou artificial tem por objetivo propiciar melhores condições de conforto térmico para os animais em climas quentes, principalmente no verão. Quando os animais estão expostos ao ar livre, a radiação solar é a principal responsável pelo acréscimo do calor corporal. No período do dia, o calor que o animal absorve, provem da radiação solar, direta ou indiretamente, tomando-se um dos principais agentes causadores de estresse aos animais. Projetar estruturas de sombreamento é um dos mecanismos para atenuar esses efeitos (Baêta & Souza, 1997).

Bond et al. (1961) verificaram que o sombreamento pode reduzir a CTR incidente sobre o animal. Essa redução depende do desempenho do material de cobertura utilizado para promover o sombreamento.

O sombreamento ideal é aquele produzido por árvores, embora seus valores comparativos sejam de difícil mensuração (Kelly et al., 1954).

Para Santos et al. (1993); Turco et al. (1994); Abreu et al. (1995) e Baeta & Souza (1997), nas condições brasileiras, o sombreamento por meio de coberturas reduz entre 20% a 40% da carga térmica de radiação no interior de instalações para animais. Em seus estudos, Bond et al. (1961) mediram a radiação térmica recebida de várias partes da instalação, que envolviam um animal à sombra, e concluíram que 28% da CTR provinha do céu, 21% do material de cobertura, 18% da área não-sombreada e 33% da área sombreada. Conclui-se, portanto, que a quantidade de CTR devido ao material de cobertura e sua sombra detém mais de 50% da radiação térmica total.

## **2.7 Efeitos do ambiente sobre o conforto térmico animal**

Os limites de temperatura da zona de termoneutralidade (ZT) para frangos de corte adultos variam de 15°C a 25°C (Milligan & Winn, 1964; Reece et al., 1986; Curtis, 1983; Esmay & Dixon, 1986 e Timmons & Gates, 1988),

podendo variar em função da sua constituição genética, idade, sexo, tamanho corporal, peso, dieta e exposição prévia ao calor (aclimatação).

Sainsbury (1971), Yousef (1985) e Medeiros (2001), estudando a influência do ambiente térmico no desempenho produtivo de frangos de corte com idade variando de 22 a 42 dias, verificaram que, de forma geral, a faixa de temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar que resultam em maior desempenho animal ocorrem entre 21 e 27°C, 50 e 70% e 0,5 e 1,5 m.s<sup>-1</sup>, respectivamente. O desvio do ambiente térmico em relação à ZT resulta em decréscimo produtivo das aves e em casos extremos, podem levá-las à morte.

Estudos desenvolvido por Macari & Furlan (1999) verificaram a redução do consumo de ração e o aumento das exigências energéticas de frangos de corte quando submetidos a altas temperaturas. Acima de 30°C observou-se decréscimo no desempenho produtivo das aves.

Outros estudos mostram as relações entre o empenamento e a temperatura ambiente, tal como a redução significativa do empenamento de frangos de corte mantidos em altas temperaturas (Cooper & Wasburn, 1998). Cahaner et al. (1993), citados por Macari & Furlan (1999), verificaram que frangos com gene Na, de pescoço pelado e menor intensidade de empenamento, apresentam melhor desempenho quando expostos à altas temperaturas do ambiente.

Além da tbs, a UR e a v exercem um papel importante nas trocas de calor entre o animal e o ambiente. O principal mecanismo de dissipação de calor pelas aves, em temperaturas elevadas, é a evaporação de água decorrente do processo respiratório, fazendo com que haja redução do déficit de vapor de pressão do ar (DVP<sub>v</sub>) e, conseqüentemente, diminuição da capacidade de evaporação da umidade proveniente da respiração. Dessa forma, a alta umidade relativa do ar pode ser considerada como um fator prejudicial à produtividade avícola (Baião, 1995).

A ventilação deve atender às exigências higiênicas (durante o inverno) e térmicas (durante o verão). Schmid (1998) verificou que a necessidade de ar de frangos de corte varia de  $6,8 \text{ l}\cdot\text{ave}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , para temperatura do ar de  $4,4^\circ\text{C}$  e idade das aves de 1 semana, a  $144,4 \text{ l}\cdot\text{ave}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , para temperatura do ar de  $43,3^\circ\text{C}$  e idade das aves de 7 semanas. Vários estudos têm mostrado o efeito benéfico da velocidade do ar como meio de alívio de desconforto térmico de aves (Medeiros, 2001; Yanagi Junior et al., 2001b, c; Yanagi Junior, 2002).

## **2.8 Recursos para redução do fluxo de calor sobre a cobertura**

Reduzir a carga térmica sobre as coberturas significa também diminuir os efeitos prejudiciais desta sobre os animais. Segundo Costa (1982), isso pode ser feito com a utilização de materiais que apresentem alto poder reflexivo, grande inércia térmica, bom isolamento e, adequando a isso, outros artificios de construção que possam contribuir para o melhor conforto térmico dos animais.

### **2.8.1 Materiais isolantes e reflexivos**

Entende-se por materiais isolantes aqueles que possuem alto grau de resistência ao fluxo de calor e são utilizados normalmente com esse objetivo. A radiação solar pode ser diminuída com o uso de isolantes sobre ou sob as telhas como o poliuretano, eucatex, lã de vidro ou similares e ainda, com a colocação de forro abaixo da cobertura (Moraes, 1999).

Os efeitos não desejáveis da radiação solar podem ser traduzidos na temperatura da cobertura, uma vez que, dependendo da sua natureza, ocorrem diferenças na absorção, transmissão e reflexão da energia solar. Assim, um bom material de cobertura apresenta temperaturas superficiais amenas, devendo ter alta refletividade solar conjugada à alta emissividade térmica na parte superior da superfície e baixa absorvidade conjugada à baixa emissividade térmica na parte inferior (Baeta & Souza, 1997).

### **2.8.2 Forro**

De acordo com Costa (1982) o forro, por ser uma barreira a mais além do telhado, tem atuação importante na redução do fluxo de calor para o ambiente interno, permitindo a formação de uma camada de ar móvel junto à cobertura. Esta redução é de 62 % ao se passar de um abrigo sem forro para um abrigo com forro simples de duratex de 6 mm não ventilado e de 90 % no caso de forro com ventilação. O uso de lanternins, quando bem dimensionados, tem contribuído para melhor ventilação no interior da instalação.

Tem-se utilizado muito pouco o forro em instalações avícolas, em decorrência de aumento dos custos da exploração. Existem também preocupações em relação à desinfecção, devido aos materiais normalmente utilizados serem higroscópicos e também por facilitarem o abrigo de insetos e estarem sujeitos a incêndios.

Campos (1986) conduziu um trabalho durante o verão, na Universidade Federal de Viçosa, em quatro galpões para frangos de corte, com idênticas características de construção e orientação, com diferenças apenas nos materiais para cobertura (telhas cerâmicas, tipo francesa e telhas de cimento amianto com e sem forro). Este autor concluiu que o uso de forro contribui significativamente para a melhoria do conforto térmico, avaliado pelo ITGU e CTR, e que os melhores resultados obtidos no interior do galpão foram com telha de barro com forro e os piores no galpão com telhas de amianto sem forro.

### **2.8.3 Pintura**

Segundo Kelly & Bond (1958), as cores mais favoráveis às coberturas destinadas às instalações zootécnicas, no sentido de propiciar melhor conforto térmico, são a cor branca na superfície superior do material e a escura na superfície inferior. Esses autores explicam os resultados obtidos tendo como base o fato de que a superfície branca possui alta refletividade e,

conseqüentemente, baixa transmissividade para o interior da construção. Enquanto que a cor escura, por apresentar maior emissividade e absorvidade, tem a vantagem de possuir baixa refletividade. Desse modo, a CTR incidente sobre as aves torna-se menor, pois quanto maior a radiação proveniente do solo aquecido e sombreado, maior a importância da pintura negra.

Para Tinôco (2001), as pinturas reflexivas podem ser eficientes para dar melhor conforto térmico no verão. Elas consistem em reduzir a temperatura das telhas de aço galvanizadas e as temperaturas do ático. No entanto, essas pinturas elevam os custos de produção e a efetividade diminui rapidamente com o tempo, sendo benéficas em estruturas mal ventiladas e, para as bem ventiladas, elas não oferecem grandes benefícios.

#### **2.8.4 Telhados ventilados**

Em regiões caracterizadas por altas temperaturas em determinadas épocas do ano, o problema principal é reduzir os efeitos do estresse provocados pelas altas temperaturas. Vários pesquisadores têm confirmado que em ambientes para animais onde as temperaturas têm ultrapassado os limites de conforto térmico, a produção animal tem reduzido significativamente (Macari & Furlan, 1999; Curtis, 1983; Esmay & Dixon, 1986).

Segundo Zappavigna & Liberati (1997), possíveis estratégias para melhorar o ambiente térmico das construções zootécnicas consistem na dispersão de calor e na minimização da absorção de energia solar durante o dia. Diante desse aspecto, um dos fatores que se tem pensado em estudar é a ventilação junto às coberturas, internamente às instalações. O que se tem observado é que reduzindo-se os limites críticos de temperatura é possível se obter aumentos significativos na produção, especialmente se isso ocorre em um período longo de tempo, como acontece em muitas regiões de clima quente. Ainda de acordo com esses autores, telhados com interfaces ventiladas podem

diminuir as temperaturas máximas no interior das instalações zootécnicas, por meio da dispersão do calor. Essa solução pode ser efetiva quando adaptada em ambientes com pouca ventilação por animal, fechados e com alta densidade animal. Alguns parâmetros, como as espessuras das interfaces, a declividade, e a orientação do telhado, especialmente em único-lance, ajustados com a direção dominante do vento, tendem ao aproveitamento mais racional do próprio vento.

## **2.9 Teoria da similitude**

A teoria da similitude tem por objetivo estabelecer relações que permitem previsões reais, feitas de observações em modelos reduzidos.

De acordo com Murphy (1950), existem quatro tipos de modelos: os verdadeiros, que são aqueles em que todas as características importantes são reproduzidas em escala e atendem a todos os critérios de projeto e condições de operação; os adequados, são os modelos que permitem uma predição aprimorada de uma característica, porém não permitem, necessariamente, predição acurada de outras características; os modelos distorcidos são reproduções dos modelos reais com utilização de duas ou mais escalas em suas dimensões e, finalmente, os modelos dissimilares, em que o original e o modelo apresentam qualidades físicas básicas distintas, não existindo semelhança entre o modelo reduzido e o real, apenas analogia.

Segundo Jentzsch (2002), o modelo e o original são semelhantes quando todas as grandezas correspondentes apresentarem relação constante entre si, isto é, quando existirem constantes de similitude para elas. Estas constantes podem ser definidas para todas as grandezas básicas de um sistema de medidas, como, por exemplo, comprimento, massa, tempo e temperatura. Do resultado dessas constantes de similitude pode-se obter uma grande variedade de outras grandezas físicas, a exemplo dos números de Reynolds, Grashof e Mach.



Ainda, de acordo com Jentzsch (2002), na prática trabalha-se geralmente com similitude parcial, uma vez que, por razões técnicas, muitas vezes não é possível a reprodução exata de todos os detalhes geométricos e físicos, principalmente quando se utilizam modelos com escalas muito pequenas.

## **2.10 Modelos reduzidos**

O uso de modelos em escala reduzida baseia-se na teoria da similitude, permitindo estabelecer relações entre observações feitas em modelos construídos em escala reduzida e o objeto real que este modelo representa. O emprego destes modelos permite que certos experimentos possam ser viabilizados economicamente e garantem mais controle das variáveis ambientais. Esta técnica tem sido empregada por vários autores, como Murphy (1950), Pattie & Milne (1966), Neubauer (1972), Timmons & Baughman (1981), Dantas (1995), Moraes et al. (2001a, b) e Jentzsch (2002).

Hahn et al. (1961), estudando modelos construídos em diversas escalas de redução e comparando com galpão em escala natural (tamanho real), afirmaram que os resultados de CTR obtidos nos modelos em escala reduzida são próximos dos obtidos nos galpões reais, desde que as temperaturas de globo negro sejam obtidas por termômetros de globo negro construídos na mesma escala do modelo. Segundo Jentzsch (2002), o ITGU pode ser predito em instalações agrícolas a partir de modelos físicos construídos em escala reduzida de até 12 vezes.

## **2.11 Efetividade**

Diversos autores têm usado o conceito de efetividade para ranquear diversos materiais de cobertura em relação à CTR ou ITGU (equações 8 e 9, respectivamente) utilizando modelos reduzidos das instalações zootécnicas (Kelly & Bond, 1958; Moraes, 1999; Tinôco, 2001).

$$\varepsilon = \frac{CTR_{(aço)} - CTR_{(telhatatada)}}{CTR_{(aço)} - CTR_{(telhaddealumínio)}} \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{ITGU_{(aço)} - ITGU_{(telhatatada)}}{ITGU_{(aço)} - ITGU_{(telhaddealumínio)}} \quad (9)$$

Kelly & Bond (1958) estudaram a efetividade de diversos materiais de cobertura verificando que os materiais mais efetivos foram o sapé ( $\varepsilon=1,203$ ), o alumínio com a superfície superior pintada de branco e a superfície inferior pintada de preto ( $\varepsilon=1,103$ ), o alumínio com a superfície inferior pintada de preto ( $\varepsilon=1,090$ ) e a telha de aço galvanizado com a superfície superior pintada de branco e a inferior pintada de preto ( $\varepsilon=1,066$ ).

Moraes (1999), determinando a efetividade de diversos materiais de coberturas e suas associações, verificou que os materiais mais efetivos foram o telhado de barro com aspersão ( $\varepsilon=1,17$ ), telhado de cimento-amianto com aspersão ( $\varepsilon=1,13$ ), telhado de alumínio com aspersão ( $\varepsilon=1,10$ ), telhado de cimento-amianto com forro ( $\varepsilon=1,08$ ) e telhado de barro com lâmina reflexiva ( $\varepsilon=1,08$ ). O material tomado como referência foi o telhado de alumínio testemunha.

## 2.12 Modelagem matemática

A modelagem matemática é uma ferramenta de grande importância para avaliação e desenvolvimento tecnológico na área de engenharia. O uso de modelos computacionais permite reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento de novos projetos. Diversos modelos têm sido propostos para solucionar problemas de campo e para facilitar o entendimento de diversos

processos físicos. Como exemplos de modelos desenvolvidos na área de ambiência animal, alguns são citados: modelos para prever transferência de calor entre o animal e o ambiente que o circula (Bouchillon et al., 1970; Wathen et al., 1971; Mitchell, 1976; Mahoney & King, 1977; Mcartur, 1991; Gebremedhin & Wu, 2000); modelos para transferência de calor e/ou massa em instalações agrícolas (Medeiros, 1997; Yanagi Junior et al., 2000; Yanagi Junior et al., 2001d) e modelos para otimizar alguns sistemas de resfriamento evaporativo (Gates et al., 1991; Gates et al., 1992; Singletary et al., 1996; Simmons & Lott, 1996).

### **2.13 Predição do ITGU em galpões avícolas por meio de modelo matemático**

O ITGU é baseado na combinação dos efeitos combinados da t<sub>bs</sub>, UR, energia radiante e v. Tinôco (1988) verificou que ITGUs maiores que 75 podem causar estresse por calor em frangos de corte. Conforme a equação 5, o ITGU pode ser calculado pela equação proposta por Buffington et al. (1981).

A temperatura de globo negro pode ser determinada por meio da temperatura média radiante (T<sub>m</sub>), obtida 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. Portanto, a T<sub>m</sub> pode ser calculada de acordo com a equação 7, proposta por Esmay (1969).

A T<sub>m</sub> do ambiente pode ainda ser definida como função da equação de Stefan-Boltzmann que, após se fazer o rearranjo, pode ser expressa como:

$$T_m = \left( \frac{CTR}{\sigma} \right)^{1/4} \quad (10)$$

Segundo Kelly et al. (1954), a 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, sendo calculado pela seguinte equação:

$$CTR = \sigma \cdot \sum_{i=1}^n T_i^4 \cdot F_i \quad (11)$$

sendo,

$T_i$  = temperatura de cada seção da vizinhança do globo (K);

$F_i$  = fator forma de cada seção da vizinhança do globo (adimensional)

$n$  = número de seções da vizinhança do globo.

Em torno do globo negro, cinco regiões bem definidas estão presentes e são mostradas na Figura 1: cobertura, horizontal, céu frio, piso sombreado e piso não sombreado. A temperatura em cada região, descrita acima, pode ser estimada de acordo com diferentes modelos.

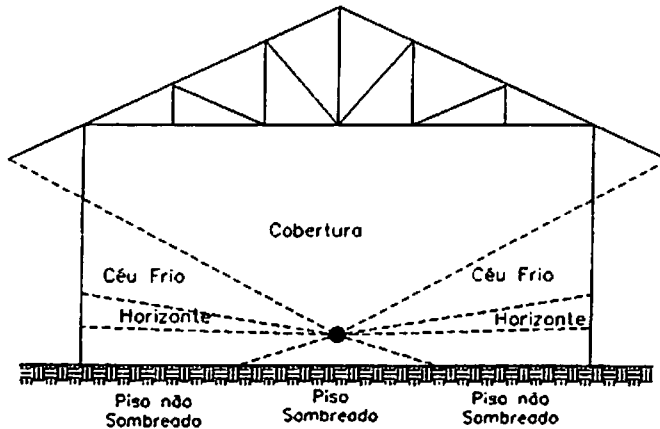


FIGURA 1 Regiões definidas ao redor do globo negro

Oliveira (1980) sugeriu que as temperaturas de piso sombreado ( $T_{ps}$ , K), piso não sombreado ( $T_{pns}$ , K) e horizonte ( $T_{hor}$ , K) podem ser estimadas por:

$$T_{ps} = T_{bs} \quad (12)$$

$$T_{\text{pns}} = T_{\text{bs}} + 6 \quad (13)$$

$$T_{\text{hor}} = T_{\text{bs}} + 5 \quad (14)$$

Para a temperatura de céu frio ( $T_{\text{céu}}$ , K), Duffie & Beckman (1974), recomendaram as seguintes equações propostas por Swinbank:

$$T_{\text{céu}} = T_{\text{bs}} - 6 \quad (15)$$

$$T_{\text{céu}} = 0,0552 \cdot T_{\text{bs}}^{1.5} \quad (16)$$

Mackey & Wright (1944) apresentaram uma equação para determinar a temperatura absoluta na superfície interna do telhado ( $T_{\text{si}}$ ):

$$T_{\text{si}} = T_{\text{bs}} + \frac{0,606 \cdot \left( \frac{b \cdot I_g}{h_c} \right)}{0,856 + \frac{L}{K}} \quad (17)$$

Sendo

$b$  = absortividade da superfície da cobertura para a radiação solar,

$I_g$  = irradiância solar global incidente sobre a cobertura do galpão ( $\text{W.m}^{-2}$ );

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

$L$  = espessura do material da cobertura (m);

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

De acordo com Paltridge & Platt (1976), a radiação solar global incidente sobre o telhado ( $I_g$ ,  $\text{W.m}^{-2}$ ), em condições de céu claro, pode ser determinada pela seguinte equação:

$$I_g = I_o \cdot \cos\theta + I_d \cdot \cos^2\left(\frac{i}{2}\right) + \alpha \cdot (I_o \cdot \cos Z + I_d) \cdot \left[1 - \cos^2\left(\frac{i}{2}\right)\right] \quad (18)$$

sendo

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

$\theta$  = 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, ao nível do solo ( $W.m^{-2}$ );

$i$  = ângulo de inclinação da superfície (radianos);

$\alpha$  = albedo da superfície (decimal);

$Z$  = ângulo zenital do sol (radianos).

A expressão anterior requer o conhecimento de vários parâmetros que dependem do movimento do sol em torno da terra. A radiação solar direta incidente sobre uma superfície normal aos raios solares ( $I_o$ ,  $W.m^{-2}$ ) pode ser obtida pela expressão recomendada por Brooks (1959):

$$I_o = S \cdot (\overline{D}/D)^2 \cdot \tau \quad (19)$$

sendo

$S$  = constante solar ( $1353 W.m^{-2}$ );

$D$  = distância instantânea entre a Terra e o sol;

$\overline{D}$  = distância média entre a Terra e o sol;

$\tau$  = transmitância atmosférica.

O fator  $(\overline{D}/D)^2$  na equação acima é a relação entre as áreas que pode ser calculada por:

$$(\bar{D}/D)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cdot \cos X + 0,001280 \cdot \sin X + 0,000719 \cdot \cos(2X) + 0,000077 \cdot \sin(2X) \quad (20)$$

O ângulo X depende do dia do ano (1 a 365) e pode ser calculado por:

$$X = \frac{2 \cdot \pi \cdot (DJ - 1)}{365} \quad (21)$$

sendo

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 por:

$$\tau = \exp \left[ \begin{array}{l} -0,089 (p \cdot m / 1013)^{0,75} - 0,174 (W \cdot m / 20)^{0,60} \\ 0,083 (d \cdot m)^{0,90} \end{array} \right] \quad (22)$$

sendo

p = pressão atmosférica (mbar);

m = massa óptica absoluta de ar;

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

d = parâmetro adimensional de poeiras.

A massa óptica do ar varia com o ângulo zenital do sol (Z), varia de 1, quando o sol está no zênite, a 35, quando o sol nasce ou se põe (Vianello & Alves, 1991). A quantidade de água na atmosfera capaz de precipitar (W) é calculada em função da pressão de vapor d'água ( $p_w$ ).

$$m = 35 \cdot [1224 \cdot \cos^2(Z) + 1]^{1/2} \quad (23)$$

A quantia de água na atmosfera capaz de precipitar ( $W$ ) é calculada em função da pressão de vapor atual ( $p_w$ ), em mbar, como mostrado a seguir:

$$W = 2,5 \cdot p_w \quad (24)$$

sendo

$p_w = UR \cdot es$ ;

$$es = 6,1078 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t_{ba}}{237,3 + t_{ba}}\right)}, \quad t_{ba} \geq 0^\circ\text{C} \quad (25)$$

UR = umidade relativa em %;

es = pressão de saturação de vapor d'água em mbar.

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

$$\cos(\theta) = \cos(h) \cdot [\cos(\phi) \cdot \cos(i) + \text{sen}(h) \cdot \text{sen}(i) \cdot \text{sen}(\psi') \cdot \cos(\delta) + \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \cos(i) - \text{sen}(i) \cdot \cos(\psi') \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \cos(\phi)] \quad (26)$$

sendo

$h$  = ângulo horário (radianos);

$\phi$  = latitude local, positiva para o hemisfério norte e negativa para o hemisfério sul (radianos)

$\delta$  = declinação do sol (radianos);

$\psi'$  = azimute da superfície (radianos).

O ângulo horário pode ser determinado conforme mostrado a seguir:



$$h = (H - 12) \cdot \frac{\pi}{12} \quad (27)$$

sendo

H = hora do dia.

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

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \text{sen} \left[ \frac{360}{365} \cdot (284 + DJ) \right] \quad (28)$$

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

$$I_d = 11,631 \cdot \{0,43 + 8,25 \cdot [1 - 0,0111 \cdot \exp(0,05 \cdot Z)]\} \quad (29)$$

Para o ângulo zenital (Z), Vianello & Alves (1991) apresentam a equação seguinte para a sua estimativa:

$$\cos Z = \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \quad (30)$$

sendo

$\phi$  = latitude local;

$\delta$  = declinação solar;

$h$  = ângulo horário.

**O modelo apresentado neste trabalho foi validado com dados de um galpão comercial de frangos de corte, sendo encontrados desvios médios de 1,31%. Porém, nenhum estudo foi feito até o presente momento para compará-lo a dados medidos em modelos em escala reduzida que se aproximam de valores medidos em instalações reais.**

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida com modelos físicos construídos em escala reduzida de galpões para frangos de corte na área experimental do setor de agrometeorologia e climatologia do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, Minas Gerais (MG), durante a estação de verão. O município localiza-se no sul do estado de MG nas coordenadas geográficas de 21°14' S de latitude e de 45°00' W de longitude, situado a 918 m de altitude. O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo cwa, temperado úmido com inverno seco.

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se na consideração de que alguns fenômenos podem ser estudados por meio de modelos em escala reduzida, permitindo a sua execução devido, principalmente, ao alto custo de implantação dos galpões em escala real e as dificuldades de manejo em campo.

#### **3.1 Construção dos modelos em escala reduzida**

Foram construídos cinco modelos em escala reduzida, 1:10 (Murphy, 1950; Moraes, 1999, 2001a, b), de galpões avícolas com telhas cerâmicas do tipo canal e um com telhas de alumínio, totalizando, assim, seis modelos ou tratamentos, conforme descritos no Tabela 1 e mostrados Figura 2.

Para a construção dos modelos em escala reduzida, foram utilizadas, como base, as dimensões reais de um galpão comercial para criação de frangos de corte, com padrão adotado mundialmente, ou seja, 12,0 m de largura, 120,0 m de comprimento, pé-direito de 3,5 m, distância entre tesouras de 5,0 m. As coberturas de telhas cerâmicas tinham inclinação de 30°, excetuando uma que possuía telhado assimétrico com inclinações de 30° e 40°; e a cobertura de telhas

de alumínio foi construída com 15° de inclinação. Todos os modelos tinham beiral de 2,0 m.

Os modelos em escala reduzida foram construídos com placas de madeirit de 1 cm de espessura, reforçadas por estrutura de madeira com secção de 3 x 3 cm.

Os modelos físicos em escala reduzida (1:10) possuíam assim 1,2 m de largura e 1,5 m de comprimento, sendo a distância entre pilares de 0,5 m. As faces leste e oeste do galpão foram totalmente fechadas com as placas de madeirit, enquanto as laterais possuíam altura de 1,5 cm, correspondendo, assim, às muretas de 15 cm existentes nos galpões reais.

Os pisos dos galpões foram elevados em relação ao solo em 0,4 m, fazendo com que o fluxo de ar à altura do piso fosse aproximadamente o mesmo com relação ao galpão real, de acordo com Jentzsch (2002).

**TABELA 1** Tratamentos a serem testados no experimento.

<b>Código</b>	<b>Descrição dos tratamentos</b>
B <sub>30CVF</sub>	Cobertura com telha de barro tipo canal (romana), com pé-direito de 3,5 m e com 30° de inclinação, sem lanternim e com câmara de ventilação forçada paralela à superfície interna do telhado, construída com lona de polietileno preto. A renovação de ar utilizada foi de uma troca de ar a cada dois minutos.
B <sub>30CVN</sub>	Cobertura com telha de barro tipo canal (romana), com pé-direito de 3,5 m e 30° de inclinação, com lanternim e câmara de ventilação natural, construída com lona de polietileno, preto paralela à superfície do telhado.
B <sub>30CL</sub>	Cobertura com telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, com lanternim (CL) e pé-direito de 3,5 m.
B <sub>30/40CL</sub>	Telhado assimétrico com inclinações de 30° norte e 40° sul, com telhas barro tipo canal (romana), com lanternim e pé-direito de 4 m.
B <sub>30SL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim (SL) e pé-direito de 3,5 m.
A <sub>15SL</sub>	Telha de alumínio 0,05 mm com 15° de inclinação, sem lanternim e pé-direito de 3,5 m.

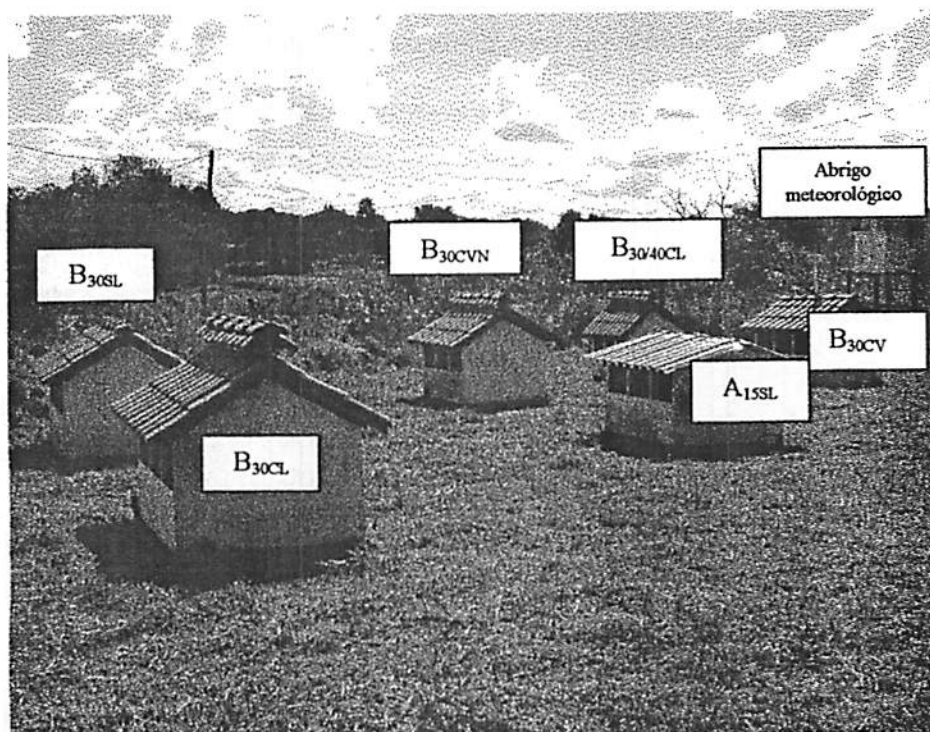


FIGURA 2 Vista geral da área do experimento com distribuição dos modelos em escala reduzida.

### 3.2 Instrumentação e medições no interior dos modelos em escala reduzida

Todas as variáveis listadas a seguir foram medidas durante um período de 10 dias, em condições de verão, das 8:00 às 18:00 horas, em intervalos de 30 minutos. Porém, devido à alta nebulosidade que ocorreu durante as duas primeiras horas e as duas últimas horas de medição, optou-se por utilizar os dados das 10:00 às 16:00 horas, em que o céu se encontrava com pouca ou nenhuma nebulosidade.

### 3.2.1 Temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e globo negro

Para a medição das temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e globo negro, utilizou-se um termômetro digital para sensor termopar tipo T (Figura 3), possibilitando obter resolução de  $\pm 0,02$  °C.



FIGURA 3 Termômetro digital para sensor termopar tipo T (cobre-constantan).

A Figura 4 mostra os sensores confeccionados para medição das temperaturas de bulbo seco, úmido e de globo negro e a Figura 5 a disposição destes sensores no interior dos modelos em escala reduzida. Os termômetros de globo negro foram construídos com esferas de plástico com 3,6 cm de diâmetro, pintadas de preto fosco.

As esferas plásticas (bola de pingue-pongue) foram utilizadas em substituição ao termômetro de globo negro padrão, conforme descrição no item 2.2, na avaliação do ambiente térmico por meio da determinação do ITGU. Para

isso, procedeu-se a calibração dos termômetros construídos com bolas de ping-pong com relação ao globo negro padrão. A seguir é apresentada a equação de calibração do ITGU.

$$ITGU_{CORR} = 1,1657 * ITGU_{ping-pong} - 10,507 \quad (31)$$

sendo

$ITGU_{CORR}$  = índice de temperatura de globo negro e umidade corrigido;

$ITGU_{ping-pong}$  = índice de temperatura de globo negro e umidade, obtido por meio das bolas de ping-pong.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a equação acima foi de 0,99.

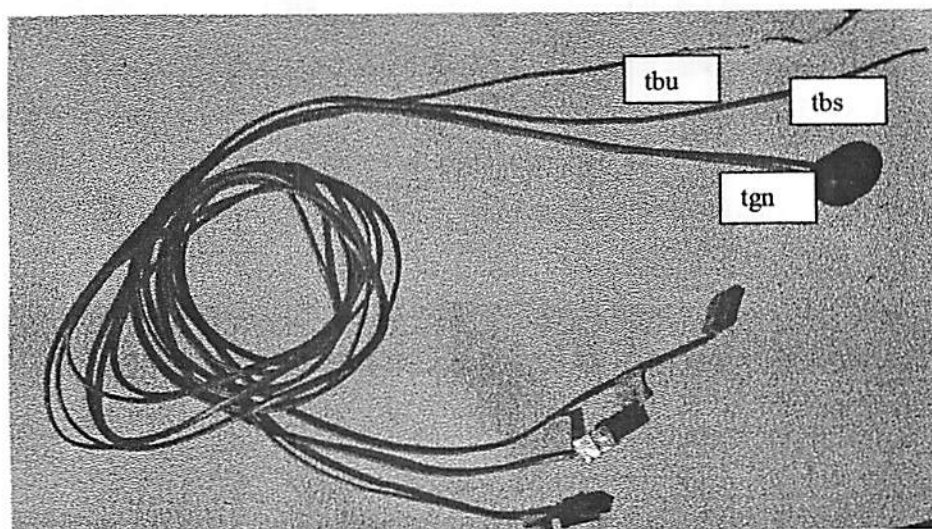


FIGURA 4 Termopares preparados para coleta de dados



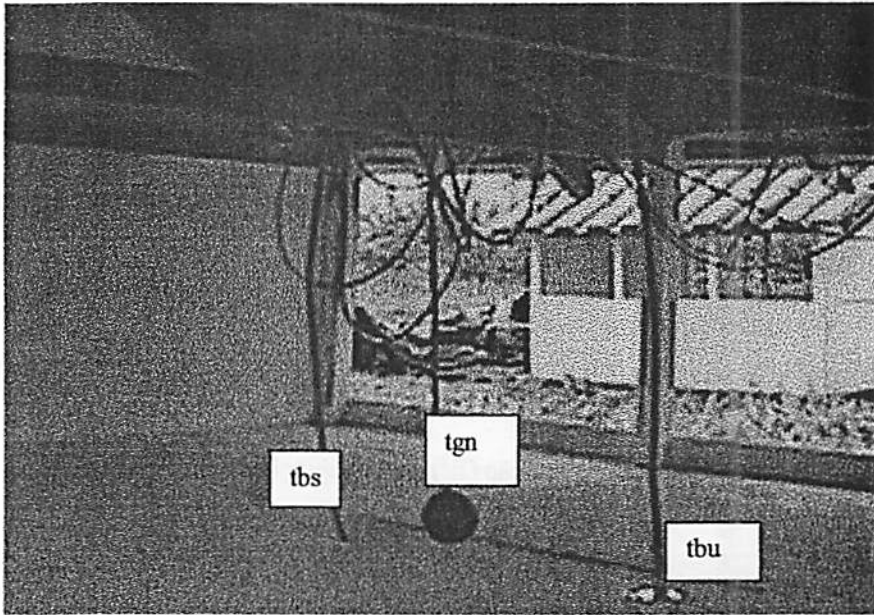


FIGURA 5 Disposição dos sensores no interior dos modelos em escala reduzida para medição da temperatura de bulbo seco (tbs), de bulbo úmido (tbu) e de globo negro (tgn).

Ambos os sensores foram instalados na altura correspondente ao centro geométrico de massa das aves, ou seja, a 3 cm do piso, correspondendo a 30 cm em escala real.

### 3.2.2 Velocidade do ar

A velocidade do ar foi medida por meio de um anemômetro digital com resolução de  $\pm 0,10 \text{ m.s}^{-1}$  (Figura 6). As medidas foram obtidas nas proximidades de cada globo negro, nos mesmos dias e horários considerados.

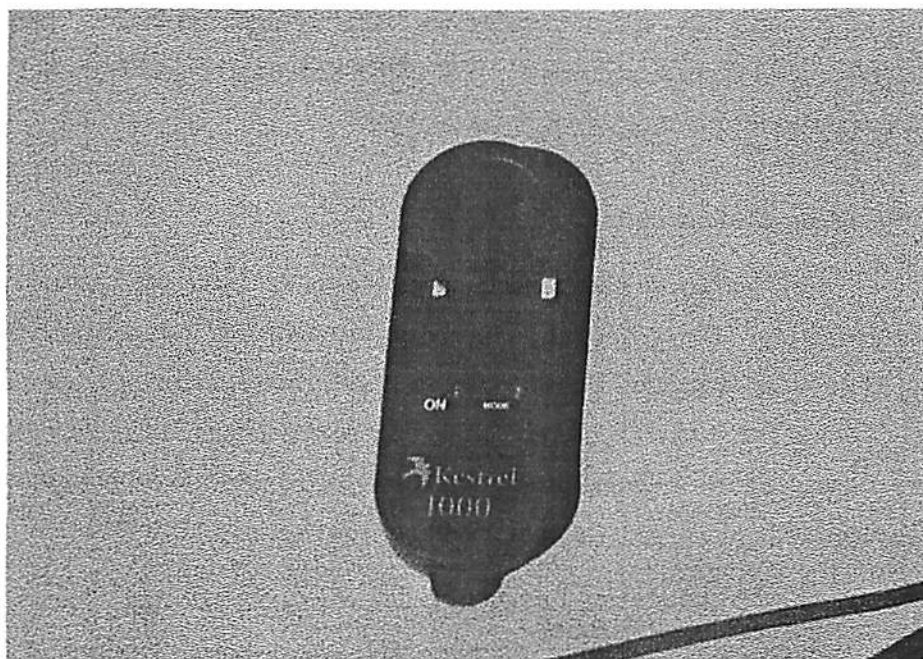


FIGURA 6 Anemômetro digital.

### 3.3 Variáveis climáticas do ambiente externo

Os dados climáticos externos foram coletados utilizando-se de um abrigo meteorológico, instalado na área experimental. Nesse abrigo, foram instalados sensores para a medição da temperatura e umidade do ar. Dessa forma, perfis do comportamento da temperatura e umidade relativa puderam ser elaborados, indicando as temperaturas médias, máximas e mínimas. Um termômetro de globo negro foi instalado no ambiente externo para quantificar o ITGU e a CTR do ambiente externo.

### **3.4 Cálculo dos índices térmicos ambientais**

A partir dos dados medidos nos horários predeterminados, foram calculados os valores respectivos do ITGU e CTR para cada horário de medição, de acordo com as equações 5 e 6, respectivamente.

### **3.5 Cálculo da efetividade**

A efetividade de cada modelo concebido foi calculada em função dos valores de ITGU correspondente ao nível das aves, para cada tratamento, ao sol e padrão (telha de alumínio), nos horários de 10 às 16 horas, conforme a equação 9. Optou-se pelo uso do ITGU no cálculo da efetividade pelo fato deste índice ser o mais utilizado na quantificação das condições de conforto em instalações zootécnicas de acordo com (Moraes, 1999).

### **3.6 Delineamento experimental**

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), tendo os tratamentos sido dispostos em esquema de parcelas subdivididas, com 10 repetições (dias de medição), tendo nas parcelas os modelos construídos em escala reduzida com as diversas coberturas naturalmente e artificialmente ventiladas e nas subparcelas os horários de medição. Para a comparação das médias, utilizou-se teste de Skott-Knott, a de 5% de probabilidade.

A Figura 7 mostra a distribuição dos tratamentos na área experimental, após aleatorização.

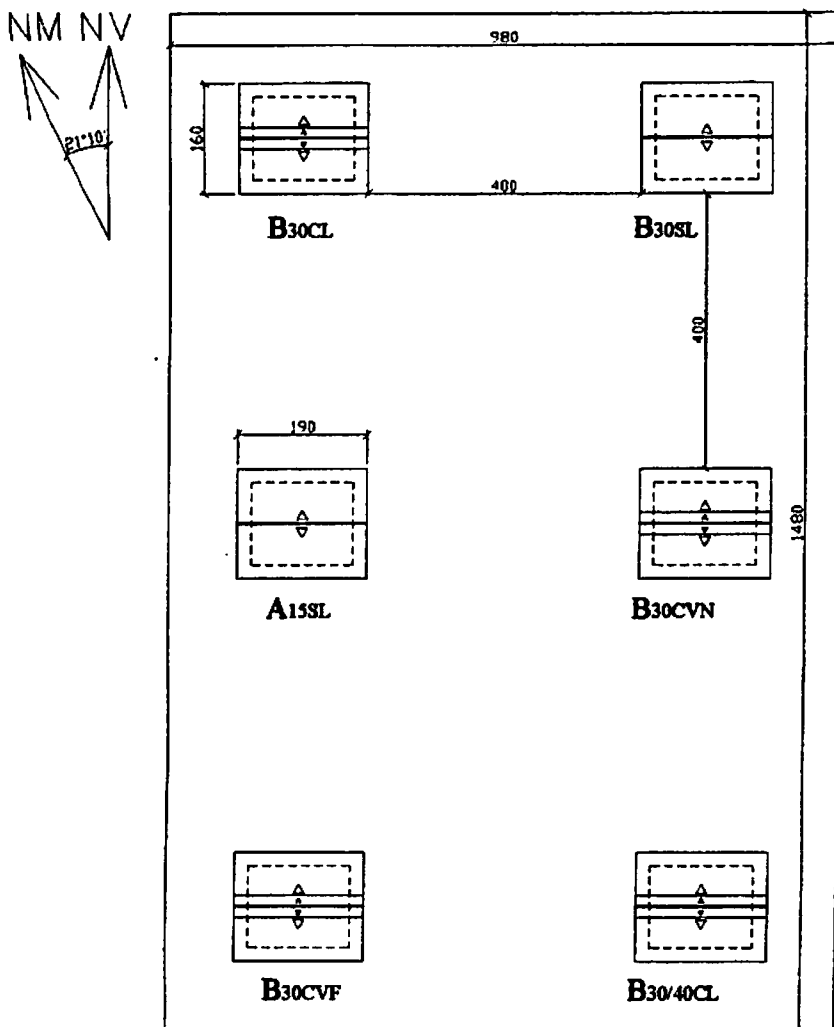


FIGURA 7 Disposição dos tratamentos no campo

### 3.7 Validação do modelo computacional

Os dados de ITGU e CTR medidos para os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>30SL</sub> foram utilizados para testar o modelo adaptado por Yanagi Junior et al. (2001),

bem como o software SisPag-Frango, desenvolvido por Severo et al. (2003), para simular os valores de ITGU e CTR, para os dias e horários em questão.

Os valores simulados foram comparados aos medidos por meio do desvio médio e coeficiente de correlação.

Na validação do modelo computacional, também se levou em conta o fator forma, correspondente à parcela de contribuição em termos de radiação em volta do termômetro de globo negro, conforme Figura 1. A Tabela 2 mostra os fatores forma (F) utilizados na equação 11, relativos aos modelos reduzidos  $B_{30SL}$  e  $A_{15SL}$  descritos na Tabela 1.

**TABELA 2** Valores dos fatores de forma de cada região que envolveu o termômetro de globo negro localizado ao centro dos modelos em escala reduzida.

<b>Regiões ao redor do globo negro</b>	<b>Fatores de forma (F)</b>
Cobertura	0,344
Piso sombreado	0,484
Piso não sombreado	0,016
Horizonte	0,087
Céu frio	0,069
Soma	1,00

Ao verificar a Tabela 2, conclui-se que a cobertura e o piso sombreado foram as regiões que mais contribuíram na determinação da temperatura média radiante, 34,4% e 48,4%, respectivamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Índices térmicos ambientais

O resumo das análises de variância para as variáveis respostas ITGU e CTR, correspondente aos tratamentos e horários de medição é mostrado na Tabela 3. Nesta Tabela, é possível observar que, tanto para o ITGU, quanto para a CTR, houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) para os fatores tratamentos e horários de medição, porém, não foi verificada diferença significativa para a interação tratamento x horários ( $p > 0,01$ ).

**TABELA 3** Resumo das variâncias referentes ao efeito dos tratamentos (telhados natural e artificialmente ventilados) à altura de medição do centro de massa das aves e aos horários de observação, em relação ao índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU adimensional) e a carga térmica de radiação (CTR em  $W.m^{-2}$ ).

FV	GL	Quadrados médios	
		ITGU	CTR
Blocos	9	365,22 <sup>**</sup>	7045,13 <sup>**</sup>
Tratamentos	5	22,59 <sup>**</sup>	1648,76 <sup>**</sup>
Erro (a)	45	1,04	16,75
Horário	12	345,98 <sup>**</sup>	13386,50 <sup>**</sup>
Tratamentos X horários	60	0,53 <sup>ns</sup>	16,67 <sup>ns</sup>
Erro (b)	648	0,94	45,22
CV erro (a) - %		1,27	0,85
CV erro (b) - %		1,21	1,39

<sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo a 1% de probabilidade.

Ainda pela Tabela 3, pode-se observar que os coeficientes de variação, para a parcela e subparcela foram de 1,27% e 1,21% para a variável ITGU e de 0,85 e 1,39% para a variável CTR. Os baixos valores de coeficiente encontrados demonstram a alta precisão do experimento, com pouca variabilidade dos valores observados em relação às médias.

#### 4.1.1 Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Para comparação das médias dos valores de ITGU dos tratamentos ao nível das aves, utilizou-se o critério de agrupamento de Scott-Knott, a de 5% de probabilidade, Tabela 4. Com base nesta Tabela, pode-se verificar que as melhores condições térmicas no interior dos modelos em escala reduzida foram obtidas pelos tratamentos  $B_{30CVF}$  e  $B_{30CVN}$ , que são estatisticamente diferentes (teste Skott-Knott,  $p < 0,05$ ). Os valores intermediários de ITGU, foram observados para os tratamentos  $B_{30CL}$  e  $B_{30/40CL}$  que apresentaram resultados estatisticamente iguais (teste Skott-Knott,  $p > 0,05$ ).

Pode-se observar que as modificações arquitetônicas do tratamento  $B_{30/40CL}$  não contribuíram positivamente no ambiente térmico do modelo em escala reduzida. Isso, possivelmente, se deve à maior altura do pé-direito (0,4 m, correspondente a 4 m em galpão real). Comparado ao tratamento  $B_{30CL}$ , que possuía 0,35 m de pé-direito (correspondendo a 3,5 m no galpão real), o tratamento  $B_{30/40CL}$  propiciou maior exposição do interior do galpão à carga térmica de radiação proveniente do ambiente externo. Isso está de acordo com Givens (1965), citado por Moraes (1999), sendo que locais onde o céu se apresenta total ou parcialmente encoberto e com alta umidade relativa do ar, instalações com pé-direito alto não são recomendadas, pois expõem o animal à maior carga térmica de radiação. Ainda de acordo com Kelly et al. (1957) e Bond et al. (1967), também citados por Moraes (1999), pé-direito alto é recomendado para áreas com céu claro e baixa umidade relativa do ar.

Maiores desconfortos foram observados nos tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>, que são estatisticamente diferentes (teste Skott-Knott,  $p < 0,05$ ). O tratamento B<sub>30CL</sub>, apresentou ITGU inferior ao tratamento B<sub>30SL</sub> (Tabela 4 e Figura 8), demonstrando que o uso do lanternim em condições de altas temperaturas pode proporcionar melhores condições de conforto térmico no interior das construções zootécnicas, o que não ocorreu com os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>.

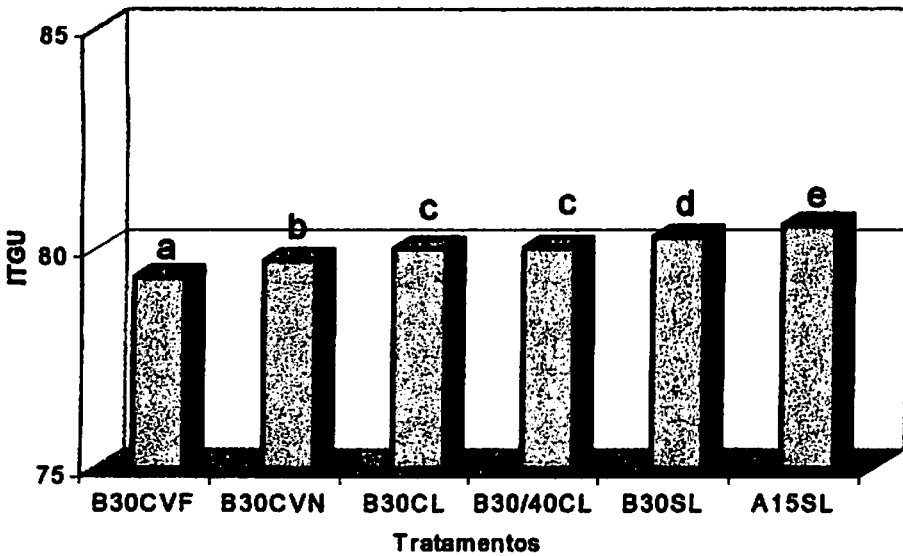


**TABELA 4** Valores médios de índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) para seis tipos diferentes de telhados ventilados natural e artificialmente.

Descrição dos tratamentos		ITGU <sub>s</sub> médios
B <sub>30CVF</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação forçada (CVF) na cobertura e pé-direito de 3,5 m. Telha de barro tipo canal com 30° de inclinação, com lanternim e pé-direito de 3,5 m.	79,36±3,20a
B <sub>30CVN</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação natural (CVN) na cobertura e pé-direito de 3,5 m.	79,74±3,14 b
B <sub>30CL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, com lanternim (CL) e pé-direito de 3,5 m.	80,02±3,34 c
B <sub>30/40CL</sub>	Telhado assimétrico (AS) com inclinações de 30° norte e 40° sul, com telhas barro tipo canal (romana), com lanternim e pé-direito de 4 m.	80,03±3,12 c
B <sub>30SL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim (SL) e pé-direito de 3,5 m.	80,28±3,29 d
A <sub>15SL</sub>	Telha de alumínio 0,05 mm com 15° de inclinação, sem lanternim e pé-direito de 3,5 m.	80,56±3,35 e

As médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Com base nos dados Tabela 4, elaborou-se a Figura 8 que representa graficamente os valores de ITGU para cada tratamento.



**FIGURA 8** Médias de índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), correspondente ao nível das aves, para cada tratamento. Observação: as médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Segundo Tinôco (1988), ITGU acima de 75 proporciona desconforto térmico para aves em épocas de altas temperaturas.

Observa-se, pelos valores de ITGU obtidos no experimento, que todos os tratamentos alcançaram valores superiores a 75 (Tabela 4) demonstrando que as técnicas utilizadas não foram suficientes para garantir um ambiente tecnicamente adequado às aves. Por outro lado, a redução observada do ITGU no interior da instalação pode vir a reduzir os gastos com sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo.

Apesar da interação tratamento x horário de medição não ter sido estatisticamente significativa (teste F,  $p > 0,05$ ), optou-se por apresentar as médias de ITGU para cada horário de medição como forma ilustrativa do comportamento médio (Tabela 5 e Figura 9). No Anexo A, Tabela 1A, encontram-se valores médios das temperaturas obtidas, velocidades do ar e umidade relativa dos dados coletados durante o experimento.

**TABELA 5** Valores médios de índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e os respectivos desvios padrões para os tratamentos em função dos horários de medição.

HORA	B <sub>30CL</sub>	B <sub>30SL</sub>	A <sub>15SL</sub>	B <sub>30CVN</sub>	B <sub>30CVV</sub>	B <sub>3040CL</sub>	Exterior
10:00	74,4±3,0	75,2±2,8	75,2±3,1	74,7±2,9	74,3±3,2	75,0±3,2	84,6±3,3
10:30	76,1±2,6	76,9±2,7	76,8±2,8	76,4±2,8	75,9±2,8	76,9±2,9	86,5±3,3
11:00	77,4±2,8	78,0±3,1	78,4±3,0	77,8±2,8	77,4±2,6	78,4±2,8	87,9±3,0
11:30	78,6±2,4	78,9±2,4	79,3±2,3	78,4±2,1	78,0±2,4	78,6±2,4	87,5±3,4
12:00	79,7±2,7	79,5±2,7	79,6±2,6	78,9±2,2	78,7±2,3	79,3±2,3	87,2±4,2
12:30	80,2±2,2	80,6±2,4	81,2±2,4	79,8±2,2	79,6±2,2	80,4±2,3	89,6±2,7
13:00	80,6±2,5	80,6±2,5	81,2±2,8	80,2±2,4	79,8±2,3	80,8±2,6	88,5±2,5
13:30	81,2±1,7	81,3±2,4	81,6±2,1	80,6±2,1	80,2±1,9	81,0±2,1	89,8±3,4
14:00	82,1±1,7	82,3±1,9	82,6±1,9	81,6±1,6	81,5±1,8	81,9±1,9	91,4±2,4
14:30	81,8±1,6	82,1±2,1	82,7±2,2	81,7±2,0	81,3±2,2	81,9±2,3	90,0±3,0
15:00	82,8±1,5	83,0±2,0	83,1±2,0	82,5±1,8	81,9±2,0	82,1±1,9	88,7±3,7
15:30	82,6±1,8	82,6±2,1	82,8±1,9	82,1±1,7	81,5±2,2	82,0±1,9	89,2±3,6
16:00	82,2±1,5	82,1±1,7	82,2±1,9	81,5±1,6	80,9±1,9	81,4±2,0	89,2±3,7

Obs.: cada média calculada foi obtida a partir de 10 observações.

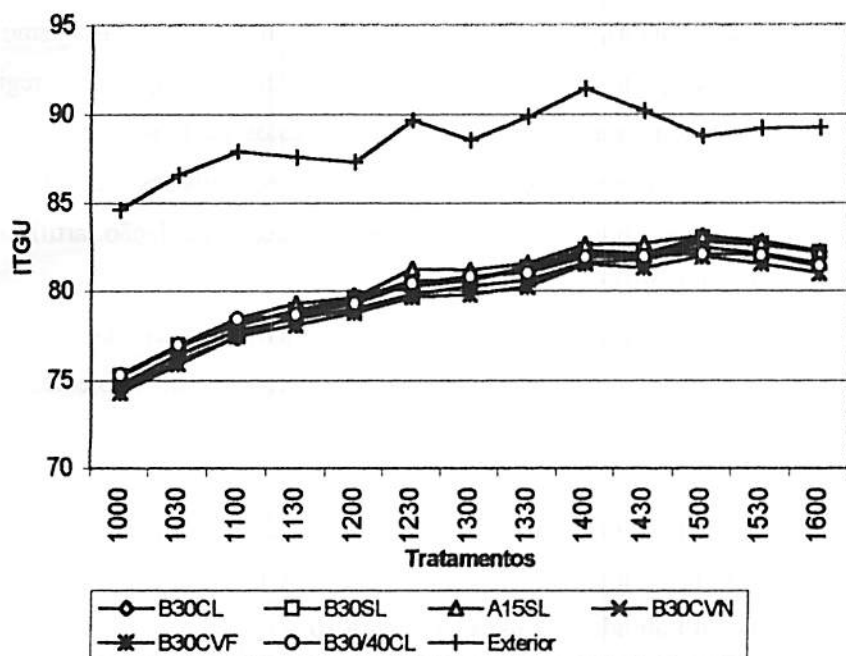



FIGURA 9 Médias de índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), correspondente ao nível das aves, em função dos horários de observações.

A circulação de ar junto à superfície interna do telhado pode promover maior ou menor retirada de calor. Resultando assim, em índices térmicos variáveis. Dessa forma, em construções reais, com as mesmas concepções arquitetônicas e nas mesmas condições de clima, espera-se que esse índice também irá variar, somado ao fato das aves estarem presentes, gerando mais calor e elevando assim o valor do ITGU.

Outras alternativas de construção devem ser adotadas, com o objetivo de diminuir ITGU em condições de verão. As alternativas em questão tratam de utilizar ao máximo os recursos da própria natureza, desde que sejam



economicamente viáveis, a exemplo da ventilação natural, do paisagismo ao redor das construções e de concepção arquitetônica adequada à região. Esgotadas essas possibilidades, e desde que os custos devidos à implantação também sejam compensatórios, alternativas secundárias devem ser implementadas, tais como acondicionamento térmico, ventilação artificial e sistema de resfriamento evaporativo.

A adoção de uma ou de várias dessas alternativas ora citadas pode reduzir ou até eliminar, em algumas condições, o desconforto do ambiente.

#### **4.1.2 Carga térmica de radiação (CTR)**

A comparação das médias dos valores de CTR correspondentes aos tratamentos e ao nível das aves foi baseada no critério de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, Tabela 6 e Figura 10.

**TABELA 6** Valores médios de carga térmica de radiação (CTR) para seis tipos diferentes de cobertura de galpões para aves em modelos reduzidos.

Descrição tratamentos		CTR (W.m <sup>-2</sup> )
B <sub>30CVF</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação forçada (CVF) na cobertura e pé-direito de 3,5 m. Telha de barro tipo canal com 30° de inclinação, com lanternim e pé-direito de 3,5 m.	480±17a
B <sub>30CVN</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação natural (CVN) na cobertura e pé-direito de 3,5 m.	480±17a
B <sub>30CL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, com lanternim (CL) e pé-direito de 3,5 m.	481±18a
B <sub>30/40CL</sub>	Telhado assimétrico com inclinações de 30° norte e 40° sul, com telhas barro tipo canal (romana), com lanternim e pé-direito de 4 m.	485±18 b
B <sub>30SL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim (SL) e pé-direito de 3,5 m.	487±18 c
A <sub>15SL</sub>	Telha de alumínio 0,05 mm com 15° de inclinação, sem lanternim e pé-direito de 3,5 m.	487±19 c

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

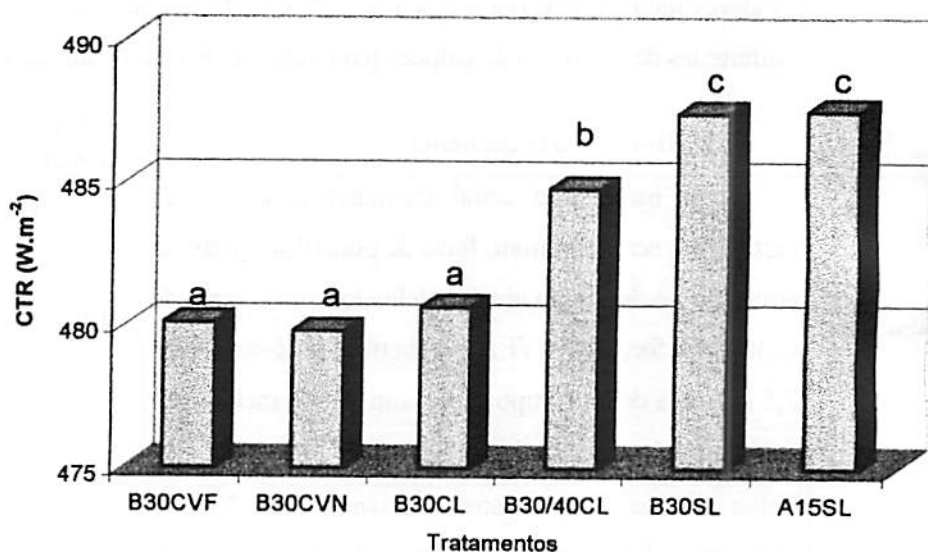


FIGURA 10 Médias de carga térmica de radiação (CTR) para cada tratamento ao nível das aves.

De acordo com a Tabela 6 e Figura 10, os valores de médias de CTR obtidos a partir da altura do centro massa das aves, dos tratamentos  $B_{30CVF}$ ,  $B_{30CVN}$  e  $B_{CL}$  foram estatisticamente iguais (teste Skott-Knott,  $p > 0,05$ ), segundo critério de Scott-Knott, e diferentes dos valores de CTR dos tratamentos  $B_{30/40CL}$ ,  $B_{30SL}$  e  $A_{15SL}$ , sendo os dois últimos estatisticamente iguais (teste Skott-Knott,  $p > 0,05$ ). Isso demonstra que os três primeiros se mostraram mais capazes de propiciar ambientes mais confortáveis no interior dos modelos em escala reduzida que os demais.

A ventilação natural ou forçada na região da cobertura, que foi o caso dos tratamentos  $B_{30CVF}$  e  $B_{30CVN}$ , também a exemplo do ITGU, proporcionou CTRs menores (Tabela 6) em relação aos tratamentos  $B_{30CL}$ ,  $B_{30/40CL}$ ,  $B_{30SL}$  e  $A_{15SL}$ . Esse resultado mostrou que, retirando-se de forma natural ou artificial o ar aquecido entre forro e telhado, diminui a CTR no interior dos modelos em escala

reduzida. Isso demonstra que a camada de ar é um bom isolante em situações de altas temperaturas e que a alternativa de se renovar o ar, é um dos recursos que podem ser utilizados para amenizar o desconforto térmico nos ambientes em períodos de altas temperaturas, desde que os custos sejam compensatórios. Na Tabela 7 são apresentados os valores de CTR para cada tratamento em função dos horários de medição.

A Figura 11 ilustra o comportamento da CTR de 10:00 às 16:00 horas para os tratamentos estudados, em função das modificações arquitetônicas adotadas, associadas com as características físicas dos materiais e o tipo de ventilação da cobertura.

TABELA 7 Valores médios de carga térmica de radiação (CTR em  $W.m^{-2}$ ) e os respectivos desvios padrões para os tratamentos em função dos horários de medição.

HORA	B <sub>30CL</sub>	B <sub>30SL</sub>	A <sub>1SL</sub>	B <sub>30CVN</sub>	B <sub>30CVF</sub>	B <sub>30V40CL</sub>	Exterior
10:00	450±12	456±11	455±10	453±11	450±12	456±12	684±61
10:30	459±14	465±11	463±10	459±12	459±10	464±14	688±108
11:00	466±14	472±14	473±12	467±14	468±13	473±15	714±68
11:30	472±14	480±14	480±15	473±13	473±11	476±13	713±90
12:00	477±12	482±12	481±12	473±12	474±12	479±12	680±79
12:30	481±11	488±10	490±11	479±11	481±10	486±13	725±53
13:00	483±14	490±13	490±15	483±14	482±12	489±14	676±70
13:30	487±10	495±11	496±10	486±10	487±10	493±11	701±100
14:00	493±9	502±7	500±10	490±10	492±8	498±10	747±63
14:30	494±8	500±9	500±11	493±9	493±9	498±11	686±104
15:00	497±10	506±12	507±12	496±9	498±10	500±10	677±121
15:30	495±10	501±12	501±11	494±9	493±11	496±12	651±110
16:00	495±11	500±9	498±13	492±9	491±9	495±12	633±92

Obs.: cada média calculada foi obtida a partir de 10 observações.



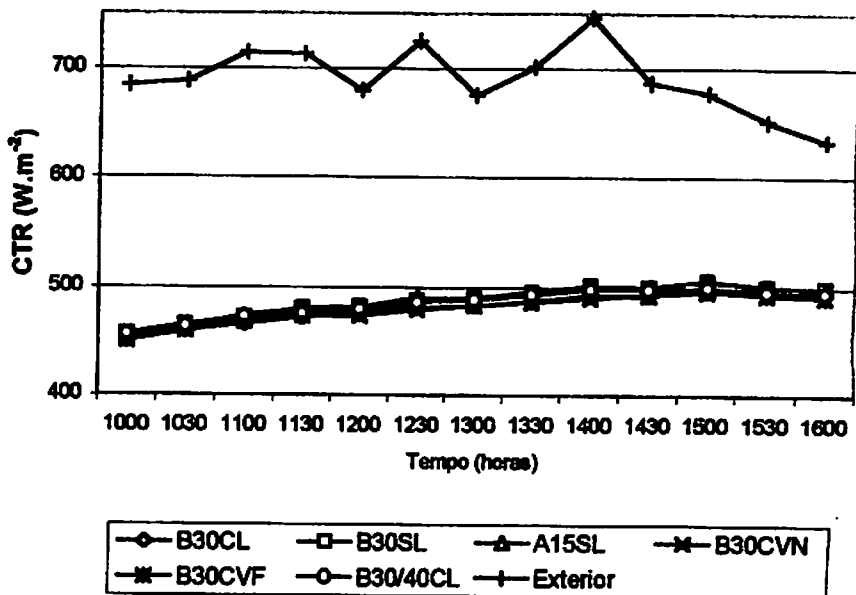


FIGURA 11 Médias de carga térmica de radiação (CTR), correspondente ao nível das aves, em função dos horários de medição.

#### 4.2 Efetividade

De acordo com os resultados apresentados no Tabela 8, as maiores efetividades demonstradas ocorreram nas concepções arquitetônicas do tratamento B<sub>30CVF</sub> e B<sub>30CVN</sub>.

TABELA 8 Valores médios de efetividade (E) para seis tipos diferentes de telhados.

Descrição dos tratamentos		E
B <sub>30CVF</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação forçada (CVF) na cobertura e pé-direito de 3,5 m. Telha de barro tipo canal com 30° de inclinação, com lanternim e pé-direito de 3,5 m.	1,11±0,04
B <sub>30CVN</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, lanternim, forro de polietileno preto na altura do pé-direito ao nível do telhado, com câmara de ventilação natural (CVN) na cobertura e pé-direito de 3,5 m.	1,10±0,05
B <sub>30CL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, com lanternim (CL) e pé-direito de 3,5 m.	1,09±0,05
B <sub>30/40CL</sub>	Telhado assimétrico com inclinações de 30° norte e 40° sul, com telhas barro tipo canal (romana), com lanternim e pé-direito de 4 m.	1,08±0,06
B <sub>30SL</sub>	Telha de barro tipo canal (romana) com 30° de inclinação, sem lanternim (SL) e pé-direito de 3,5 m.	1,05±0,03
A <sub>15SL</sub>	Telha de alumínio 0,05 mm com 15° de inclinação, sem lanternim e pé-direito de 3,5 m.	1,00

A maior efetividade do tratamento B<sub>30CVF</sub> deve-se, provavelmente, à retirada do ar aquecido entre o forro e o telhado pela ação de um ventilador. Com resultado pouco menor, a efetividade encontrada para o tratamento B<sub>30CVN</sub>, deve-se ao lanternim, que promoveu a renovação do ar no interior do galpão.

Deve-se considerar também o fato de se utilizar o polietileno na forma de forro em ambos os tratamentos. Embora a superfície negra possua efeitos indesejáveis tais como maior temperatura da superfície, maior emissividade e absorvidade, tem a vantagem de possuir baixa refletividade (Tinôco 2001).

Essa baixa refletividade possivelmente proporcionou baixa temperatura do termômetro de globo negro, ocasionando valores menores de ITGU. Em ambos os tratamentos, houve a formação de uma camada isolante de ar entre forro e telhado, o que também atuou de forma a diminuir a temperatura do termômetro de globo negro e, conseqüentemente, diminuir o ITGU em relação aos demais tratamentos, traduzindo assim, em melhores condições de conforto nos ambientes internos.

#### 4.3 Teste do modelo computacional

Os valores de ITGU e CTR foram observados e simulados para os 10 dias de coleta de dados das 10:00 às 16:00 horas para os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>. As Figuras 12 a 15 ilustram o comportamento dos valores observados e simulados de ITGU e CTR. Os valores de coeficiente de correlação para os ITGUs dos tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub> foram de 0,87 e 0,98, respectivamente. Já os valores de CTR apresentaram coeficientes de determinação de 0,85 e 0,94 para os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>, respectivamente. Os desvios médios (simulado menos observado) para os valores de ITGU foram de -0,67 (erro = 1,9%) e -2,5 (erro = 2,2%) para os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>, respectivamente. Para a CTR, os desvios médios foram de 7,7 W m<sup>-2</sup> (erro = 3,1%) e -4,63 W m<sup>-2</sup> (erro = 1,4%) para os tratamentos B<sub>30SL</sub> e A<sub>15SL</sub>, respectivamente. Assim, pode-se verificar, que no geral, o modelo subestima os valores de ITGU para ambos os tratamentos testados, apresentando melhor ajuste para o modelo físico com cobertura de telhas de barro. Por sua vez, a CTR foi superestimada para o modelo físico com

cobertura de telhas de barro com 30° de inclinação e subestimada para o modelo físico com cobertura de telhas de alumínio com 15° de inclinação.

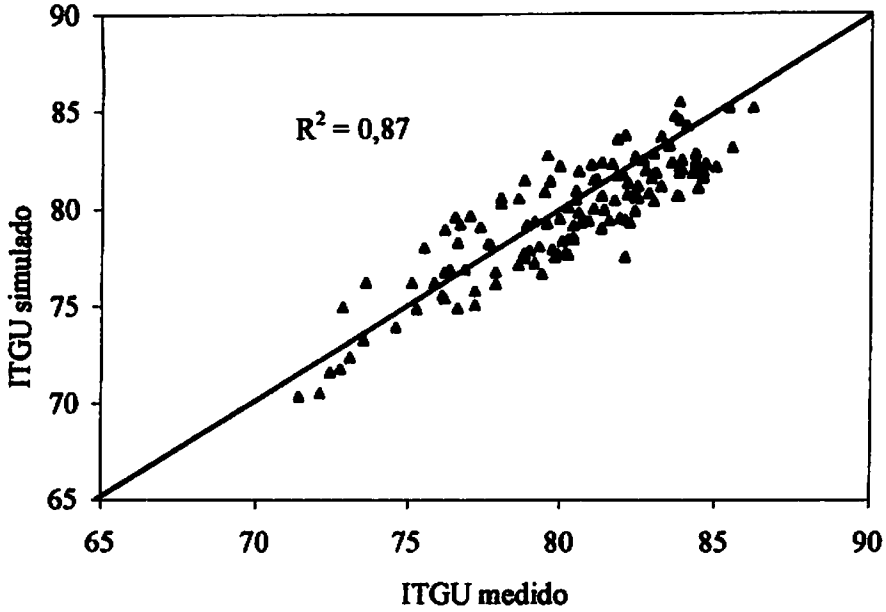
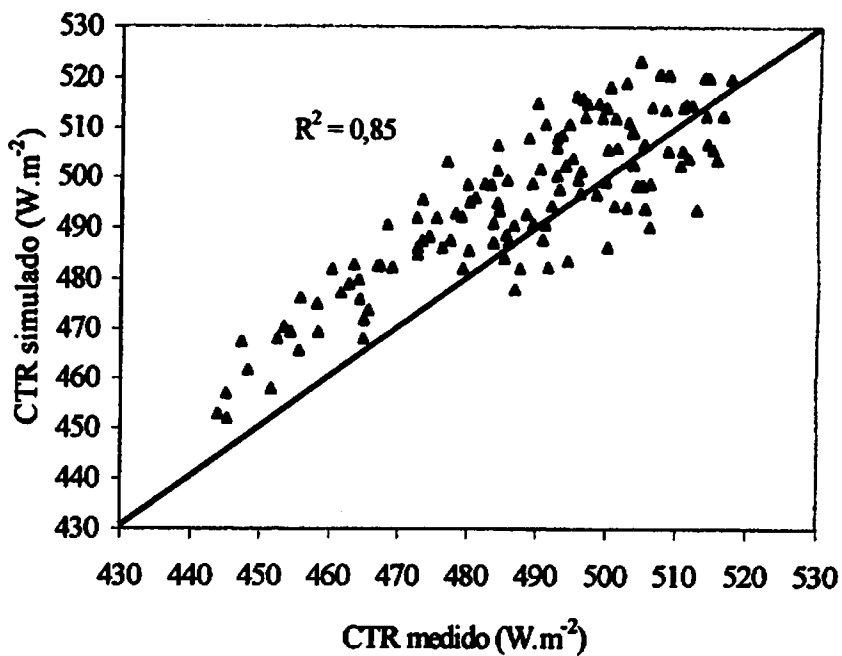
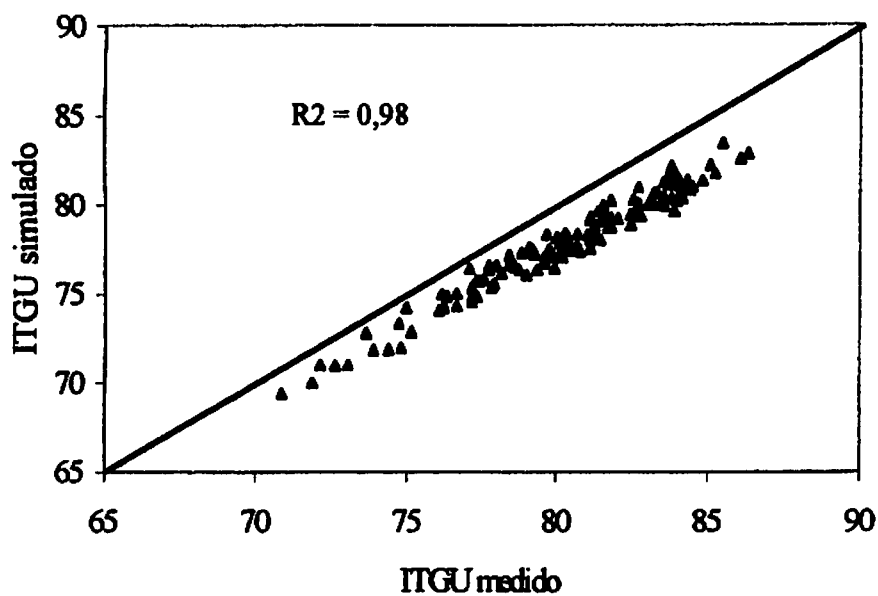


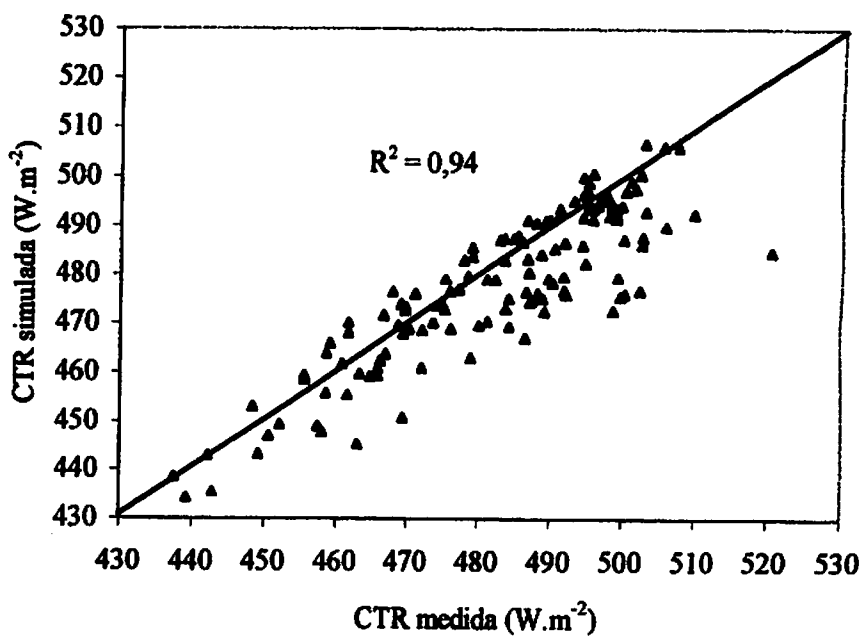
FIGURA 12 Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) medido e simulado para o tratamento B<sub>30SL</sub>. (modelo físico em escala 1:10 com cobertura de telhas de barro com 30° de inclinação e sem lanternim).



**FIGURA 13** Carga térmica de radiação (CTR) medida e simulada para o tratamento B<sub>30SL</sub> (modelo físico em escala 1:10 com cobertura de telhas de barro com 30° de inclinação e sem lanternim).



**FIGURA 14** Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) medido e simulado para o tratamento  $A_{1SSL}$  (modelo físico em escala 1:10 com cobertura de telhas de alumínio com  $15^\circ$  de inclinação e sem lanternim).



**FIGURA 15** Carga térmica de radiação (CTR) medida e simulada para o tratamento A<sub>1SSL</sub> (modelo físico em escala 1:10 com cobertura de telhas de alumínio com 15° de inclinação e sem lanternim).

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- a. Com base no índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR) e efetividade ( $\epsilon$ ), o tratamento que proporcionou as melhores condições térmicas no interior do modelo reduzido foi o  $B_{30CVF}$ .
- b. O segundo melhor tratamento foi o  $B_{30CVN}$ . Apesar da segunda colocação, o uso do  $B_{30CVN}$  é atrativo quando comparado ao tratamento  $B_{30CVF}$ , pois independe do uso de energia elétrica.
- c. O modelo computacional testado pode ser usado para prever os índices de conforto térmico (CTR e ITGU) no interior de modelos reduzidos construídos em escala reduzida.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P. G.; BAÊTA, F. C.; SOARES, A. R.; ABREU, U. M. N.; MACIEL, N. F. Utilização de piso aquecido eletricamente na criação de aves. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v. 4, n. 12, p. 1-19, 1995.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações Rurais: conforto térmico animal*. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.
- BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. *Anais...* Campinas: FACTA, 1995. p. 67-75.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 36, n. 4, p. 251-255, Apr. 1955.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F.; GARRET, W. N.; HAHN, L. Evaluation of materials for livestock shades. *California Agriculture*, Berkeley, v. 15, n. 1, p. 7-8, Jna./Feb. 1961.
- BOUCHILLON, C. W.; REECE, F. N.; DEATON, J. W. Mathematical modeling of thermal homeostasis. *Transactions of the American Society of heating and Air-Conditioning Engineering*, St. Joseph, v. 13, n. 5, p. 648-652, 1970.
- BROOKS, F. A. *An introduction to physical microclimatology*. Davis: University of California, 1959. 264 p.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLASSO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PIT, D. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, July/Aug. 1981.
- CAMPOS, A. T. *Determinação índices de conforto térmico e da carga de térmica radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa*. 1986. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Federal Viçosa, Viçosa, MG.
- COOPER, M. A.; WASHBURN, K. W. The relationship of body temperature to weigh gain, feed consumption, and feed utilization in broilers under heat stress. *Poultry Science*, Champaign, v. 77, n. 3, p. 237-242, Mar. 1998.

**COSTA, E. C. Arquitetura ecológica, condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264 p.**

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

**DANTAS, F. F. Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com cobertura em telhas de cerâmica e de cimento-amianto. 1995. 48 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade de Federal Viçosa, Viçosa, MG.**

**DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar energy-thermal processes. New York: J. Wiley, 1974. 386 p.**

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

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

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

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

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

**HAHN, L.; BOND, T. E.; KELLY, C. F. Use of models in thermal studies of livestock housing. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 4, n. 1, p. 45-47, Jan./Feb. 1961.**

**HICKS, F. W. Influência do ambiente no desempenho das aves. Avicultura Brasileira, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 75-76, Jul. 1973.**

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

- KELLY, C. F.; BOND, T. E.; ITTNER, N. R.** Design of livestock shades. *Califórnia Agriculture, Berkeley*, v. 8, n. 8, p. 3-4, Aug. 1954.
- KELLY, C. F.; BOND, T. E.** Effectiveness of artificial shade materials. *Agriculture Engineering, St. Joseph*, v. 39, n. 12, p. 758-759, 764, Dec. 1958.
- LLOBET, J. A. C.; GONDOLBEU, U. S.** *Manual prático de avicultura*. Lisboa: Livraria Popular Francisco Franco, 1980. 214 p.
- MACARI, M.; FURLAN, R. L.** Estresse por calor e frio em frangos de corte In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM CIÊNCIAS AVÍCOLAS, 4., 1999**, Santa Cruz. *Anais...* Santa Cruz, Bolívia: AMEVEA, 1999. p. 95-109.
- MACKEY, C. O.; WRIGHT L. T.** Periodic heat flow-homogeneous walls or roofs. *Transactions of the American Society Heating and air-Conditioning*, New York, v. 50, n. 1255, p. 93-312, 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, Oxford*, v. 2, n. 3, p. 115-120, 1977.
- McARTHUR, A. J.** Metabolism of homeotherms in the cold and estimation of thermal insulation. *Journal of Thermal Biology, Oxford*, v. 16, n. 3, p. 149-155, 1991.
- MEDEIROS, C. M.** *Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade de Federal de Viçosa, Viçosa, MG.*
- MEDEIROS, C. M.** *Desenvolvimento e aplicação de modelo para simulação e desempenho de galinhas poedeiras e frangos de corte com uso de resfriamento evaporativo. 1997. 88 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade de Federal Viçosa, Viçosa, MG.*
- MILLIGAN, J. L.; WINN, P. N.** The influence of temperature and environmental chamber. *West Lafayette: Poultry Science, Champaign*, v. 43, n. 3, p. 817-824, May 1964.
- MITCHELL, J. W.** Heat transfer from spheres and other animal forms. *Biophysical Journal, Bethesda*, v. 16, n. 6, p. 561-569, 1976.

MORAES, S. R. P. de; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; YANAGI JUNIOR, T.; VIGODERIS, R. B.; CECON, P. R. Study of thermal environment for scaled models of broiler houses, using tiles of clay, asbestos and aluminum, under summer conditions. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001a. p. 473-477.

MORAES, S. R. P. de; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; YANAGI JUNIOR, T.; VIGODERIS, R. B.; OLIVEIRA, A L R. Determination of the effectiveness (e) of different types of roof materials on broiler buildings under summer conditions in brazil. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001b.

MORAES, S. R. P. **Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas, para diferentes coberturas, durante o verão.** 1999. 73 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiência) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MURPHY, G. C. E. **Similitude in engineering.** New York: Ronal Press, 1950. 302 p.

NEUBAUER, L. W. Optimum alleviation of solar stress on model buildings. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, n. 1, p. 129-132, Jan./Feb. 1972.

OLIVEIRA, J. L. **Hot weather livestock housing analysis.** East Lansing. Michigan State University, 1980. (tese de Doutorado).

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

PATTIE, D. R.; MILNE, W. R. Ventilation air-flow patterns by use of models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 9, n. 5, p. 646-649, Sept./Oct. 1966.

PERDOMO, C. C. Mecanismos de aclimação de frangos de corte como forma de reduzir uma mortalidade nenhum inverno verão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE INSTALAÇÕES E AMBIÊNCIA, 1988, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: FACTA, 1988. p. 229-239.

REECE, F. N.; LOTT, B. D.; DEATON, L. W.; BRANTON, S. L. Meal feeding and broiler performance. Lafayette: **Poultry Science**, Champaign, v. 65, n. 12, p. 1497-1501, Dec. 1986.

- RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240 p.
- SAINSBURY, D. **Sanidad y alojamientos para animales**. Barcelona: Editorial Continental, 1971. 196 p.
- SANTOS, A. C.; BAËTA, F. C.; CECON, P. R.; CARDOSO, R. M. Análise de diferentes bezerreiros individuais móveis, para região de Viçosa. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 2, n. 7, p. 1-8, 1993.
- SCHMID, A.L. Refletindo sobre o calor. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, v. 88, n. 1057, p. 18-23, Jul. 1998.
- SEVERO, J. C. DE ABREU; YANAGI JUNIOR, T.; SANTOS, S. N. M.; SILVA, J. P.; TEIXEIRA, V.H.; BORGES, G.; SANTOS, P.A. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico no interior de galpões para criação de frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia, GO. **Anais... Goiânia: SBEA, 2003. p. 4. 1 CD ROM.**
- SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 12, n. 4, p. 497-500, Jul./Aug. 1996.
- SINGLETARY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R. Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 5, p. 1801-809, Sept./Oct. 1996.
- SOUZA, C. F.; TINOCO, I. F. F.; BAETA, F. C.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 157-164, jan./fev. 2002.
- TAO, X.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 46, n. 2, p.491-497, Mar./Apr. 2003.
- TEIXEIRA, V. H. **Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para a região de Viçosa e Visconde do Rio Branco – M.G.** 1983. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

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

**TIMMONS, M. B.; GATES, R. S. Predictive Model of Laying hen Performance to Air Temperature and Evaporative Cooling. St. Joseph: Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 31, n. 5, p. 1503-1509, Sept./Oct. 1988.**

**TIMMONS, M. B.; BAUGHMAN, G. R. Similitude analysis of ventilation by the stack effect from an open ridge livestock structure. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 1030-1034, July/Aug. 1981.**

**TINÓCO, I. F. F. Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte. 1988. 92 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.**

**TINÓCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. Revista de Brasileira Ciências Avícolas, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-26, abr. 2001.**

**TURCO, S. H. N.; BAÊTA, F. C.; COSTA, P. M. A.; CARDOSO, R. M.; CECON, P. R. Modificações das condições ambientais de verão em maternidades de suínos. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 3, n. 11, p. 1-12, 1994.**

**VAQUERO, E. G. Projeto e construção de alojamentos para animais. 7. ed. Lisboa: Biblioteca Técnica Litexa, 1981. 237 p.**

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

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

**YANAGI JUNIOR, T. Partial Surface Wetting to Relieve Acute Thermal Stress of Laying Hens. 2002. 93 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiente). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.**

- YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, G. S.; TEIXEIRA, V. H.; XIN, H.** Prediction of black globe humidity index in poultry buildings. In: **INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001d. p. 482-489.
- YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H; GATES, R. S.** Modeling partial surface evaporative cooling of chickens. St Joseph, MI: ASAE, 2001a. Paper.
- YANAGI JUNIOR., T.; DAMASCENO, G. S.; TINÓCO, I. F. F.; BAÊTA. F. C.; MORAES, S. R. P.** 2000. Comportamento da temperatura e umidade ao longo de galpões avícolas climatizados. In.: **CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL, 6.; CONGRESSO AMERICANO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA AGRÍCOLA; 2., 2000; Buenos Aieres. Anais...** Bueno Aires: CADIR, 2000. 6 p. 1CD ROM.
- YANAGI JUNIOR. T.; XIN H.; GATES R. S.** Optimization of intermittent partial surface cooling for heat stress relief of laying hens. St Joseph, MI: ASAE, 2001b. Paper.
- YANAGI JUNIOR., T.; H. XIN; R.S. GATES.** Modeling partial surface evaporative cooling of chickens. St Joseph, MI: ASAE, 2001c. Paper.
- YOUSEF, M. K.** Stress Physiology in Livestock. Poultry, Boca Raton, v. 3, p. 159, 1985.
- ZANOLLA, N.** Sistema de ventilação em túnel e sistema de ventilação lateral na criação de frangos de corte em alta densidade. 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
- ZAPPAVIGNA, P.; LIBERATI, P.** Towards a More Comprehensive Approach to the Environmental Control in Hot Climate. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 5., 1997, Bloomington, Minnesota. Proceedings...**, Bloomington, Minnesota: ASAE, 1997. p. 686-693.

## 7 ANEXOS

<b>ANEXO A</b>		<b>Página</b>
<b>Tabela 1A</b>	<b>Valores das médias horárias e das médias gerais da temperatura de bulbo seco (Tbs), temperatura de globo nebro (Tgn), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (Var), correspondente aos seis tratamentos e ao ambiente externo, das 10 às 16 horas, no período do verão, em Lavras (MG).....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO B</b>		
<b>Figura 1B</b>	<b>Planta baixa dos modelos reduzidos.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 2B</b>	<b>Cortes transversais dos modelos reduzidos.....</b>	<b>66</b>



TABELA 1A Valores das médias horárias e das médias gerais da temperatura de bulbo seco (T<sub>bs</sub>), temperatura de globo negro (T<sub>gn</sub>), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (Var), correspondente aos seis tratamentos e ao ambiente externo, das 10 às 16 horas no período do verão, em Lavras (MG).

HORA	B00CL			R00SL			A1SSL			B10CVN			B3WCVP			B3040CL			Ambiente externo									
	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var	T <sub>bs</sub>	UR	Var				
	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>	°C	%	m <sup>-1</sup>				
10:00	23,8	24,3	78	0,5	23,7	24,8	79	0,4	24,0	24,9	77	0,3	23,8	24,5	79	0,3	23,9	24,5	75	0,5	24,2	25,1	75	0,3	23,2	26,5	79	0,8
10:30	24,6	25,6	78	0,2	25,0	25,2	78	0,3	25,1	25,1	75	0,3	24,9	25,7	76	0,4	24,8	25,6	73	0,3	25,4	26,4	72	0,3	24,4	28,1	79	0,9
11:00	25,7	26,7	72	0,3	25,0	27,2	72	0,4	25,3	27,5	71	0,2	25,0	25,9	72	0,4	25,1	27,0	68	0,6	25,5	27,8	69	0,5	25,2	29,4	74	0,8
11:30	26,8	27,7	68	0,4	26,7	28,2	69	0,4	27,1	28,4	68	0,3	26,4	27,5	70	0,3	26,6	27,8	66	0,2	26,6	27,8	69	0,6	25,5	29,0	72	0,8
12:00	27,4	28,5	68	0,2	27,3	28,8	68	0,3	27,3	28,7	67	0,2	26,9	27,9	69	0,2	27,3	28,2	64	0,2	27,3	28,6	65	0,5	26,1	28,5	70	0,7
12:30	28,1	29,1	65	0,2	28,1	29,6	64	0,3	28,8	30,0	64	0,2	27,8	29,8	65	0,3	28,1	29,2	60	0,3	28,3	29,6	62	0,4	26,9	41,2	66	0,7
13:00	28,8	29,8	62	0,3	28,4	30,0	61	0,2	29,0	30,3	60	0,2	28,2	29,3	63	0,2	28,5	29,4	58	0,5	28,7	30,0	60	0,3	27,2	39,9	64	0,8
13:30	29,2	30,1	60	0,3	29,0	30,7	59	0,4	29,2	30,6	59	0,1	28,6	29,7	61	0,2	28,8	30,0	56	0,5	29,0	30,5	57	0,3	27,7	41,3	62	0,8
14:00	29,9	31,0	58	0,3	29,6	31,5	57	0,1	30,0	31,8	57	0,2	29,3	30,4	60	0,4	29,8	30,9	55	0,4	29,7	31,3	56	0,4	28,5	43,0	60	0,8
14:30	29,7	30,9	58	0,1	29,8	31,4	58	0,2	30,2	31,7	58	0,3	29,5	30,7	59	0,5	29,6	30,6	55	0,3	29,7	31,3	56	0,4	28,7	41,4	59	0,7
15:00	30,3	31,4	58	0,3	30,6	32,1	55	0,4	30,3	32,0	57	0,2	30,0	31,2	58	0,3	30,2	31,4	53	0,3	29,9	31,4	56	0,6	29,0	29,6	58	0,8
15:30	30,3	31,4	57	0,3	30,3	31,8	55	0,2	30,3	31,8	58	0,3	29,8	31,0	58	0,4	29,9	31,1	54	0,2	30,0	31,3	55	0,2	29,2	40,1	58	0,8
16:00	30,1	31,2	57	0,3	30,0	31,6	54	0,3	30,1	31,5	55	0,2	29,6	30,8	57	0,3	29,8	30,8	52	0,2	29,8	31,1	53	0,4	29,2	40,4	58	0,4
MÉDIA	28,0	29,0	64	0,3	28,0	29,5	63	0,3	28,3	29,8	63	0,2	27,7	28,9	65	0,3	27,9	29,0	60	0,3	28,1	29,4	62	0,4	27,0	36,8	65	0,7

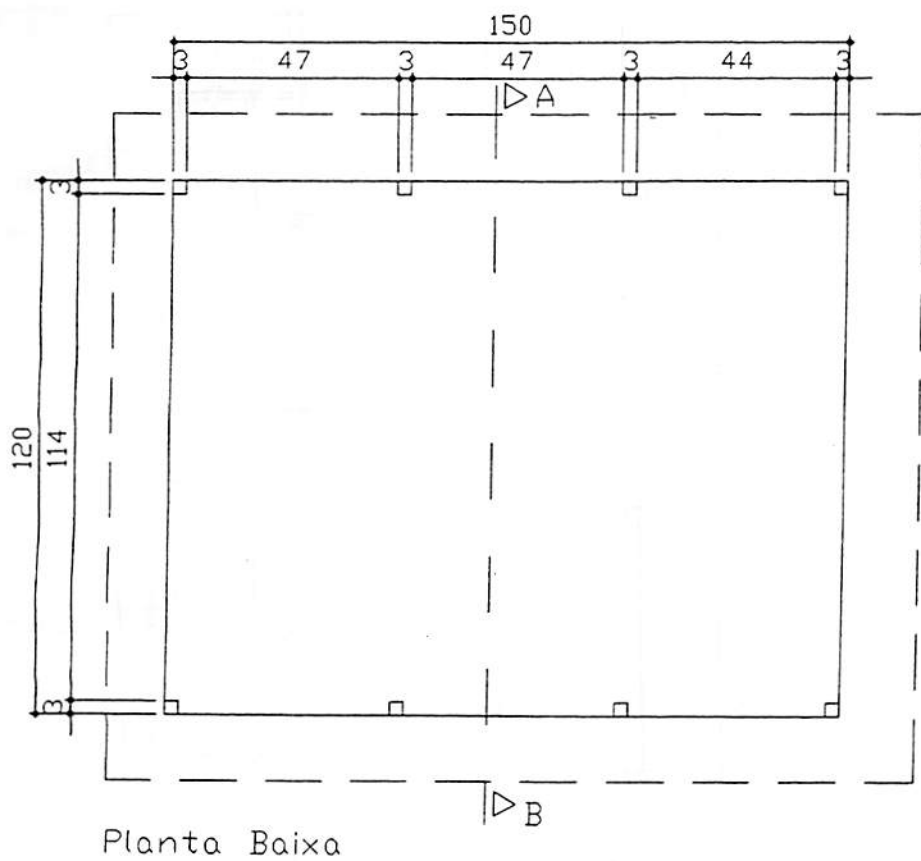


FIGURA 1B Planta baixa dos modelos reduzidos

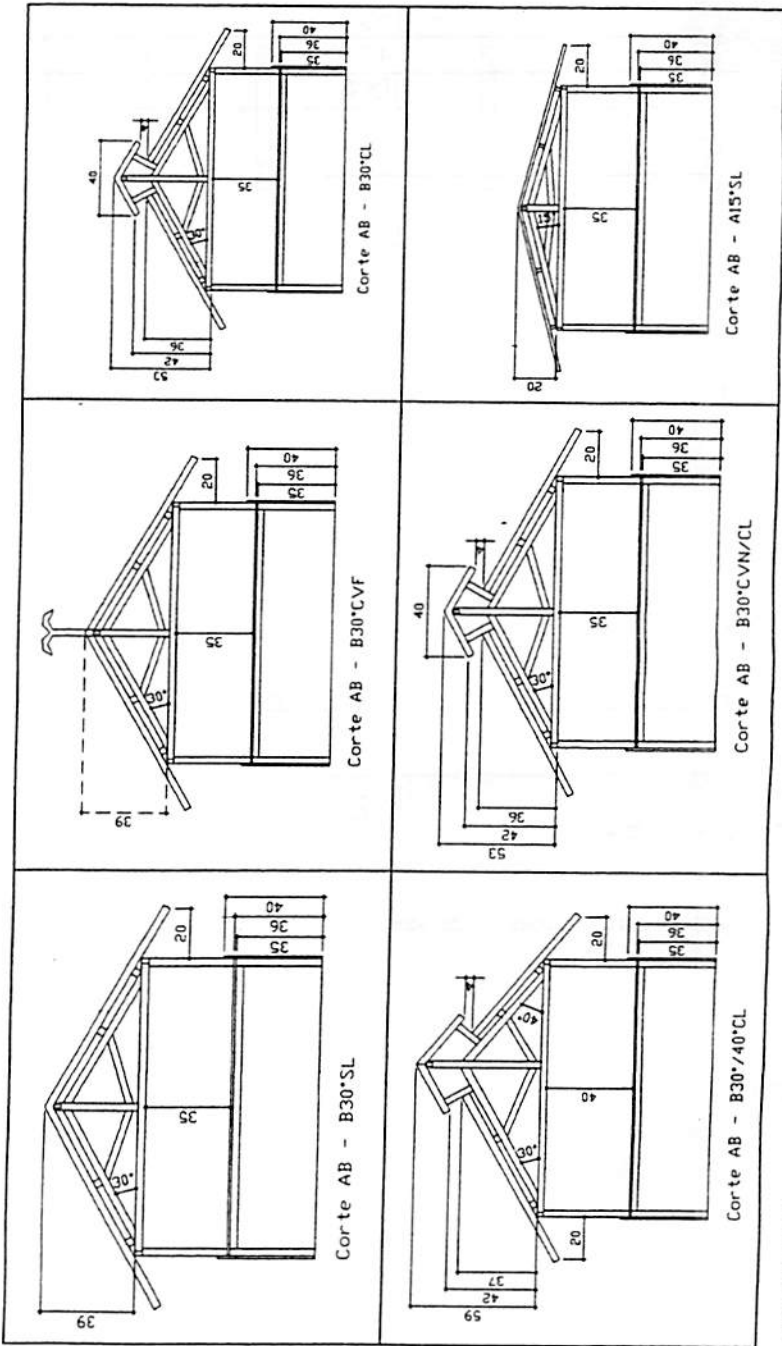


FIGURA 2B Cortes transversais dos modelos reduzidos