

HUMBERTO GARCIA DE CARVALHO

**MATERIAIS DE COBERTURA E SUAS ASSOCIAÇÕES A FORROS E
MATERIAIS ISOLANTES NO AMBIENTE TÉRMICO DE PROTÓTIPOS
ABERTOS E FECHADOS COM VISTAS A PRODUÇÃO DE FRANGOS DE
CORTE EM CLIMA QUENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV**

T

C331m
2013
Carvalho, Humberto Garcia de, 1974-
Materiais de cobertura e suas associações a forros e materiais
isolantes no ambiente térmico de protótipos abertos e fechados com
vistas a produção de frangos de corte em clima quente / Humberto
Garcia de Carvalho. - Viçosa, MG, 2013.
xv, 97 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 92-97.

1. Frango de corte. 2. Frango de corte - Efeito da temperatura.
3. Isolamento térmico. 4. Materiais isolantes. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

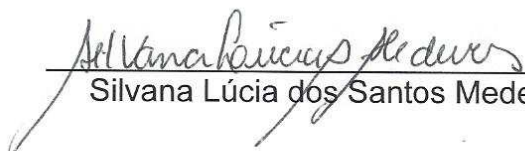
CDD 22. ed. 631.2

HUMBERTO GARCIA DE CARVALHO

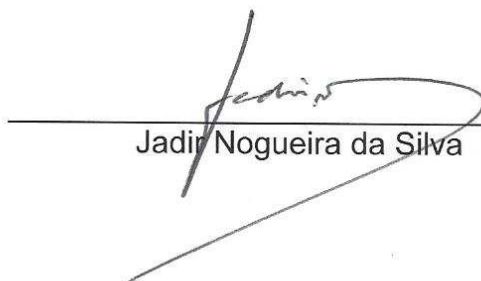
**MATERIAIS DE COBERTURA E SUAS ASSOCIAÇÕES A FORROS E
MATERIAIS ISOLANTES NO AMBIENTE TÉRMICO DE PROTÓTIPOS
ABERTOS E FECHADOS COM VISTAS A PRODUÇÃO DE FRANGOS DE
CORTE EM CLIMA QUENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 23 de abril de 2013.


Silvana Lúcia dos Santos Medeiros


Rafael Bastos Teixeira


Jadir Nogueira da Silva


Rogério Amaro Gonçalves
(Coorientador)


Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Orientadora)

Aos meus filhos Murilo e Isadora e à minha esposa Muriele,
por serem minha referência e fonte de alegria e motivação.

À minha orientadora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco,
pelo incentivo e pela confiança.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por despertar em mim, a cada dia, a coragem e a perseverança para transpor obstáculos.

À minha esposa Muriele e aos meus filhos Isadora e Murilo, com admiração e orgulho, pelo amor, ternura e ajuda essencial em todos os momentos.

À professora Ilda, pela confiança e pelo incentivo nos momentos difíceis, meu imenso respeito e consideração.

Aos professores da UFV e do IFMG Campus Bambuí, em particular a Fernando da Costa Baêta, Rogério Amaro Gonçalves, Jadir Nogueira da Silva, Silvana Lúcia dos Santos Medeiros e Rafael Bastos Teixeira, pela orientação, pelo apoio e pelas sábias e oportunas sugestões.

A todos os amigos do Ambiagro, em especial a Diogo, Elohanna, Fatinha, Fernanda, Flávio, Keller, Luciano, Maurílio, Múcio, Robinson e “seu” Pedro, pela ajuda na montagem do experimento, pela excelente companhia e, principalmente, pela amizade.

A Diogo, Keller e Rogerinho, pela ajuda incondicional nos momentos estratégicos deste trabalho.

A Bené, Neida, Didi, Bruna, Arthur, Eduardo, Pulquéria, Fabrício e Luciene, pelo carinho e incentivo.

Ao meu pai, à minha mãe e ao meu irmão Flávio que sempre estiveram presentes; aos meus familiares, pela cooperação e carinho.

Ao IFMG Campus Bambuí, pela oportunidade concedida.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e seus funcionários, pelo acolhimento e pelo carinho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização de meus objetivos, pois, como dizia Albert Einstein, *“no meio de qualquer dificuldade encontra-se a oportunidade”*.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Demanda por alimentos e posição da avicultura brasileira no mundo	5
3.2. Concepções arquitetônicas de instalações avícolas e o conforto térmico	7
3.2.1. Bioclima nas instalações avícolas	8
3.2.2. Ventilação natural.....	10
3.2.3. Materiais de cobertura.....	11
3.3. Modelos reduzidos.....	12
3.3.1. O uso de modelos reduzidos.....	14
3.3.2. Transmissão de calor	17
3.3.3. Mecanismos de trocas térmicas	19
3.3.3.1. Radiação.....	19
3.3.3.2. Convecção.....	24
3.3.3.3. Condução.....	27
3.3.3.4. Evaporação e condensação.....	34
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1. Caracterização dos protótipos	37
4.1.1. Dimensões e estrutura dos protótipos	37
4.1.2. Coberturas dos protótipos e suas associações	41
4.1.2.1. Materiais de cobertura dos protótipos.....	41
4.1.2.2. Materiais associados às coberturas (forros)	43
4.2. Tratamentos avaliados.....	45
4.2.1. Tratamentos da primeira fase experimental, com cortinas abertas (CA).....	46
4.2.2. Tratamentos da segunda fase experimental, com cortinas fechadas (CF).....	46

4.3. Instrumentos e sistemas de medições utilizados para a caracterização do ambiente térmico	47
4.4. Indicadores para caracterização do ambiente térmico externo dos galpões	47
4.5. Indicadores para caracterização do ambiente térmico interno dos protótipos	49
4.6. Delineamento estatístico.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1. Condições térmicas ambientais observadas nos diferentes tratamentos	55
5.2. Temperaturas máximas ocorridas nas situações de cortina fechada (CF) e cortina aberta (CA).....	61
5.2.1. Situação de cortina fechada	63
5.2.2. Situação de cortina aberta.....	68
5.3. Taxa de renovação do ar e sua influência no arrefecimento térmico dos abrigos estudados.....	73
5.4. Temperatura superficial da telha – cortina fechada e aberta	75
5.5. Umidade relativa do ar no interior dos protótipos para as situações de cortina fechada e de cortina aberta.....	79
6. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissividade dos materiais de construção	22
Tabela 2 - Emissividade de superfícies.....	23
Tabela 3 - Valores do coeficiente de absorção (α) em superfícies opacas comuns	24
Tabela 4 - Densidade e condutividade térmica	29
Tabela 5 - Resistência térmica dos materiais de construção	30
Tabela 6 - Calor específico (c) e espessura (L) de diferentes materiais	33
Tabela 7 - Valores médios horários de temperatura do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos para a situação de cortina fechada, durante todo o período experimental.....	56
Tabela 8 - Valores médios horários de temperatura do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos para a situação de cortina aberta, durante todo o período experimental	56
Tabela 9 - Temperaturas médias e desvio padrão dos tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), bem como TA (temperatura ambiente externo), nas situações de CA (cortina aberta) e CF (cortina fechada)	57
Tabela 10 - Temperatura média das máximas do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha) e TA (temperatura ambiente externo), para as situações CA (cortina aberta) e CF (cortina fechada), durante todo o período experimental.....	62
Tabela 11 - Média das temperaturas máximas e velocidade do ar.....	74
Tabela 12 - Temperatura média superficial da telha em °C, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos e para as situações de cortina fechada e de cortina aberta, durante todo o período experimental	76
Tabela 13 - Temperatura média da superfície superior da telha e desvio padrão para as situações de cortina fechada e aberta: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha), CA (cortina aberta), CF (cortina fechada).	76
Tabela 14 - Valores médios horários de umidade relativa do ar no interior dos protótipos, na situação de cortina fechada e para cada tratamento: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP	

(forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para a situação de CF (cortina fechada) 80

Tabela 15 - Valores médios horários de umidade relativa do ar no interior dos protótipos, na situação de cortina aberta e para cada tratamento: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para a situação de CF (cortina fechada) 80

Tabela 16 - Umidade relativa média e desvio padrão – Situação de cortina Fechada e cortina aberta para os tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha), CA (cortina aberta), CF (cortina fechada) e TA (temperatura ambiente externo)..... 81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O calor se transmite sempre do corpo mais quente para o mais frio.	19
Figura 2 - Energia radiante incidente sobre um corpo	20
Figura 3 - Representação completa da convecção natural.	25
Figura 4 - Fluxo de calor ascendente e descendente.	26
Figura 5 - Transmissão de calor meio a meio.	31
Figura 6 - Diferença de temperatura entre meios e sua resistência térmica. ...	32
Figura 7 - Vista da área experimental mostrando os seis protótipos de galpões avícolas e abrigo meteorológico ao centro.....	37
Figura 8 - Protótipo em fase de construção, com estrutura em madeira e fechamento com madeirite.....	38
Figura 9 - Distribuição dos protótipos na área experimental, com o eixo maior orientado a leste-oeste: G (telha de aço galvalume), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha).	39
Figura 10 - Representação gráfica, em perspectiva, escala 1:5, dos aviários de frango de corte.....	40
Figura 11 - Vista interna de um dos protótipos (fundo em madeirite e serragem de madeira a ser espalhada).....	40
Figura 12 - Telha fibrocimento sem amianto.	41
Figura 13 - Telha metálica de aço galvalume.	42
Figura 14 - Vista de um dos protótipos tendo sua cobertura vedada por fita metálica.....	42
Figura 15 - Material isolante (Polietileno Extrudado) empregado em dois protótipos.	43
Figura 16 - Protótipo com aplicação do isolante térmico sob a cobertura.....	44
Figura 17 - Protótipo com presença de forro de polietileno posicionado horizontalmente sob o telhado.	44
Figura 18 - Protótipo sem a presença de forros sob a cobertura.	45
Figura 19 - Vista do interior do abrigo meteorológico, bem como sua posição relativa à distribuição espacial dos protótipos na área experimental.	48

Figura 20 - Fases do desenvolvimento do circuito para receber os sensores - dispositivos digitais endereçáveis (tecnologia 1-wire).....	50
Figura 21 - Disposição dos sensores no eixo transversal e vertical. Todos coletam temperatura e os dois centrais (um a 10 cm do piso e outro a 50 cm do piso) coletam umidade.	50
Figura 22 - Disposição dos sensores no eixo longitudinal e horizontal do protótipo. Todos coletam temperatura e o central coleta também a umidade..	51
Figura 23 - Vista dos sensores no interior dos protótipos.	51
Figura 24 - Termo-anemômetro de fio quente utilizado na medição de velocidade do ar de entrada e saída dos protótipos.....	52
Figura 25 - Termômetro de infravermelho.....	53
Figura 26 - Temperatura média do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para as situações (a): de CA (cortina aberta) e (b): de CF (cortina fechada), durante todo o período experimental.....	59
Figura 27 - Temperatura média do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para as situações (a): de CA (cortina aberta) e (b): de CF (cortina fechada), durante todo o período experimental, com análise da variância entre todos os tratamentos.....	60
Figura 28 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento: G-IT-CF (telha galvanizada – isolamento térmico – cortina fechada).	64
Figura 29 - Imagem de superfície e regressão linear para distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-IT-CF (telha fibrocimento – isolamento térmico – cortina fechada).	64
Figura 30 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-FP-CF (Telha Galvanizada – Forro Polietileno – Cortina Fechada).	66
Figura 31 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-FP-CF (Telha Fibrocimento – Forro Polietileno – Cortina Fechada).	66

Figura 32 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-TS-CF (Telha Galvalume – Sem forro (testemunha) – Cortina Fechada).	67
Figura 33 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-TS-CF (Telha Fibrocimento – Sem forro (testemunha) – Cortina Fechada).	67
Figura 34 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-IT-CA (Telha Galvalume – Isolante Térmico – Cortina Aberta).	70
Figura 35 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-IT-CA (Telha Fibrocimento – Isolante Térmico – Cortina Aberta).	70
Figura 36 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-FP-CA (Telha Galvalume – Forro Polietileno – Cortina Aberta).	71
Figura 37 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-FP-CA (Telha Fibrocimento – Forro Polietileno – Cortina Aberta).	71
Figura 38 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-TS-CA (Telha Galvalume – Sem forro (testemunha) – Cortina Aberta).	72
Figura 39 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-TS-CA (Telha Fibrocimento – Sem forro (testemunha) – Cortina Aberta).	72
Figura 40 - Média das velocidades do ar em função do tempo, no interior dos protótipos de galpões avícolas.	74
Figura 41 - Temperatura da superfície superior da telha de aço galvalume e fibrocimento, nos tratamentos, para a situação de cortina fechada (a) e aberta (b).	77
Figura 42 - Temperaturas médias da superfície superior das telhas de aço galvalume e fibrocimento, nos tratamentos, para a situação de cortina fechada (a) e aberta (b), entre todos os tratamentos.	78

Figura 43 - Temperaturas superficiais da telha para a situação cortina fechada (a) e cortina aberta (b).	78
Figura 44 - Valores médios de Umidade relativa (%) para cada tratamento.	82
Figura 45 - Umidade relativa (%) média entre os tratamentos. Cortina fechada (a) e cortina aberta (b).	83
Figura 46 - Médias horárias dos valores de umidade relativa do ar, em %, no interior dos protótipos submetidos aos diferentes tratamentos e nas situações de cortinas fechadas (CF) e de cortinas abertas (CA).	84

RESUMO

CARVALHO, Humberto Garcia de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2013. **Materiais de cobertura e suas associações a forros e materiais isolantes no ambiente térmico de protótipos abertos e fechados com vistas a produção de frangos de corte em clima quente.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Coorientadores: Rogério Amaro Gonçalves e Fernando da Costa Baêta.

Em razão de enormes avanços tecnológicos do setor produtivo, o Brasil passou a ocupar o primeiro lugar mundial no ranking de países exportadores de carne de frango. Contudo, em razão da tipologia, materiais e concepção arquitetônica típica para as condições de clima tropical e subtropical, os aviários abertos brasileiros apresentam fragilidade nos sistemas construtivos devidos ao baixo amortecimento térmico dos envoltórios construtivos, especialmente nas coberturas, gerando condições de estresse calórico durante boa parte do dia e do ano, o que reflete em prejuízos à atividade. Assim, a utilização de materiais refletivos à radiação solar traz benefícios econômicos por permitir a redução do ganho de calor pelos telhados, o qual é entendido como o paramento que mais contribui no sobreaquecimento do conjunto construtivo. De maneira análoga, o uso de diferentes materiais de cobertura, assim como o uso de isolantes térmicos ou mesmo forros na face inferior da cobertura, pode contribuir significativamente no amortecimento térmico e na redução do excesso de calor nos alojamentos. Com base no exposto, foram estudados dois diferentes materiais de cobertura, (telha de aço galvanizado e telha de fibrocimento), em associação a isolantes *Foamular* e a forros de polietileno, em abrigos abertos e fechados, em escala reduzida, tipologia representativa dos aviários de frangos de corte praticados no país. O objetivo principal foi testar os diferentes tipos de coberturas e suas associações com materiais isolantes e forros, quanto a possível redução na temperatura do ar no interior de abrigos utilizados para produção animal, tanto na situação de cortinas abertas com ventilação natural, quanto na situação de cortinas fechadas, durante os horários mais quentes do dia. A coleta de dados foi realizada durante os meses de fevereiro e março de 2012. Para a realização da pesquisa foram construídos seis protótipos de

galpões avícolas em escalas reduzida em 1:5. Para a avaliação dos tratamentos foram medidos, durante os horários mais quentes do dia, tanto no interior dos protótipos, quanto no ambiente externo aos mesmos os seguintes dados ambientais: umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura da superfície superior da telha e velocidade do ar. Para aquisição de dados térmicos do ambiente utilizou-se dispositivos digitais endereçáveis (tecnologia 1-wire), em razão de sua precisão e confiabilidade, bem como pela redução dos custos com instrumentação quando comparados com sistemas de aquisição de dados convencional. Os resultados demonstraram que os menores valores de temperatura do ar no interior do galpão foram para os tratamentos que receberam isolamento térmico. O forro de polietileno apresentou importante papel na redução da temperatura média interna dos protótipos. A ventilação natural foi eficiente na redução da temperatura durante a fase experimental em que as cortinas estavam abertas. As telhas de aço galvanizado ocasionaram ambientes internos com temperaturas mais amenas quando comparadas às telhas de fibrocimento.

ABSTRACT

CARVALHO, Humberto Garcia de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2013. **The effect of roof tiles combined with linings and insulation materials on thermal environments of open and closed broiler house prototypes under hot climate conditions.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisers: Rogério Amaro Gonçalves and Fernando da Costa Baêta.

Brazil is the world's largest poultry exporter as a result of the significant technological advancements in the productive sector. However, due to typology, materials, and architectural conception typically found in tropical and subtropical climate conditions, open poultry houses present construction limitations due to low thermal damping, especially of roofs, generating heat stress conditions during most of the day and year, and leading to losses. Thus, the use of materials that reflect solar radiation is economically beneficial since it allows reduced heat gain through roofs, known as the parameter most contributing to over-warming in poultry housing construction systems. Similarly, the use of different roof materials, as well as thermal insulation materials or even roof linings may significantly contribute to thermal damping and reduced heat in the aviaries. Thus, two different roofing materials (Galvalume steel tile and fiber-cement roof shingles) were studied, associated with *Foamular* insulators and polyethylene linings in open and closed aviaries, on a reduced scale, a representative typology of broiler aviaries in Brazil. The main objective of this work was to test the different types of roof, in combination with insulating materials and linings, aiming at air temperature reduction inside the animal production houses, both under open curtains with natural ventilation and closed curtain conditions, during the hottest times of the day. Data were collected in February and March, 2012. Six aviary prototypes were built at a reduced scale of 1:5. To evaluate the treatments, the following environmental data were measured during the hottest times of the day, both internally and externally: air relative humidity, air temperature, temperature of the superior surface of the roof tile, and air velocity. For environment thermal data acquisition, addressable digital devices (1-wire technology) were used because of their precision, reliability and reduced cost, compared with conventional acquisition data

systems. The results showed that thermal insulation treatments presented the lowest air temperature values inside the warehouses. Polyethylene lining played an important role in reducing the internal mean temperature of the prototypes. Natural ventilation was efficient in reducing temperature during the experimental phase when the curtains were pulled open. The Galvalume steel tiles provided milder temperatures to the internal environments than the fiber-cement tiles.

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos deve duplicar nas próximas décadas, sendo a maior parte desta demanda deve ser suprida através de uma maior eficiência na produção, gerada pelo uso de novas tecnologias (ELANCO, 2013).

Atualmente, o Brasil ocupa o primeiro lugar no mundo, no ranking de países exportadores de carne de frango, sendo o terceiro maior produtor, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS – ABEF, 2013).

Esta posição de destaque da avicultura industrial brasileira se deve a vários fatores, incluindo manejos adequados, custos fixos e custos variáveis menores e climas com amplitudes térmicas bem inferiores comparativamente aos países produtores da América do Norte e Europa. A condição climática que viabiliza a predominância de aviários abertos com uso de ventilação natural em boa parte do dia. Por outro lado, a fragilidade nos sistemas construtivos brasileiros reside no baixo amortecimento térmico dos envoltórios construtivos, especialmente nas coberturas. Tais gerando condições de estresse calórico muitas vezes acima do limite admissível ao bem-estar e bom desempenho animal, gerando grandes prejuízos à atividade.

Desta forma, apesar do Brasil se destacar na produção agrícola, ainda apresenta problemas relacionados à cobertura dos galpões avícolas e que influenciam na produtividade. O fato é que o telhado constitui um dos elementos da construção que mais contribui para as condições do ambiente interno dos abrigos empregados para a criação de animais. Ou seja, o telhado influi no ambiente térmico através do material constituinte das telhas, (devido às suas propriedades térmicas e mecânicas), da sua natureza superficial e da existência e eficiência de isolantes térmicos e forros (RODRIGUES, 1998, citado por CONCEIÇÃO, 2008).

A cobertura mais utilizada nas instalações avícolas brasileiras quando comparada com aquelas concebidas com as tradicionais telhas de barro, é a de telhas de cimento amianto, por apresentar facilidades de instalação, manutenção e limpeza, além do custo inferior, principalmente devido ao fato da

estrutura de suporte ser mais leve e empregar menor quantidade de mão-de-obra (MORAES et al., 1999; CONCEIÇÃO, 2008). Outra vantagem é que estas ainda podem ser associadas a outros métodos para diminuir a temperatura dentro da instalação, tais como pintura reflexiva e aspersão na face externa (ABREU, 2011).

No Brasil, país de clima tropical com temperaturas elevadas de verão e que recebe intensa radiação solar, os materiais a serem utilizados para a confecção das coberturas devem permitir bom isolamento térmico para que o ambiente interno das instalações seja menos influenciável pela variação climática (ABREU et al., 2001).

Segundo Bond et al. (1969), da radiação térmica recebida de várias partes da instalação que envolve um animal à sombra, 28% da carga térmica radiante provem do céu, 21% do material de cobertura, 18% provem da área não sombreada e 33% da área sombreada. Assim, os autores concluem que a quantidade de carga térmica de radiação devido ao material de cobertura e sua sombra detêm mais de 50% da radiação térmica total.

A tendência atual de estudos na área de projetos agrícolas no Brasil que, ocupa lugar de destaque no cenário mundial, está concentrada na avaliação técnica e econômica de tecnologias que visam o aumento de sua eficiência, uma vez que a globalização da economia exige que o setor avícola seja mais produtivo e, ao mesmo tempo, mais rentável.

A utilização de materiais refletivos à radiação solar traz benefícios econômicos por permitir a redução do ganho de calor pelos telhados visto que uma cobertura exposta ao sol atua como coletor de energia solar (WRAY; AKBARI, 2008).

A indústria de materiais de construção tem buscado desenvolver produtos que sejam economicamente compensatórios para a avicultura industrial do Brasil. Neste sentido foi desenvolvido o isolante térmico *Foamular*, produzido pela Owens Corning (indústria americana com filial recentemente instalada no Brasil).

Assim, conforme já exposto, os aviários abertos brasileiros apresentam fragilidade nos sistemas construtivos devidos ao baixo amortecimento térmico dos envoltórios construtivos, especialmente nas coberturas, gerando condições

de estresse calórico durante boa parte do dia e do ano, o que reflete em prejuízos à atividade.

O objetivo principal foi testar os diferentes tipos de coberturas (telhas de aço galvalume e telhas de fibrocimento sem amianto) e suas associações com o material isolante *Foamular* (poliestireno extrudado - XPS), e forros de polietileno, quanto a possível redução na temperatura do ar no interior de protótipos de abrigos utilizados para produção animal, tanto na situação de cortinas abertas e ventilação natural, quanto na situação de cortinas fechadas, durante o verão e horários mais quentes do dia, em dias de céu claro.

Sendo assim, realizou-se esta pesquisa, na qual foram estudados dois diferentes materiais de cobertura, (telha de aço galvalume e telha de fibrocimento sem amianto), em associação a isolantes *Foamular* e a forros de polietileno, em abrigos abertos e fechados, em escala reduzida, tipologia representativa dos aviários de frangos de corte praticados no país.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de arrefecimento térmico em protótipos de galpões avícolas utilizando diferentes tipos de coberturas e associações com materiais isolantes e forros, com vistas a possível redução na temperatura do ar no interior dos protótipos.

2.2. Objetivos específicos

- Testar diferentes tipos de coberturas (telhas de aço galvanizado e telhas de fibrocimento sem amianto).
- Avaliar a influência da taxa de renovação do ar no interior dos protótipos quanto a sua influencia no arrefecimento térmico.
- Avaliar a umidade relativa do ar no interior dos protótipos em condições de cortina fechada e cortina aberta.
- Inferir quanto a possíveis resultados práticos em galpões avícolas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Demanda por alimentos e posição da avicultura brasileira no mundo

A demanda mundial por alimentos deve aumentar em 100% até 2050, impulsionada pelo aumento da população mundial para mais de 9 bilhões de pessoas e pelo crescimento econômico, principalmente da China, Índia, Europa Oriental e América Latina. Aproximadamente vinte por cento deste aumento da demanda por alimentos pode vir da maior mobilização de terras destinadas à produção, no entanto, as preocupações ambientais e o uso de terras para a produção de biocombustíveis devem desafiar esta oportunidade. Outros 10% pode vir do aumento do número das safras agrícolas (ELANCO, 2013). Os 70% restantes, devem ser provenientes de uma maior eficiência gerada pelo uso da tecnologia. O desafio será atender essa enorme demanda de alimentos de maneira sustentável: ecologicamente correta, socialmente responsável, economicamente viável e comprovada cientificamente (ELANCO, 2013).

A produção animal se estabelecerá em países com clima favorável, terra e água disponíveis, recursos naturais, recursos humanos, tecnologias de produção, baixo custo de produção e padrões internacionais de qualidade, sendo que o Brasil têm condições favoráveis para atender estas necessidades, como: disponibilidade de água, potencial de produção de biomassa e disponibilidade de terras.

No que diz respeito à produção de alimentos de origem animal e saindo, da posição de quase inexistência, no início dos anos 1960, a avicultura de corte no Brasil cresceu fortemente em decorrência dos avanços tecnológicos que levaram à redução da conversão alimentar, mortalidade e da idade de abate. A partir da década de 1980, o setor retraiu, devido à diminuição das vendas para o exterior causadas pelos subsídios às exportações nos Estados Unidos e na União Européia. A recessão econômica ocorrida no Brasil nessa década também afetou o desempenho do mercado interno, uma vez que o consumo per capita permaneceu estagnado, principalmente na primeira metade da década de 1980 (CENTRAL DE INTELIGÊNCIA DE AVES E SUÍNOS – CIAS, 2013).

Entre 1990 e 2003, a produção mundial de carnes cresceu 34%, enquanto a carne de frango continuou apresentando o melhor desempenho com 61% de aumento, seguida da carne suína com 29%. Em 2008, a avicultura brasileira encerrou o ano com uma produção estimada de 11 milhões de toneladas de carne de frango. Desse total, 3,8 milhões de toneladas foram para exportação com crescimento no volume em 7,55% e 16,25% respectivamente, se comparado com o ano de 2007, atingindo uma receita cambial de mais de 7 bilhões de dólares, o que corresponde a uma participação de 40% do mercado mundial (GOUTHIER, 2009).

Em 2009, a produção brasileira atingiu a marca histórica de 10,9 milhões de toneladas, garantindo ao Brasil uma posição entre os três maiores produtores mundiais de carne de frango, com Estados Unidos e China. Desse total, cerca de 65% permanece no mercado interno, o que comprova a força dessa indústria para o país. O consumo per capita de carne de aves no Brasil está em aproximadamente 39 kg por ano (ABEF, 2013).

A produção de carne de frango chegou a 13,058 milhões de toneladas em 2011, em um crescimento de 6,8% em relação a 2010. Com este desempenho o Brasil se aproxima da China, hoje o segundo maior produtor mundial, cuja produção de 2011 teria somado 13,2 milhões de toneladas, abaixo apenas dos Estados Unidos, com 16,75 milhões de toneladas. Do volume total de frangos produzido pelo país, 69,8% foi destinado ao consumo interno, e 30,2% para exportações. Com isto, o consumo per capita de carne de frango atingiu 47,4 quilos por pessoa, um novo recorde para o setor (ABEF, 2013).

Os embarques de 3,942 milhões de toneladas de carne de frango em 2011 representaram um aumento de 3,2% em relação a 2010, em novo recorde histórico para a carne de frango, principal produto das exportações avícolas brasileiras (ABEF, 2013).

3.2. Concepções arquitetônicas de instalações avícolas e o conforto térmico

O sucesso da produção avícola depende, entre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais, sendo necessário, portanto, a caracterização do ambiente térmico (DAMASCENO et al., 2010a).

Com a globalização da economia mundial e consequente expansão das fronteiras mercadológicas, a competitividade tornou-se crescente e os produtores que se sobressaíram tiveram que aumentar sua produção e produtividade, para conseguirem atender à demanda de mercado, visto que num mundo onde a concorrência é grande, fatores ambientais, como a variação térmica, passam a ser de grande interesse durante o processo de produção animal, pois podem acabar refletindo na qualidade de seu produto final (TINÔCO, 1998).

O ambiente de produção exerce papel fundamental na avicultura moderna, que busca alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo relativamente reduzidos. Dentre outros fatores do ambiente, os térmicos, representados por temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação, são os que mais afetam os animais, pois comprometem a função vital mais importante das aves, que é a homeotermia (AMARAL et al., 2011).

As limitações para obtenção de altos índices zootécnicos no Brasil decorrem do alojamento em ambientes com clima quente, de animais geneticamente desenvolvidos em climas mais amenos, em condições ou conceitos provenientes deste clima; daí a necessidade de se ter instalações adaptadas com características construtivas que garantam o máximo possível de conforto permitindo, ao animal abrigado, desenvolver todo o seu potencial genético (FIORELLI et al., 2009).

De acordo com Medeiros (2005), o conforto térmico de frangos de corte ocorre entre o intervalo de temperatura entre 21°C e 27°C; umidade relativa entre 50% e 70%; e velocidade do ar entre 0,5 m s⁻¹ e 1,5 m s⁻¹, que resulta em maior desempenho animal.

Desta forma, pode-se afirmar que não existe um tipo de instalação avícola que seja ideal no combate ao estresse por calor ou frio e que possa ser

adotado em todas as regiões do mundo, pois cada região climática impõe uma exigência própria de arranjos com vistas ao conforto térmico (TINÔCO, 2001).

No Brasil, os galpões avícolas são predominantemente quentes, principalmente no verão, gerando condições de desconforto térmico quase que constantes para as aves. Para reduzir os efeitos de desconforto sobre os frangos de corte no interior das instalações, diversos estudos têm sido conduzidos para avaliação de coberturas (MORAES et al., 1999; MORAES et al., 2001; FURTADO et al., 2003; SANTOS et al., 2005), ventilação (ZANOLA et al., 1999; TINÔCO et al., 2003; LEE et al., 2003), resfriamento evaporativo (VIGODERIS, 2002; YANAGI JR, et al., 2006; DAMASCENO et al., 2007), dentre outros.

Em relação às instalações avícolas brasileiras, no geral, ocorrem o emprego de instalações abertas, sem ambiente controlado, sendo que, por razões econômicas ou mesmo de desconhecimento, pouca importância tem sido dada às fases de planejamento e concepção arquitetônica, compatíveis com a realidade de cada região. Neste contexto, várias alternativas são sugeridas para reduzir a temperatura ambiente interna dos galpões, baseado no acondicionamento térmico natural, como por exemplo, a escolha do local adequado, orientação, materiais para coberturas e fechamentos, paisagismo circundante e ventilação natural (DAMASCENO et al., 2010a).

Entretanto, em regiões com climas muito adversos, torna-se necessário a utilização adicional de recursos artificiais para promover melhorias ao ambiente das aves.

3.2.1. Bioclima nas instalações avícolas

A vasta extensão territorial do Brasil implica em uma diversidade de climas que evidencia a necessidade da identificação de suas principais zonas bioclimáticas. Não existe um tipo de instalação avícola que seja ideal no combate ao estresse por calor ou frio porque cada região climática impõe uma exigência própria de arranjos com vistas ao conforto térmico.

Neste contexto, o conhecimento das necessidades ambientais dos animais e o estudo das condições climáticas das regiões e do micro clima do local em que será implantado o sistema de produção, podem contribuir na

definição de técnicas e nos dispositivos de construções eficientes e que possibilitem a melhoria do conforto térmico dos animais e, conseqüentemente, de sua produtividade nas diferentes regiões climáticas Brasil.

A temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar no interior do galpão avícola devem estar em níveis adequados para proporcionar o conforto térmico às aves. Altos valores de temperatura induzem a queda na produção e aumento da mortalidade, fatores que vêm se acentuando à medida que as aves são melhoradas geneticamente, tornando-se mais precoces e produtivas (MEDEIROS, 2001). Umidade relativa abaixo do nível de conforto, associada a altos valores de temperatura provoca dessecação das vias respiratórias, enquanto que valores elevados de umidade relativa favorecem o surgimento de fungos e bactérias, que comprometem as aves. A ventilação no verão deve ter propósitos de controle térmico e higiênico, enquanto que a de inverno deve considerar a remoção do excesso de umidade do ambiente e da cama, e eliminação de gases como CO, NH₃, dentre outros (CARVALHO, 2012).

Para que a produção de aves alcance maior eficiência, a temperatura deve estar entre 15 e 25°C (CURTIS, 1983; ZULOVICH; DESHAZER, 1990); a umidade relativa entre 50% e 60% (DONALD, 1998), não podendo atingir valores superiores a 80% (BAIÃO, 1995); e a velocidade do ar ao nível das aves deve ser de 1,5 a 2,5 m.s⁻¹ (MEDEIROS, 2001).

Para se avaliar as condições de conforto térmico em edificações avícolas, deve-se inicialmente identificar a necessidade ambiental para as aves, detectando as necessidades de manejo ambiental. Esses manejos englobam as várias estratégias usadas para remediar os problemas existentes na relação animal-ambiente. Isto significa a utilização de processos artificiais para atenuar a ação de elementos danosos aos animais, presentes no ambiente natural (BAÊTA; SOUZA, 1997).

De acordo com Curtis (1983), Baêta e Souza (1997) e Tinôco (1998), o manejo ambiental tem sido amplamente difundido e esse engloba duas classes de modificações ambientais: às primárias e as secundárias.

Modificações Primárias: são aquelas que correspondem ao acondicionamento térmico natural de simples execução e que permitem proteger o animal durante período de clima extremamente quente ou frio, auxiliando-o a aumentar ou reduzir sua perda de calor corporal. Podemos citar

como exemplo, as coberturas para sombra, os quebra ventos, a utilização de ventilação natural, os tipos de fechamento das instalações e o paisagismo da circunvizinhança (DAMASCENO et al., 2010a).

Modificações Secundárias: correspondem ao manejo do microambiente interno das instalações do sistema de confinamento parcial ou total. Geralmente, empregam alto nível de sofisticação e compreendem processos artificiais de ventilação, aquecimento e refrigeração, isolados ou atuando em conjuntos. As vantagens desse tipo modificações esta na economia de espaço físico, disponibilidade de mão-de-obra e regulamentação da proteção ambiental, apesar da desvantagem ser o alto consumo de energia e maior custo na implantação do sistema. As modificações secundárias, contudo, devem vir apenas depois de esgotados todos os recursos das modificações primárias (DAMASCENO et al., 2010a).

Devido à competitividade econômica, a produção avícola, de uma forma geral, prioriza construções mais simples, projetadas de forma que permitam o condicionamento térmico natural, podendo adotar o sistema artificial quando os recursos naturais estiverem esgotados ou quando a adoção de sistemas artificiais for economicamente ou tecnicamente viável, em relação ao emprego dos recursos naturais.

3.2.2. Ventilação natural

Do ponto de vista da engenharia da ambientação animal, um recurso muito eficaz na climatização de galpões avícolas é o incremento da ventilação natural, o que pode ser conseguido através da adequada concepção arquitetônica dos alojamentos (TINÔCO, 2001).

A ventilação natural é o movimento normal do ar que pode ocorrer por diferenças de pressão causadas pela ação do vento (ventilação dinâmica) ou de temperatura (ventilação térmica) entre dois meios considerados (ABREU, 2001).

A excelência da ventilação natural está no fato de que, se aplicada de forma correta, permite abaixar a temperatura internas as edificações em épocas quentes do ano, quando o desconforto térmico é bem acentuado (BAÊTA; SOUZA, 1997).

3.2.3. Materiais de cobertura

O telhado, por ser um dos maiores fechamentos da edificação e receber a maior parte da carga térmica solar, tem recebido atenção especial com vistas a redução da temperatura no interior das edificações (BAÊTA; SOUZA, 2010).

A cobertura das edificações reduz a carga térmica de radiação proveniente do sol e do céu e substitui uma área de solo aquecido por uma área de solo sombreado, mas adiciona uma nova fonte de energia: o material de cobertura (TINÔCO, 2001).

Assim, é no telhado que a radiação solar atua com maior intensidade, sendo que o fluxo de calor que atravessa o mesmo no pico de calor é da ordem de cinco vezes maior que aquele disperso no ambiente interno. Esse calor pode ser controlado pela ventilação adequada e o efeito da radiação pelo isolamento térmico (TINÔCO, 2001).

A principal proteção contra a insolação direta é conseguida através da cobertura, sendo que um bom material de cobertura apresenta temperaturas superficiais amenas, devendo para isso ter alta refletividade solar conjugada à alta emissividade térmica na parte superior da superfície e baixa absorvidade solar conjugada à baixa emissividade térmica na parte inferior. A absorção de calor solar radiante pela telha é diretamente proporcional à superfície real exposta, por isso se deve, para um mesmo material, dar preferência às telhas não rugosas.

De acordo com Rivero (1986), a cobertura ideal de instalações para animais nas condições brasileiras deve apresentar grande capacidade para refletir a radiação solar, ter considerável capacidade de isolamento térmico e capacidade de retardo térmico em torno de 12 horas. Com essas características, a pequena quantidade de radiação solar absorvida pela telha terá dificuldade em atravessar o material e, ao fazê-lo, atingirá seu interior com defasagem em torno de 12 horas, aquecendo o ambiente interior quando a temperatura deste estiver mais baixa.

Os tipos de coberturas mais usuais são as que utilizam telha de barro e telha de fibrocimento, sendo que os de telha de barro podem ser melhores termicamente que as de fibrocimento.

As telhas de barro exigem engradamento mais caro, apresentam muitas frestas que atuam como pequenas bolsas de ar e permite certa ventilação, o que é desejável.

As coberturas com telhas de fibrocimento, apesar de esquentarem muito ao sol, demandam menos engradamento o que facilita sua instalação e consequente redução de custos.

3.3. Modelos reduzidos

A utilização de protótipos, primeiro exemplar de um objeto, para o estudo do desempenho de edificações, apresenta como vantagem a possibilidade de realizar testes em condições de produção, permitindo estudar não apenas o comportamento térmico, mas também a avaliação do efeito sobre a produtividade e a rentabilidade.

O uso de modelos é uma ferramenta largamente utilizada na engenharia, porém o seu uso requer o entendimento claro dos princípios que regem a relação entre o modelo e o protótipo. Para que o comportamento de um protótipo possa ser determinado a partir de um modelo é necessário que ambos se comportem de maneira qualitativamente similar e que uma relação quantitativa possa ser estabelecida entre eles (JENTZSCH, 2002).

Os modelos em escala, atendidos determinados critérios de similitude, podem ser substitutos válidos para sistemas que, por alguma razão, não podem ser estudados em protótipos de tamanho natural. A reprodução em escala de fenômenos físicos pode ser vantajosa por quatro razões: primeiro, quando o problema tratado é muito complexo ou pouco conhecido, sendo necessárias informações empíricas para uma abordagem analítica; segundo, os modelos reduzidos possibilitam a redução do sistema a proporções que facilitam o seu manuseio; terceiro, permitem uma diminuição no tempo gasto na pesquisa; e, quarto, proporciona uma maior compreensão do fenômeno investigado.

A teoria da similitude é desenvolvida pela análise dimensional e tem como objetivos estabelecer as relações necessárias para que o comportamento de um protótipo possa ser determinado a partir das observações em um modelo e estabelecer as relações existentes entre as variáveis envolvidas no fenômeno, de forma que os dados possam ser sistematizados com segurança (KÖLTZSCH; WALDEN, 1990).

O elevado custo envolvido na construção de instalações agrícolas para a pesquisa de novas tecnologias, como por exemplo, galpões para criação de frangos de corte, muitas vezes inviabilizam a execução de um experimento por falta de recursos. Neste aspecto, o uso de modelos reduzidos para determinar o desempenho térmico de uma instalação pode contribuir significativamente para a redução do custo da pesquisa, permitindo ainda testar várias configurações através da alteração do modelo a um custo mais reduzido que em um protótipo em escala natural.

O uso de modelos reduzidos de abrigos para a produção animal tem como principal limitação a impossibilidade de realizar os testes em condições de produção, sendo apenas possível a simulação do calor dissipado pelos animais e da umidade adicionada ao meio. Para a avaliação do comportamento térmico do projeto, entretanto, a realização de experimentos deste tipo apresentam várias vantagens, como o baixo custo de material, mão de obra e tempo envolvido. Outro fator importante é a possibilidade de otimização do produto, uma vez que quaisquer alterações para melhorar o desempenho do projeto podem ser realizadas com maior facilidade e menor custo. Além destas vantagens, os ensaios utilizando modelos reduzidos proporcionam ainda maior segurança na construção de protótipos para avaliação do desempenho em condições de produção.

O uso de modelos em escala, para o estudo do comportamento de fenômenos físicos de um sistema, se ampliou com o desenvolvimento da teoria da similitude a partir da metade do século XIX. Este desenvolvimento ocorreu, principalmente, devido à necessidade de compreender o comportamento dos fenômenos físicos envolvidos nas novas tecnologias geradas, principalmente na indústria aeronáutica e naval.

Um fator importante na confecção de modelos reduzidos é a relação entre custo e a exatidão ou qualidade. Como o custo aumenta com a exigência

da exatidão do modelo, é necessário estabelecer o padrão que atenda aos objetivos propostos (KÖLTZSCH; WALDEN, 1990).

A qualidade está diretamente relacionada com o nível de detalhamento e dos materiais empregados na confecção do modelo. Quanto mais exata for a reprodução dos detalhes geométricos e das propriedades termofísicas dos materiais do protótipo, maior será a similitude de comportamento entre eles (KÖLTZSCH; WALDEN, 1990).

3.3.1. O uso de modelos reduzidos

Dantas (1995) estudou a importância da ventilação natural através do lanternim utilizando as técnicas da análise dimensional e de modelagem em laboratório. Foram construídos dois protótipos de um módulo de galpão avícola convencional, reduzidos de 2,5 vezes, sendo um com cobertura de telhas cerâmicas e outro com telhas de cimento amianto. Para simular as condições térmicas ambientais e o calor dissipado pelas aves, foram utilizadas placas com resistências elétricas no interior dos protótipos. Na simulação do aquecimento correspondente à radiação solar, foram utilizadas resistências elétricas colocadas sobre o telhado. Para a medição das temperaturas ambiente e das telhas, foi utilizado um sistema de termopares de cobre-constantan, e para as determinações da velocidade do ar foi empregado um anemômetro de fio quente com resolução de 0,01 m/s. A partir dos dados obtidos foram estabelecidas as equações de predição da vazão de ar para cada protótipo.

Analisando os aspectos de similitude do efeito chaminé em um abrigo para animais com lanternim, Timmons e Baughman (1981) utilizaram um modelo reduzido na escala 1:2. O objetivo do trabalho foi o de estabelecer a relação entre a taxa de ventilação e o efeito chaminé, utilizando um galpão aberto nas laterais e uma abertura com chaminé na cumeeira do telhado. Pela análise de similitude foram estabelecidos quatro termos π : os números de Reynolds e Grashof, a razão entre a largura da chaminé e a distância deste até a altura média da abertura lateral e, a razão entre a altura da abertura lateral e a distância da altura média da abertura lateral até a chaminé. Concluiu-se que a taxa de ventilação é aproximadamente proporcional à largura da abertura de

saída e que as variações no número de Reynolds devidas a alterações no número de Grashof são função da razão entre a altura do galpão e a largura da chaminé.

Jentsch (2002) determinou as relações necessárias para que o comportamento dos parâmetros de conforto térmico de uma instalação em escala natural fosse determinado a partir das observações em um modelo reduzido e testou em um galpão de criação de frangos de corte e três modelos reduzidos, a validade das relações propostas e propôs a escala de redução ideal para este tipo de experimento. A pesquisa foi realizada utilizando um galpão de criação de aves como protótipo e três modelos reduzidos, nas escalas de 1:4, 1:8 e 1:12. Para a análise dimensional foram selecionadas 10 variáveis que influenciam o fenômeno, utilizando o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) como indicador do ambiente térmico. Considerando os resultados obtidos no experimento, o autor concluiu é possível prever as condições térmicas ambientais em um protótipo a partir de modelos reduzidos de até 12 vezes.

Sampaio (2011) analisou as temperaturas de telhas de barro, de fibrocimento com pintura branca na face superior e de aço zincado e sua relação com o ambiente térmico, quantificando também os Índices de Temperatura e Umidade (ITU), de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e Carga Térmica de Radiação (CTR). Para a execução do experimento, foram construídos três modelos de edificações em escala distorcida, nas dimensões de 1,40 m de largura, 3,00 m de comprimento, 1,50 m de pé-direito, ou seja, escala reduzida de 1:10, nas dimensões horizontais, e de 1:2, nas dimensões verticais. O autor concluiu que as telhas cerâmicas e de fibrocimento pintadas de branco na face superior apresentaram comportamentos térmicos semelhantes, com alta eficiência na interceptação da energia solar, sendo as mais indicadas para cobertura de edificações para produção de animais. A telha metálica foi a que mais aqueceu e apresentou o pior desempenho térmico (conforto térmico, inércia térmica e amortecimento térmico).

Santos et al. (2002) desenvolveram um trabalho com o objetivo de analisar coberturas com telhas de barro e alumínio, comumente utilizadas em instalações animais, para duas distintas alturas de pé-direito, em condições de inverno no Brasil. O experimento foi realizado com modelos reduzidos de

galpões avícolas, escala 1:10, e a análise foi feita quantificando-se a Carga Térmica de Radiação (CTR) e o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) em diferentes horários, ao longo do período experimental. Os autores concluíram que: a) Quanto aos valores de ITGU e CTR, a utilização de forro junto às telhas de barro e alumínio, conferiu maior inércia térmica aos conjuntos, o que é desejável durante o inverno; b) A utilização de galpões com pé-direito de 0,32 m (3,2 m em escala real) propiciou valores de ITGU e CTR maiores que os encontrados em galpões com pé-direito de 0,42 m (4,2 m em escala real) nas horas de extremos térmicos, desejável para o inverno e; c) Nas horas de frio mais intenso, todas as coberturas tiveram seus valores de ITGU abaixo do limite mínimo da zona de conforto térmico animal, sugerindo melhor isolamento das instalações durante este período.

Conceição et al. (2008) compararam telhas de cimento amianto pintadas com tinta reflexiva, telhas cerâmicas e telhas compostas de uma matriz à base de cimento Portland CII 32Z (NBR 5735), escória de alto-forno (EAF) e sílica ativa, reforçadas com fibras de polpa celulósica de sisal (*Agave sisalana*).

Utilizaram-se protótipos de galpões avícolas nos quais o calor produzido pelas aves foi simulado por lâmpadas incandescentes. Para caracterização do ambiente térmico lançou-se mão dos índices de conforto: ITU (índice de temperatura e umidade), ITGU (índice de temperatura de globo e umidade), CTR (carga térmica radiante) e entalpia (H) em que os resultados demonstraram que as telhas compostas apresentaram comportamento térmico semelhante ao das telhas cerâmicas, podendo ser utilizadas em substituição às telhas de cimento amianto.

Pereira e Nääs (2005), utilizando galpões em escala reduzida, avaliaram a frequência de utilização de determinados locais dentro do galpão usando como variável para monitorar estados de bem-estar térmico e, ou, estresse das aves alojadas. A partir de dados registrados no verão de 2000-2001, esta pesquisa identificou as temperaturas críticas máximas de matrizes pesadas, individualmente, por meio de análise estatística da frequência de uso de locais previamente estabelecidos, utilizando a tecnologia de identificação eletrônica. Os valores das temperaturas críticas máxima individuais variaram

de $30^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ a $32,3^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e a temperatura crítica máxima média para o grupo foi $30,9^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

O uso de modelos reduzidos tem sido uma alternativa para a avaliação do desempenho térmico de edificações, em razão das vantagens de custo de material e mão de obra, redução do tempo de pesquisa e facilidade em promover alterações para a otimização do projeto.

3.3.2. Transmissão de calor

A envolvente da edificação integra todos os elementos que separam os ambientes internos das condições climáticas externas como paredes, cobertura e piso e funciona como uma espécie de barreira em que ocorrem trocas de energia térmica, umidade e ar.

O conhecimento dos processos físicos que participam na envolvente permite avaliar a resposta da edificação frente às mudanças meteorológicas na etapa de projeto e propor alternativas e soluções técnicas que garantam um desempenho térmico adequado à localidade em que o edifício será construído além de representar uma importante ferramenta para diagnosticar o desempenho de uma edificação existente.

O ambiente é caracterizado por um conjunto de fatores climáticos que atuando isoladamente ou, mais frequentemente, em simultaneidade exercem influências sobre os animais de maneiras favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento biológico, desempenho produtivo e reprodutivo dos mesmos (CURTIS, 1983).

As condições de exposição são divididas em condições climáticas (temperatura e umidade do ar exterior, velocidade e direção dos ventos e radiação solar direta e difusa); condições de implantação (latitude e longitude, orientação solar) e condições de uso da edificação (número de ocupantes e atividades padrão, quantidade de calor e vapor de água produzidos no interior da edificação, número de renovações de ar proporcionadas pelo controle de ventilação do ambiente).

Outras grandezas como forma e dimensões geométricas da edificação; transmitância, absorvância à radiação solar, emissividades das superfícies, condutividade térmica, calor específico e massa específica dos materiais,

caracterizam o comportamento térmico da edificação, seus elementos, componentes e materiais.

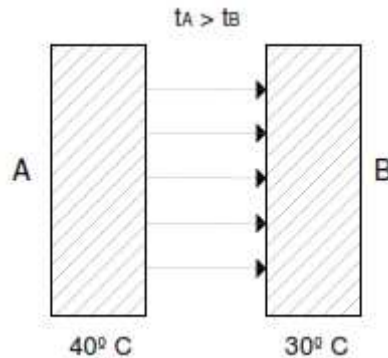
Para a compreensão do comportamento térmico das edificações, é necessária uma base conceitual de fenômenos de trocas térmicas:

- **temperatura** – segundo Trefil (2006), a temperatura de um corpo é uma medida da velocidade média dos átomos e moléculas que compõe o corpo, ou seja, uma medida da energia cinética média das partículas de que é feita a matéria;
- **energia** – é a propriedade de um corpo que lhe permite realizar trabalho; como trabalho e energia são conceitos equivalentes, qualquer movimento só é possível quando se dispõe de energia devidamente transformada;
- **energia térmica ou interna** – é a soma total das energias associadas aos movimentos das partículas que constituem uma substância;
- **energia radiante** – consiste de ondas eletromagnéticas em movimento no espaço, resultantes da diferença do conteúdo de energia interna dos corpos;
- **calor** – é a energia que é transferida entre um sistema e seu ambiente, devido exclusivamente a uma diferença de temperatura entre ambos;
- **fluxo térmico** – a quantidade de calor trocada na unidade de tempo (kcal/h), em qualquer um dos processos de transmissão de calor.

O calor é transmitido de corpos em virtude de uma diferença de temperatura entre os dois, e, dessa forma, ocorrem no espaço processos contínuos de transmissão de calor, como resultado das diferenças de temperatura, provocadas por variações no conteúdo de energia interna de um corpo. A variação no conteúdo de energia pode estar relacionada com o próprio corpo, por sua capacidade de produzir e armazenar, como fontes externas, como a radiação solar, ou até mesmo simples aparelhos geradores de calor (BAÊTA; SOUZA, 1997).

Portanto, a condição essencial para a transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes, sendo que, o fluxo de calor vai do ponto mais quente ao mais frio (Figura 1). O processo de transmissão de calor não depende da quantidade de energia térmica dos corpos e sim de suas temperaturas (RIVERO, 1986).

O corpo A cede parte de sua energia térmica, o que provoca uma redução de sua temperatura enquanto que o B, ao assimilar esta energia térmica, aumentará sua temperatura. O processo continua até que as temperaturas se igualem ($t_A = t_B$), ou seja, até que se atinja o equilíbrio térmico.



Fonte: Rivero (1986).

Figura 1 - O calor se transmite sempre do corpo mais quente para o mais frio.

3.3.3. Mecanismos de trocas térmicas

O calor pode ser classificado como latente e sensível. O calor latente é a energia térmica associada com uma mudança de estado do corpo, sem que se verifiquem variações de sua temperatura. Calor sensível é a energia na forma de calor necessária para variar a temperatura de um corpo e pode ser transmitido através da condução, radiação e convecção.

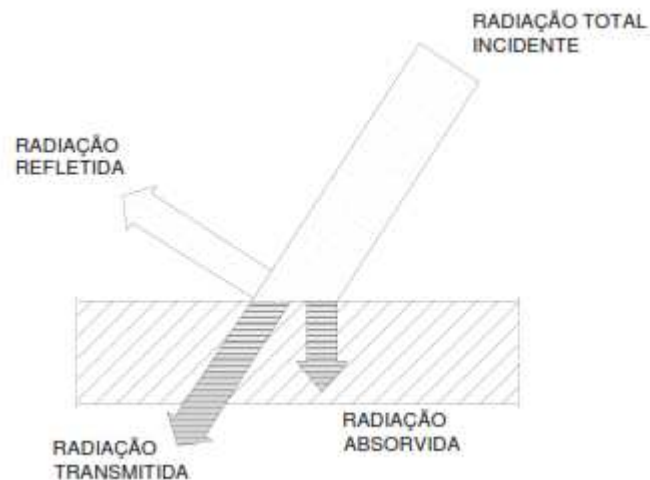
3.3.3.1. Radiação

As ondas térmicas são geradas porque os átomos e as moléculas de todos os corpos têm energia interna e transformam parte desta energia em energia radiante, que é emitida sempre que o meio lhe é transparente. Quando um corpo recebe energia radiante, há acréscimo na sua carga interna, e, por essa razão, sua temperatura aumenta; da mesma forma, no processo inverso, há redução da temperatura do corpo (BAËTA; SOUZA, 1997).

A radiação é um mecanismo de troca de calor entre dois corpos – que guardam entre si uma distância qualquer – através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A radiação ocorre mediante uma dupla transformação da energia: uma parte do calor do corpo com maior temperatura se converte em energia radiante que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora.

A energia radiante incidente sobre um corpo é parte absorvida, refletida e transmitida através do corpo como apresentado na Figura 2. A energia incidente se divide nessas três parcelas, dependendo das condições de incidência, superfície, massa e transmissividade.



Fonte: Rivero (1986).

Figura 2 - Energia radiante incidente sobre um corpo

A energia absorvida por um corpo se transforma em calor, contribuindo para aumentar sua temperatura, no entanto, as parcelas transmitidas e refletidas não sofrem mudança em seus comprimentos de onda.

Irradiância

A energia radiante incidente em um corpo é definida pela sua quantidade e sua qualidade: a quantidade é dada pela potência total emitida, medida em W/m^2 e a qualidade pelos comprimentos de onda em que o corpo emite maior quantidade de energia (λ).

De acordo com Rivero (1986), o comprimento de onda (λ) é a característica da energia radiante usada para classificá-la e é definido como sendo a distância entre dois máximos sucessivos de onda. É dado em μm ($10^{-6}m$), distinguindo-se as diferentes formas de energia radiante.

A distribuição espectral da energia emitida por uma fonte não é sempre a mesma e varia com a temperatura: os corpos a baixa temperatura emitem energia radiante composta por comprimento de onda longa, enquanto que os de alta temperatura, o fazem por ondas curtas (RIVERO, 1986).

O sol é a fonte principal de toda a energia da Terra e é um emissor de energia radiante de ondas curtas.

Transmitância

A energia radiante transmitida é a energia que atravessa o corpo por transparência. Também chamado de transmitância (τ) é o quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento, segundo definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2005a).

Emissividade

Define-se emissividade (ϵ) como o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (ABNT, 2005a).

A emissividade expressa a capacidade de uma superfície de emitir calor (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Um corpo ideal ou uma superfície que tem a capacidade de absorver toda a radiação incidente ($\epsilon = 1$) é chamado de corpo negro e tem a propriedade de absorver todas as radiações que chegam a ele e ser o maior emissor conhecido de energia radiante. Todos os outros corpos têm um poder

emissor menor que o corpo negro; à mesma temperatura, a irradiação do corpo negro é maior que a de qualquer outro material (RIVERO, 1986).

Se um corpo qualquer tem emissividade de 0,5, significa que ele emite somente metade da radiação que seria emitida por um corpo negro em condições similares (BAÊTA; SOUZA, 1997).

Os valores de emissividade dos materiais de construção estão compreendidos entre 0 e 1 e dependem tanto da natureza do corpo quanto de sua temperatura e se organizam em dois grupos distintos, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Emissividade dos materiais de construção

Materiais	ϵ
Metálicos	0,01 - 0,30
Não - metálicos	0,85 - 1,00
Materiais compostos	0,30 - 0,85

Fonte: Rivero (1986).

Esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. Na Tabela 2 estão apresentados os valores de emissividade de diferentes materiais de construção.

Tabela 2 - Emissividade de superfícies

Tipo de superfície	ϵ
Água ou superfície molhada	0,67 – 0,95
Alumínio, cromo ou cobre polido	0,04
Alvenaria não rebocada	0,93
Areia	0,75
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,12
Concreto	0,88
Gramma	0,90
Madeira	0,90
Não metálica	0,95
Pintura a esmalte	0,90
Pintura a óleo	0,8 – 0,96
Pintura branca	0,91
Pintura branca (esmalte)	0,90
Pintura com pigmento metálico (alumínio ou bronze)	0,60
Polietileno	0,02
Reboco áspero de cal	0,91
Telha de alumínio	0,20
Telha de barro	0,85 - 0,95
Telha de fibrocimento	0,92
Tijolo, pedra ou telha de cor amarela	0,50
Zinco puro polido	0,045 – 0,053

Fonte: ABNT (2005b) e Baêta e Souza (2010).

Absortância

A absortância (α) é definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005a).

É a propriedade térmica mais importante no estudo da aplicação de materiais opacos em construções. A alteração desse coeficiente diante da radiação por meio de pinturas é um procedimento muito simples e econômico, além de constituir eficiente forma de amenizar os efeitos negativos da radiação sobre uma construção, principalmente no verão (TINÔCO, 2001).

Alguns valores de absortância em superfícies opacas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do coeficiente de absorção (α) em superfícies opacas comuns

Tipo de superfície	α
Alumínio, cromo ou cobre polido	0,10 – 0,40
Água ou superfície molhada	0,94
Areia	0,82
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Concreto aparente	0,65 – 0,80
Gramma	0,70
Pintura branca	0,20
Pintura betuminosa	0,85 – 0,98
Superfície clara	0,25 – 0,50
Superfície escura	0,85 – 0,95
Telha cerâmica	0,75 - 0,80

Fonte: ABNT (2005b) e Baêta e Souza (2010).

Deste modo, fica evidente a importância do coeficiente de absorção da superfície exterior, principalmente no verão, nos fechamentos horizontais que recebem grandes quantidades de radiação solar.

3.3.3.2. Convecção

A convecção se verifica quando os corpos estão em contato molecular e um deles, pelo menos, é um fluido. O processo possui duas fases: na primeira o calor se transmite por condução, na segunda, a alteração sofrida pela temperatura do fluido modifica sua densidade provocando o movimento convectivo (LAMBERTS, 2006).

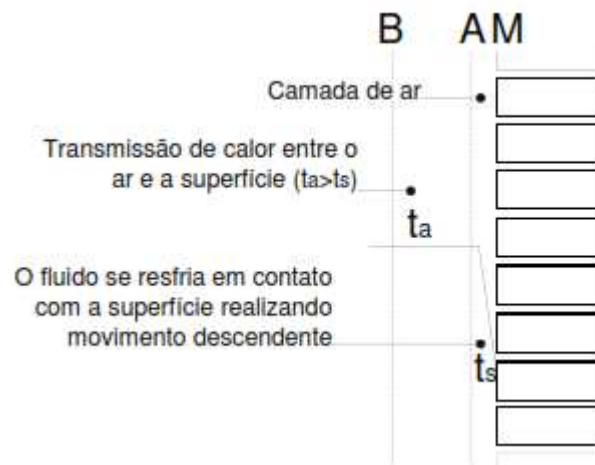
Neste processo, o calor é transferido de uma parte para outra de um fluido, em razão de um movimento relativo de suas partículas, provocado por gradientes de pressão na massa fluída. O diferencial de pressão é ocasionado pela diferença de temperatura, causando variações de densidade nas partes envolvidas e originando as correntes convectivas que transmitem o calor (BAÊTA; SOUZA, 1997).

As variáveis que intervêm neste processo são: a forma, dimensões, textura e posição com relação à vertical da superfície, a velocidade, a viscosidade e temperatura do fluido e se distinguem entre duas formas de transmissão de calor: a convecção natural e a convecção forçada.

De acordo com Baêta e Souza (1997), o processo de convecção livre predomina quando o ar está parado ou em baixa velocidade e o de convecção forçada, com o ar em velocidade maior que 0,2 m/s.

Na convecção natural, o único movimento do ar é aquele gerado pela diferença de temperatura entre suas partes e ocorre quase sempre nas câmaras de ar fechadas por vidros e paredes duplas, ou nas coberturas com forro.

Nos planos verticais, o movimento de ar tem lugar na fina camada que está junto à mesma, conforme a Figura 3.

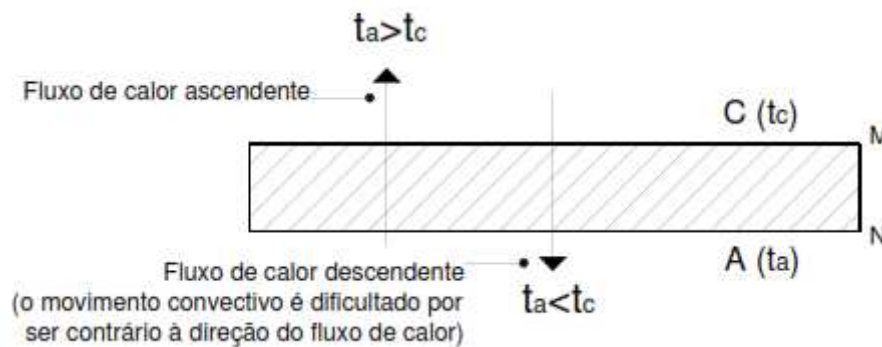


Fonte: Rivero (1986).

Figura 3 - Representação completa da convecção natural.

Neste esquema está a representação completa deste fenômeno, onde as temperaturas do ar e da superfície são diferentes, para que haja o processo de transmissão de calor entre o ar e a superfície M, onde o fluido se resfria com o seu contato, realizando um movimento descendente.

Nos planos horizontais, a quantidade de calor transmitido depende da direção do fluxo de calor, como mostra a Figura 4.



Fonte: Rivero (1986).

Figura 4 - Fluxo de calor ascendente e descendente.

No caso da superfície horizontal, quando o sentido do fluxo é ascendente, há coincidência do sentido do fluxo com o natural deslocamento ascendente das massas de ar aquecidas, enquanto que, no caso do fluxo descendente das massas de ar, aquecido pelo contato com a superfície, encontra nela mesma uma barreira para sua ascensão, dificultando a convecção – seu deslocamento e sua substituição por nova camada de ar à temperatura inferior à sua (FROTA; SCHIFFER, 2003).

O sentido ascendente do fluxo de calor é o mesmo que o movimento convectivo natural do ar, em razão da perda de densidade causada pela elevação da sua temperatura, quando $t_A > t_C$. Em contraposição, quando $t_C > t_A$ o fluxo terá uma direção descendente, mesmo que a superfície N tenha temperatura maior que o ar e que o movimento convectivo fique dificultado por ser contrário à direção do fluxo de calor.

Na convecção forçada, o ar tem uma velocidade própria, independente do seu movimento convectivo. A posição do plano e a direção do fluxo de calor não interessam; a velocidade do ar, junto com as diferenças de temperaturas, são os fatores fundamentais para determinar a quantidade de calor transmitido.

No caso específico de uma construção pode-se considerar:

- em paredes verticais, a convecção é intensamente ativada pela velocidade do ar, considerando-se que, mesmo que a velocidade do ar se origine de causas naturais (vento), a convecção é considerada como forçada;

- no caso de superfícies horizontais, a quantidade de calor transmitido por convecção depende do sentido do fluxo, sendo mais intenso quando o fluxo é ascendente do que quando descendente.

A quantidade de calor, que se transmite ao aumentar a velocidade do ar, nos explica a sensação de meio frio no inverno como também as possibilidades de melhoramento do conforto térmico no verão, em momentos em que o interior dos edifícios tem uma elevada temperatura. No inverno, se deve procurar a proteção dos espaços livres contra o vento e no verão assegurar ventilação dos espaços interiores para ativar as perdas de calor armazenado nas estruturas da construção (RIVERO, 1986).

3.3.3.3. Condução

A condução se realiza por contato entre as moléculas ou partículas dos corpos. Ocorre tanto nos sólidos, líquidos quanto nos gasosos. No entanto, nos fluidos ocorrem fenômenos convectivos que alteram o processo original. Por esta razão, a condução refere-se aos sólidos e poderá ser relacionada aos fluidos quando neles não se verificarem movimentos convectivos (LAMBERTS, 2006; RIVERO, 1986).

Os princípios que governam a transmissão de calor por condução, são diferentes: um constitui o chamado regime permanente e o outro, o regime não-permanente.

No regime permanente, o fluxo de calor se mantém constante e se dá sempre que as temperaturas de ambos os meios permanecem uniformes: a quantidade de calor, que atravessa qualquer plano paralelo às faces do fechamento, é igual à que entra e à que sai, diante de um fluxo contínuo e uniforme (COSTA, 2003).

O regime permanente é válido para o estudo de valores médios de fluxo de calor, quando as variações de temperatura são de pequena magnitude e quando a inércia térmica da construção é pequena.

Condutividade térmica

Segundo a ABNT (2005a), a condutividade térmica (k) é a propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de

calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1°C por metro.

A propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução se denomina condutividade térmica e indica a quantidade de calor requerida para se elevar em 1°C a temperatura de um corpo de área e volume iguais à unidade e de espessura conhecida (BAËTA; SOUZA, 1997).

Segundo Rivero (1986), a condutividade térmica expressa a quantidade de calor transmitido através de um corpo considerado homogêneo, num regime estacionário, por unidade de espessura, unidade de área e unidade de tempo, quando a diferença entre as temperaturas de suas faces é a unidade. O material é homogêneo quando a condutividade térmica não varia com a espessura ou a área da amostra. A condutividade térmica é expressa em $\text{W.m}/(\text{m}^2.\text{°C})$ ou $\text{cal.cm}/(\text{cm}^2.\text{°C.s})$.

O coeficiente de condutividade térmica do material (k) é definido como sendo o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através de unidade de área de um corpo com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária (FROTA; SCHIFFER, 2003). Este coeficiente depende de:

- densidade do material – a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros;
- natureza química do material – os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos;
- umidade do material – a água é mais condutora que o ar.

Há uma dependência muito marcante do coeficiente k em relação à densidade absoluta, explicável quase sempre pelo conteúdo de ar do material, elemento muito leve e mal condutor de calor, quando não tem movimentos convectivos. A condutividade térmica varia também em função do conteúdo de água do material. Nos materiais isolantes, pela sua baixa condutividade térmica, a presença de água modifica esta propriedade a ponto de não justificar mais a sua presença (RIVERO, 1986).

A Tabela 4 apresenta a densidade absoluta e a condutividade térmica de alguns materiais de construção.

Tabela 4 - Densidade e condutividade térmica

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade térmica (Kcal/mh°C)
Argamassa de cimento	2200	1,20
Concreto	2300	1,30
	2400	1,75
Alvenaria com blocos de concreto furados	1000	0,43
Alvenaria com lajotas de barro	1000	0,40
Alvenaria de tijolos maciços	1400	0,52
	1800	0,68
Telha de fibrocimento	-	0,95
Telha cerâmica	1300 - 1600	0,900 – 1,000
Madeira seca	450	0,12 a 0,18
Espuma de cimento	400	0,12
	500	0,16
	600	0,20
	800	0,25
Fibras de madeira	200	0,040
	300	0,050
Cortiça	120	0,035
	160	0,038
Espumas plásticas	16-25	0,030-0,035
Lã de vidro ou lã mineral	30-200	0,035
Argila expandida	100-200	0,050 a 0,055
Argamassa de argila expandida	200	0,085
Silicato de cálcio ou óxido de magnésio	100-200	0,046 a 0,055
Poliestireno expandido	20	0,035

Fonte: ABNT (2005b) e Rivero (1986).

Resistência térmica

A resistência térmica (R) afeta a transmissão de calor e expressa a resistência que o material oferece à passagem de calor do material e é inversamente proporcional à quantidade de calor transmitido,

Esta propriedade evidencia a importância de analisar o tipo de material utilizado, mostrando que, com um material muito resistente à passagem de calor podemos obter o mesmo comportamento, em regime estacionário, do que outro material de maior espessura, como mostra a Tabela 5.

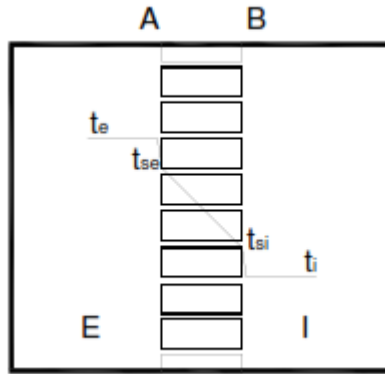
Tabela 5 - Resistência térmica dos materiais de construção

Materiais	Densidade (kg/m³)	Espessura (m)	R (m².°C)/W
Concreto	2200	0,600	0,345
Poliestireno	20	0,012	0,345

Fonte: Rivero (1986).

Tinôco (2001) relata que quando a cobertura da edificação é composta de várias camadas, a transferência de calor de uma camada para outra acontece em menor quantidade de calor, sucessivamente. Dessa forma, cada camada recebe menor quantidade de calor e é sujeita a menor aumento de temperatura que a camada mais externa, adjacente. Isso significa que sempre ocorre armazenamento de calor na estrutura durante as horas de temperatura externa mais alta, que é transmitido por condução num processo inverso, durante as horas de temperatura externa mais baixa.

Fenômenos mais complexos de transmissão de calor por condução acontecem além daqueles considerados a partir do conhecimento das temperaturas superficiais do material. Acontecem entre superfícies submetidas a intercâmbios térmicos por convecção e por radiação, ou seja, transmissão de meio a meio (Figura 5).



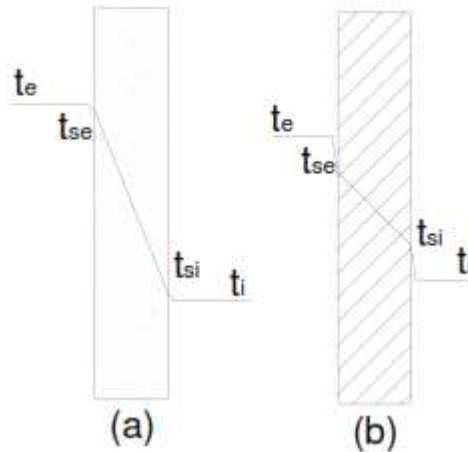
Fonte: Rivero (1986).

Figura 5 - Transmissão de calor meio a meio.

O processo consta de três etapas: na primeira, o calor se transmite do meio E à superfície A por convecção e por radiação, depois de A a B, por condução, e finalmente, da superfície B ao meio I, também por convecção e por radiação, considerando que, na primeira e na última etapa não há transmissão de calor por condução, já que as superfícies do fechamento estão em contato com o ar e que as temperaturas t_e , t_{se} , t_{sei} e t_i são diferentes para que haja transmissão de calor.

A quantidade de calor (q) transmitida por radiação e convecção (primeira e terceira etapas) e por condução (segunda etapa), possuem o mesmo valor de densidade de fluxo de calor (q), considerando que, para o regime estacionário, por uma seção qualquer do fechamento, paralelo às suas faces, passa sempre a mesma quantidade de calor.

Isto significa que quando o clima se distancia das condições de conforto que devem existir no interior, e suas temperaturas vão se tornando mais altas, ou mais baixas, a resistência térmica dos fechamentos devem controlar mais adequadamente tanto a quantidade de calor que os atravessa, quanto as temperaturas superficiais, como mostra a Figura 6.



Fonte: Rivero (1986).

Figura 6 - Diferença de temperatura entre meios e sua resistência térmica.

Quando a diferença de temperatura entre os dois meios se mantém sempre igual, a temperatura em cada ponto do fechamento depende de sua resistência térmica.

Na transmissão de calor por condução em regime não-permanente, a condição essencial é que o fluxo de calor seja variável no tempo, fenômeno que acontece quando se produzem alterações contínuas de pelo menos uma das temperaturas do sistema.

O regime não-permanente considera que a temperatura no exterior da construção é variável ao longo do dia, e que a temperatura interna é variável ou permanece constante, quando se trata de ambientes condicionados artificialmente.

Neste regime, a condutividade térmica, o retardo térmico e a capacidade de amortecimento, são propriedades muito importantes na definição das temperaturas das superfícies dos materiais, na determinação das temperaturas dos meios considerados no fluxo de calor por condução e, conseqüentemente, nas condições de conforto resultantes no ambiente (BAÊTA; SOUZA, 1997).

Calor específico

O calor específico (c) participa de maneira importante no regime variável e define-se como a quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade a temperatura de um corpo de massa igual à unidade cujas unidades são: $J/(kg.^{\circ}C)$ ou $kJ/(kg.^{\circ}C)$ ou $kcal/(kg.^{\circ}C)$.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores do calor específico e espessura de diferentes materiais de construção.

Tabela 6 - Calor específico (c) e espessura (L) de diferentes materiais

Materiais	L (m)	c [kJ/(kg.°C)]
Alumínio	-	0,88
Concreto	0,60	1,00
Poliestireno expandido	0,012	1,42
Polietileno	-	0,55 – 0,70
Telha cerâmica	-	0,92

Fonte: ABNT (2005b) e Rivero (1986).

Materiais de fechamento distintos como o concreto e o poliestireno expandido, para que suas resistências térmicas sejam as mesmas, suas espessuras precisam ser diferentes.

Os dados da tabela permitem observar que o concreto requer mais calor que o poliestireno, para uma mesma elevação de temperatura.

Retardo térmico

O retardo térmico ($\Delta\tau$) é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento, ou seja, é o tempo gasto para que uma diferença térmica ocorrida em um dos meios manifeste-se na superfície oposta, e depende dos parâmetros que intervêm no processo de transmissão de calor por condução em regime variável: a condutividade térmica (k), o calor específico (c), a densidade absoluta (d) e a espessura (L).

Capacidade de amortecimento

A capacidade de amortecimento (μ) é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas, indicando que um fechamento qualquer é capaz de amortecer a onda térmica exterior (RIVERO, 1986).

Este efeito se percebe frequentemente nos casos de grandes variações térmicas entre o dia e a noite, nestas circunstâncias, dentro do edifício, a temperatura interior não atinge nem aos máximos nem aos mínimos exteriores, fato explicável pela capacidade de amortecimento dos elementos de construção. Quanto menor é μ , maior será a capacidade de amortecimento do fechamento, sendo que este coeficiente é sempre menor que 1 (RIVERO, 1986).

3.3.3.4. Evaporação e condensação

O ar, a uma temperatura determinada, pode conter apenas certa quantidade de vapor d'água. Esta capacidade aumenta à medida que eleva a temperatura do ar. Quando se atinge o valor máximo de vapor d'água no ar diz-se que o ar está saturado e atingiu-se a temperatura de orvalho. Deste modo, qualquer redução em relação a este valor significará o começo da condensação.

Na transferência de calor latente, as trocas de calor que ocorrem sem que haja mudança de temperatura, sendo característica das trocas de calor em que há mudança de fase, tais como na evaporação e condensação, em que o fluxo de calor não ocorre devido a gradientes de temperatura, e sim a gradientes de pressão de vapor, ocorrendo, portanto, transferência de calor e massa.

A evaporação e a condensação assumem grande importância no estudo do comportamento térmico das construções por se tratar de situações pelas quais o calor é transportado de um corpo a outro. Estes fenômenos provocam uma série de inconvenientes: higiênicos, econômicos e térmicos, já que a resistência térmica dos materiais de construção, especialmente os isolantes, diminui consideravelmente quando aumenta seu conteúdo de água (RIVERO, 1986).

O estudo das trocas de calor latente é importante nos sistemas de resfriamento evaporativo e problemas de condensação, tanto superficiais quanto internos, além de ter importante papel nos mecanismos fisiológicos de manutenção de homeotermia, por meio da evaporação no trato respiratório e da sudorese, se constituindo na principal via de eliminação de calor corporal, inclusive em regiões de clima quente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO) – Setor de Construções Rurais e Ambiência do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa, MG, localizado na mesorregião da Zona da Mata, no sudeste de Minas Gerais. O clima da região é classificado como Cwa – clima temperado quente – Mesotérmico com estação seca no inverno e chuvosa no verão.

A coleta de dados desta pesquisa foi realizada durante os meses de fevereiro e março de 2012. O desenvolvimento do trabalho experimental ocorreu durante o verão, em função de este ser o período do ano no qual usualmente se verificam os maiores valores de temperaturas do ar ao longo do dia, quando comparadas às demais estações do ano, o que ocasiona, conseqüentemente, maior desconforto térmico às aves adultas, gerando assim maior demanda por uso de sistemas de condicionamento de ambiente, o que pode aumentar o custo de produção.

Para a realização da pesquisa foram construídos 06 (seis) protótipos de galpões avícolas em escalas reduzida em 1:5, conforme ilustrado na Figura 7.

A utilização de protótipos foi adotada, principalmente, devido ao alto custo que seria a implantação dos materiais nos galpões em escala real, bem como devido a impossibilidade de se obter aviários em número suficiente e posicionados num mesmo núcleo de produção, que permitisse a avaliação de todos os tratamentos de interesse nesta investigação. Sendo assim, seguiram-se as recomendações quanto a uso de protótipos já descrita e empregada por Murphy (1950), Dantas (1995), Moraes et al. (1999), Jentzsch (2002) e Santos et al. (2005).



Figura 7 - Vista da área experimental mostrando os seis protótipos de galpões avícolas e abrigo meteorológico ao centro.

4.1. Caracterização dos protótipos

4.1.1. Dimensões e estrutura dos protótipos

Conforme mencionado, os protótipos utilizados neste experimento são baseados nas dimensões reais de um aviário comercial de frangos de corte, padrão usual no Brasil, de 12,0 m de largura por 125,0 a 180,0 m de comprimento e 3,0 m de pé-direito, com distância entre pilares de 5,0 m (afastamento entre pilares suficientes para o caso de telhados com telhas metálicas ou de fibrocimento). Por estarem reduzidos na escala de 1:5, os protótipos apresentam 2,4 m de largura, 3,0 m de comprimento (seção referente ao espaço entre três pilares) e 0,6 m de pé direito.

A sustentação dos protótipos se deu através de pilares e vigas em madeira de lei, conhecida na região por cupiúba, nome científico *Goupia glabra*. Foram utilizados quatro pilares de cada lado, voltados para as faces norte e sul com dimensões de 3 x 3 cm e altura de 100 cm, mais dois pilares centrais voltados para as faces leste/oeste com dimensão de 3 x 3 cm e altura de 135 cm. Os pilares das faces leste/oeste foram responsáveis pela sustentação da viga superior, posicionada na cumeeira do protótipo.

Vigas inferiores, posicionadas no sentido transversal e com seção de 3 x 5 cm, foram instaladas com a função de ligar os pilares e também funcionarem como suporte para o piso em chapa compensada na espessura de 10 mm, posicionado a uma altura de 0,40 cm do solo. Três vigas superiores, orientadas no sentido longitudinal, serviram de apoio às telhas, sendo duas destas vigas posicionadas na direção do frechal com apoio nos quatro pilares laterais e seção de 3 x 5 cm e uma viga superior enrijecida na posição da cumeeira e apoio nos dois pilares centrais das faces leste/oeste, confeccionada com duas tábuas de seção 2 x 10 cm, eliminado o apoio central (Figura 8).



Figura 8 - Protótipo em fase de construção, com estrutura em madeira e fechamento com madeirite.

Todos os protótipos (Figura 9) foram dispostos em área plana e gramada, situada na área experimental do AMBIAGRO e foram distanciados entre si em 8 metros no eixo norte/sul e 6 m no eixo leste/oeste, distanciamentos estes suficientes para evitar sombreamentos entre si e prejuízos na ventilação natural. Todos os protótipos tiveram seu eixo longitudinal orientado na direção leste-oeste verdadeira, sendo que os

equipamentos para medição das variáveis ambientais, usadas na determinação dos índices de conforto térmico ambiente, foram instalados no seu interior. As faces leste e oeste foram totalmente fechadas com placas de chapa compensada na espessura de 10 mm, minimizando-se assim, os efeitos da radiação solar direta no interior dos protótipos.

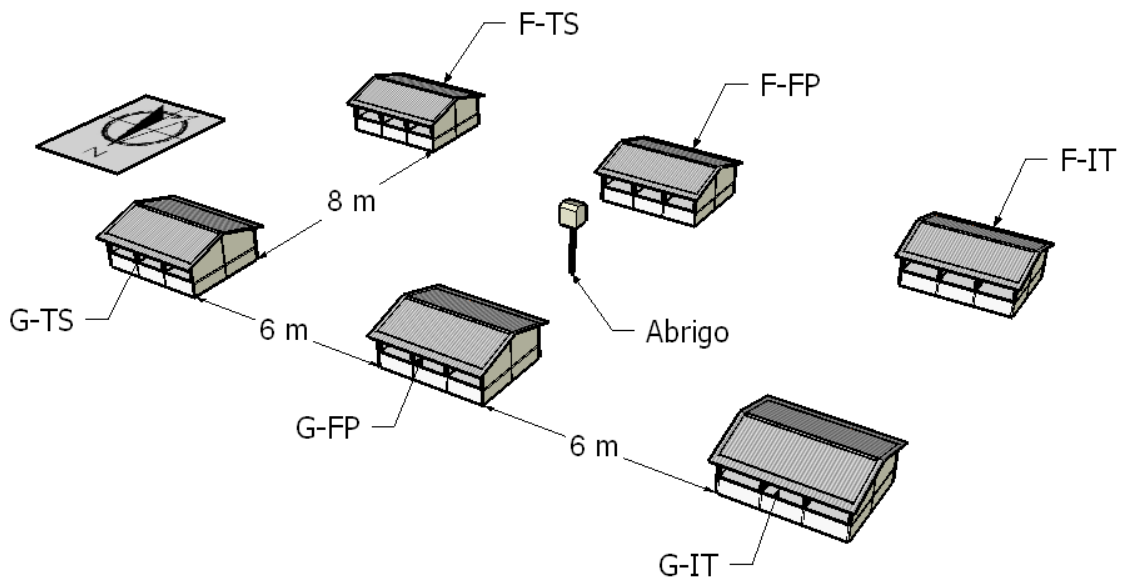


Figura 9 - Distribuição dos protótipos na área experimental, com o eixo maior orientado a leste-oeste: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha).

Os pisos internos dos protótipos ficaram a 0,40 m acima do nível do solo, de maneira a serem afastados da zona de condensação de umidade natural do terreno que pudesse interferir na umidade interna do ar ambiente. As muretas laterais, vistas pela face interna, dos protótipos são de 4 cm de altura, representando assim, em escala reduzida, os 20 cm recomendados para condições reais. O material empregado na constituição das muretas laterais, bem como o utilizado para o tablado do piso dos protótipos também foram realizadas com chapa compensada na espessura de 10 mm e pintura com uma demão de fundo preparador e três demãos de esmalte sintético branco (Figura 10). Conforme ilustrado na Figura 11, os pisos foram cobertos com camada de 2 cm de serragem de madeira, material comumente utilizado para a composição de camas aviárias.

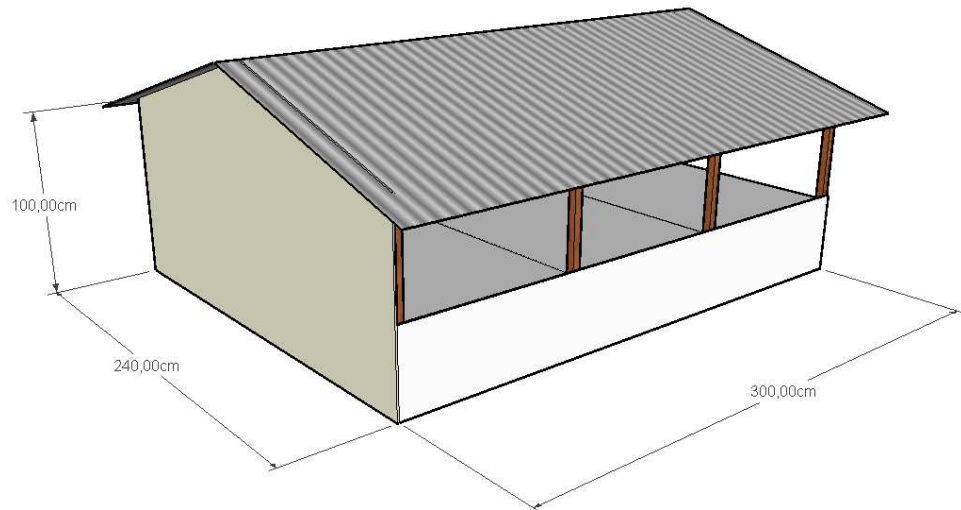


Figura 10 - Representação gráfica, em perspectiva, escala 1:5, dos aviários de frango de corte.

Para representar a fase experimental relativa aos efeitos de diferentes materiais de cobertura e suas associações em abrigos fechados, as laterais do eixo longitudinal de todos os protótipos foram vedadas com cortinas de polietileno, na cor azul (Figura 11).



Figura 11 - Vista interna de um dos protótipos (fundo em madeirite e serragem de madeira a ser espalhada).

4.1.2. Coberturas dos protótipos e suas associações

4.1.2.1. Materiais de cobertura dos protótipos

Dos seis protótipos, três foram cobertos com telha de fibrocimento, espessura de 5,0 mm, formato ondulado, material este com tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético) sem amianto e os três restantes foram cobertos com telha de aço galvalume (espessura de 0,43 mm e formato trapezoidal). Ambos os materiais vem sendo largamente recomendados pela indústria fabricante como sendo materiais econômicos e de substituição vantajosa às antigas telhas de cimento-amianto (hoje proibidas) e as de aço zincado (termicamente desinteressantes). Contudo, ainda não se dispõe de comprovação, em campo, quanto a eficiência no arrefecimento térmico de alojamentos animais praticados no Brasil.

Desta forma, utilizou-se como um dos objetos de investigação, o material de cobertura – telha de fibrocimento com tecnologia CRFS (Figura 12), em função da antiga telha de cimento amianto, largamente utilizada, apresentar efeitos cancerígenos e poluentes na sua produção, o que demandaria a sua substituição com vistas à sustentabilidade ambiental e preservação da saúde da população envolvida.



Figura 12 - Telha fibrocimento sem amianto.

O segundo material investigado foi a telha de aço galvalume. Segundo a Associação Brasileira da Construção Metálica – ABCEM (2009), as telhas de aço galvalume (Figura 13), devido à sua composição química (alumínio, zinco e

silício), como revestimento do aço, conferem ao produto excelente proteção à corrosão atmosférica, alta refletividade e, conseqüentemente, melhor conforto térmico, ótima aparência e manutenção do brilho. Em relação ao aço zincado, apresenta uma resistência à corrosão, pelo menos duas vezes superior.



Figura 13 - Telha metálica de aço galvalume.

A vedação das telhas na parte superior (cumeeira) de todos os protótipos foi realizada com fita metálica de alta aderência, conforme Figura 14.



Figura 14 - Vista de um dos protótipos tendo sua cobertura vedada por fita metálica.

4.1.2.2. Materiais associados às coberturas (forros)

Dos seis protótipos experimentais dois receberam isolamento térmico conhecido como *Foamular*, dois foram forrados com lona de polietileno, iguais às utilizadas nas cortinas e os dois restantes não receberam nenhum material sob a cobertura.

O *Foamular* utilizado e testado nas coberturas é o isolante térmico de poliestireno extrudado (XPS) produzido pela Owens Corning (indústria americana com filial recentemente instalada no Brasil). Segundo o fabricante, possui propriedades especiais que lhe proporcionam maior performance como: alta resistência à compressão e à flexão, hidrofóbico, autoextinguível, e alta resistência térmica estável a longo prazo. É apresentado em placas leves e rígidas, cuja estrutura de células fechadas e paredes homogeneamente interligadas, segundo o fabricante, geram um produto com alta estabilidade dimensional (Figura 15).



Figura 15 - Material isolante (Polietileno Extrudado) empregado em dois protótipos.

O material possui superfície lisa e uma estrutura de células fechadas com paredes que se unem sem praticamente deixar espaços vazios (Figura 16).



Figura 16 - Protótipo com aplicação do isolante térmico sob a cobertura.

Dois protótipos, sendo um coberto com telha de fibrocimento e um coberto com telha de aço galvanizado receberam forro de polietileno similar às cortinas utilizadas no fechamento lateral de aviários comerciais, posicionadas a 60 cm de altura a partir do piso em chapa compensada (Figura 17).



Figura 17 - Protótipo com presença de forro de polietileno posicionado horizontalmente sob o telhado.

Os dois protótipos restantes, sendo um com cobertura de telha de fibrocimento e o outro com telha de aço, não receberam nenhum material sob a cobertura, equivalendo aos tratamentos testemunhas (Figura 18).



Figura 18 - Protótipo sem a presença de forros sob a cobertura.

4.2. Tratamentos avaliados

A presente investigação foi realizada em duas fases experimentais distintas, sendo que cada uma destas fases representou diferentes situações de fechamentos dos abrigos: 1) uma fase experimental em que todos os protótipos tiveram as cortinas do entorno abertas e 2) uma fase experimental em que todos os protótipos tiveram as cortinas do entorno fechadas. Em cada uma destas fases foram avaliados seis diferentes tratamentos, cada um representado por um protótipo em escala reduzida com cobertura em um dos dois tipos de telhas anteriormente mencionados: a) telhas de fibrocimento, com tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético), sem amianto espessura de 5,0 mm, formato ondulado; b) telhas de aço galvanizado, espessura de 0,43 mm e formato trapezoidal, sendo que para cada um dos

materiais se avaliaram três outras situações relativas à forração: 1) com forro de polietileno; 2) com forro de isolante térmico; e 3) sem forro (testemunha).

Desta forma, a investigação teve como objetivo principal testar diferentes tipos de coberturas e suas associações com diferentes materiais de forração, quanto à possível redução na temperatura do ar no interior de abrigos abertos e fechados, utilizados para produção animal, durante os horários mais quentes do dia.

Todos os protótipos foram idênticos na estrutura física, tendo como diferencial apenas as características de material de cobertura, associações e fechamentos mencionados, constituindo-se assim, os tratamentos discriminados por cada fase a seguir, os quais foram aleatoriamente distribuídos:

4.2.1. Tratamentos da primeira fase experimental, com cortinas abertas (CA)

- Tratamento 01 - Telhas de aço galvalume, com isolante *Foamular* (G-IT-CA).
- Tratamento 02 - Telhas de fibrocimento sem amianto, com isolante *Foamular* (F-IT-CA).
- Tratamento 03 - Telhas de aço galvalume, com forro de polietileno (G-FP-CA).
- Tratamento 04 - Telhas fibrocimento sem amianto, com forro de polietileno (F-FP-CA).
- Tratamento 05 - Telhas de aço galvalume (G-TS-CA).
- Tratamento 06 - Telhas fibrocimento sem amianto (F-TS-CA).

4.2.2. Tratamentos da segunda fase experimental, com cortinas fechadas (CF)

- Tratamento 07 - Telhas de aço galvalume, com isolante *Foamular*. (G-IT-CF).
- Tratamento 08 - Telhas de fibrocimento sem amianto, com isolante *Foamular*. (F-IT-CF).
- Tratamento 09 - Telhas de aço galvalume, com forro de polietileno (G-FP-CF).

- Tratamento 10 - Telhas fibrocimento sem amianto, com forro de polietileno (F-FP-CF).
- Tratamento 11 - Telhas de aço galvalume (G-TS-CF).
- Tratamento 12 - Telhas fibrocimento sem amianto (F-TS-CF).

4.3. Instrumentos e sistemas de medições utilizados para a caracterização do ambiente térmico

Para a avaliação dos dois diferentes tipos de coberturas e suas associações, ou não, com dois diferentes materiais de forração, quanto à possível redução na temperatura do ar no interior de abrigos abertos e fechados, utilizados para produção animal, durante os horários mais quentes do dia, foram medidos, diariamente e durante todo o período do dia e durante todo o período experimental (40 dias), tanto no interior dos protótipos, quanto no ambiente externo aos mesmos foram tomados os seguintes dados ambientais: umidade relativa e temperatura do ar dentro dos protótipos; umidade relativa e temperatura do ar no ambiente externo (abrigo); temperatura da superfície superior da telha e velocidade do ar.

4.4. Indicadores para caracterização do ambiente térmico externo dos galpões

Os dados climáticos externos foram coletados utilizando-se de um abrigo meteorológico, instalado na região central, equidistante entre os seis protótipos (Figura 19). Nesse abrigo, foram instalados dispositivos para a medição da temperatura e umidade do ar. Dessa forma, perfis do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar podem ser elaborados, indicando as temperaturas médias, máximas e mínimas diárias, obtidas durante todo o período experimental.



Figura 19 - Vista do interior do abrigo meteorológico, bem como sua posição relativa à distribuição espacial dos protótipos na área experimental.

No interior do abrigo meteorológico foi alojado sensor para a medição contínua da temperatura e da umidade relativa do ar durante todo o período experimental, empregando-se para isso um sensor DS 2438 – com registro de temperatura e umidade relativa com faixas de temperatura de funcionamento entre -40°C a 85°C comunicando-se pelo protocolo 1-wire com um microprocessador central (MAXIM, 2009).

4.5. Indicadores para caracterização do ambiente térmico interno dos protótipos

Para aquisição de dados térmicos do ambiente optou-se pela utilização de dispositivos digitais endereçáveis (tecnologia 1-wire), em razão de sua precisão e confiabilidade, bem como pela redução dos custos com instrumentação, quando comparados com sistemas de aquisição de dados convencional.

A rede 1-Wire utiliza apenas um condutor para transmissão de dados, em comum com todos os dispositivos ou instrumentos (escravos) ligados à rede, e um computador ou microprocessador (mestre) que, por meio de um programa computacional apropriado, gerencia todo o sistema, além de ser técnica e economicamente viável (STEIDLE NETO et al., 2005; ROCHA et al., 2008).

Os dispositivos utilizados foram:

- DS 18B20 – Termômetro digital com faixas de temperatura de funcionamento entre -55°C a 125°C e precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ entre as temperaturas de -10°C a 85°C comunicando-se pelo protocolo 1-wire com um microprocessador central (MAXIM, 2009).
- DS 2438 – Registro de temperatura e umidade relativa com faixas de temperatura de funcionamento entre -40°C a 85°C comunicando-se pelo protocolo 1-wire com um microprocessador central (MAXIM, 2009).

A elaboração, o desenvolvimento e a confecção do circuito para receber os sensores estão demonstrados pela Figura 20.



Figura 20 - Fases do desenvolvimento do circuito para receber os sensores - dispositivos digitais endereçáveis (tecnologia 1-wire).

Com o objetivo de caracterizar, com a máxima confiabilidade, todo o ambiente interno ao abrigo, distribuiu-se vários sensores, segundo diferentes eixos espaciais e perfis. Desta forma, no interior dos protótipos, os sensores foram posicionados segundo seus eixos transversal e vertical (Figura 21) e segundo seus eixos longitudinal e horizontal (Figura 22).

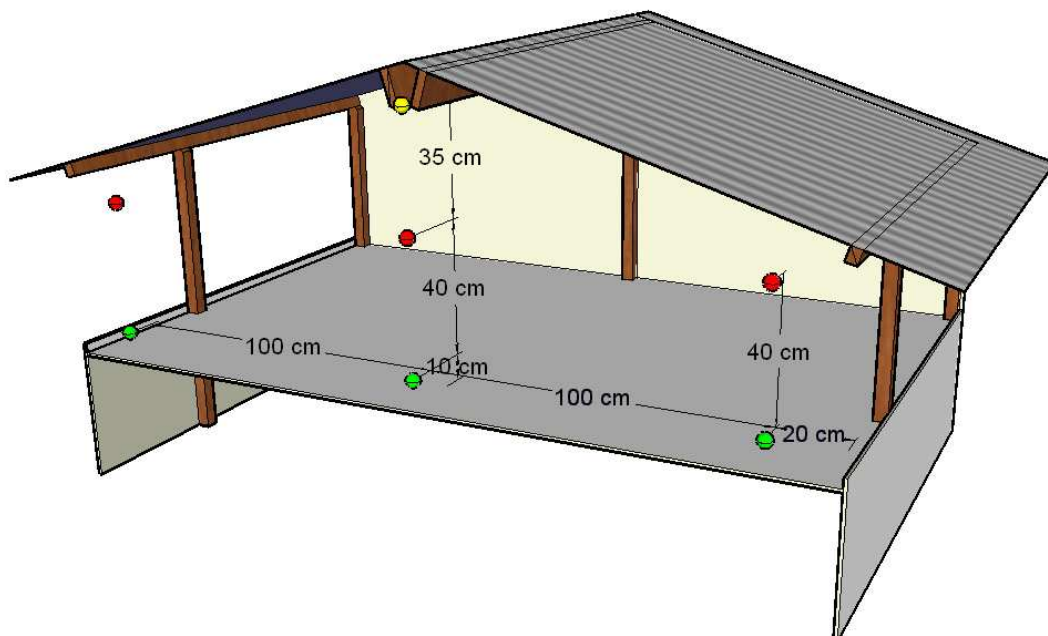


Figura 21 - Disposição dos sensores no eixo transversal e vertical. Todos coletam temperatura e os dois centrais (um a 10 cm do piso e outro a 50 cm do piso) coletam umidade.

No eixo longitudinal e horizontal foram distribuídos nove sensores na altura de 10 cm do piso em chapa compensada e mais nove sensores na mesma disposição dos anteriores, porém com uma altura de 50 cm do mesmo piso e apenas um sensor no centro a uma altura de 85 cm do piso, totalizando 19 sensores por protótipo.

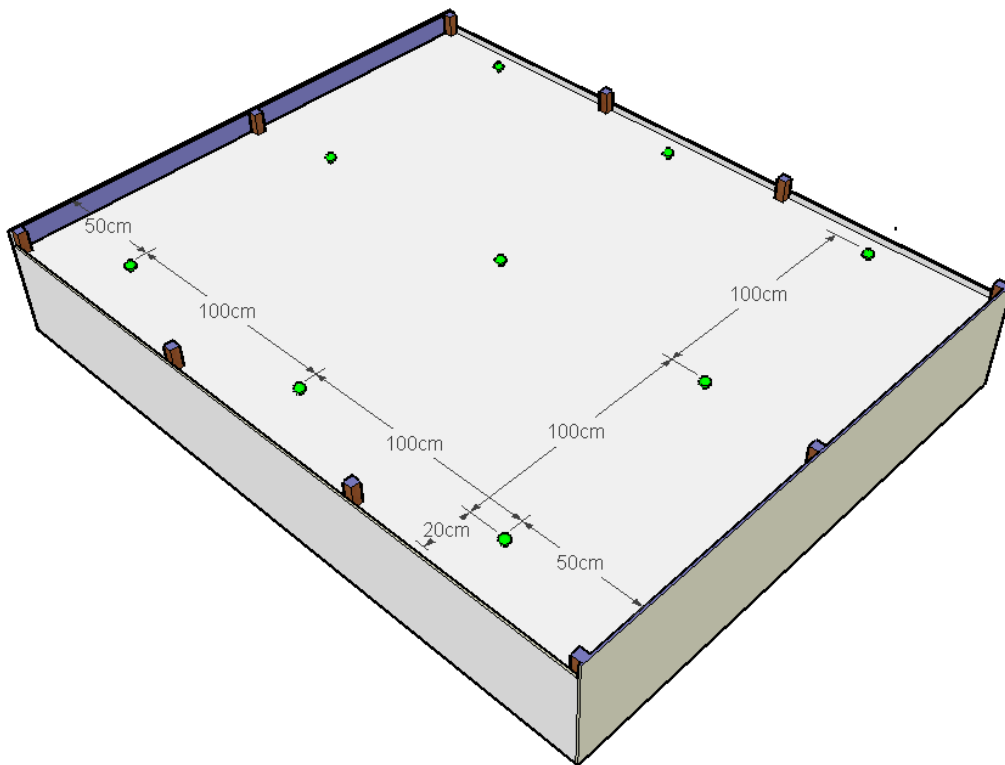


Figura 22 - Disposição dos sensores no eixo longitudinal e horizontal do protótipo. Todos coletam temperatura e o central coleta também a umidade.

Os sensores ficaram distribuídos conforme Figura 23.



Figura 23 - Vista dos sensores no interior dos protótipos.

A velocidade do ar foi medida por meio de um termo-anemômetro de fio quente com precisão de $\pm 3\%$, marca Testo e modelo 425 (Figura 24). As medidas foram obtidas nas faces sul e norte dos protótipos, de maneira a se avaliar o ar de entrada e saída dos protótipos, tanto quanto à velocidade, quanto à vazão e conseqüente taxa de renovação do mesmo no abrigo.



Figura 24 - Termo-anemômetro de fio quente utilizado na medição de velocidade do ar de entrada e saída dos protótipos.

Para a determinação da temperatura superficial foi utilizado termômetro de infravermelho, marca Fluke, modelo 62 mini, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Figura 25).



Figura 25 - Termômetro de infravermelho.

A coleta de dados aconteceu durante 20 dias para a situação cortina fechada e 20 dias para a situação cortina aberta durante os meses de fevereiro e março. Destes 20 dias foram descartados 13 dias para cada situação, prevalecendo apenas os sete dias considerados mais quentes e com céu claro durante todo o dia (representando a situação mais crítica em termos de estresse calórico) sendo que cada um dos sete dias constitui uma repetição no tempo.

O sistema 1-wire coletou dados de temperatura e umidade de forma contínua (24 horas por dia) durante todos os dias. As leituras de temperatura superficial da telha e velocidade do ar, ocorreram em intervalos de uma hora, no período de 7 às 19 horas, totalizando 13 leituras diárias durante os dias para a situação cortina fechada e cortina aberta.

4.6. Delineamento estatístico

Para cada uma das duas fases experimentais (cortinas abertas e cortinas fechadas), o experimento foi montado segundo o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os dois tipos de materiais de cobertura e suas associações ou não com dois diferentes tipos de forro (constituindo assim os seis tratamentos), e nas subparcelas os horários mais quentes do dia (situados na curva entre a ascensão e o decréscimo entre as temperaturas máximas

diárias), no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com sete repetições (os sete dias claros, com brilho solar durante todo o período diurno).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e de regressão. O modelo foi escolhido baseado na significância dos coeficientes de regressão e no coeficiente de determinação. Para o fator qualitativo (protótipo) as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

O programa Sigmaplot foi utilizado para gerar os resultados estatísticos e imagens de superfície.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados os dados do ambiente térmico no interior dos protótipos e na área externa, caracterizado pelos indicadores térmicos: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Como o interesse da investigação foi com relação aos horários mais quentes do dia, ou seja, período de maior estresse por calor, foram delimitados os horários compreendidos entre 12 e 17 horas para a análise dos indicadores durante os sete dias escolhidos como repetições (consideradas cada um dos sete dias de brilho solar contínuo, ocorridos durante toda a fase de avaliação que se estendeu por cerca de dois meses) e para cada uma das duas situações (cortina fechada e aberta).

Verificou-se, também, que os tratamentos com cortinas fechadas apresentaram menor amplitude térmica comparativamente aos de cortina aberta, o que era esperado, uma vez que o fechamento das cortinas gera o aprisionamento do ar ambiente, minimizando as trocas térmicas com o ambiente externo. Estes dados estão de acordo com Rivero (1986) e Damasceno et al. (2010b).

5.1. Condições térmicas ambientais observadas nos diferentes tratamentos

Com o intuito de avaliar as condições do ambiente interno, ao longo do período mais quente do dia (de 12 às 17 horas), nos diferentes tratamentos, foram obtidas as médias das temperaturas dos sete dias experimentais de cada fase (CA e CF) e para cada tipo de tratamento, cujos valores encontram-se apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente para as situações de cortinas fechadas e cortinas abertas.

Tabela 7 - Valores médios horários de temperatura do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos para a situação de cortina fechada, durante todo o período experimental

TEMPERATURAS (°C) Cortina Fechada							
Horário	G-IT-CF	F-IT-CF	G-FP-CF	F-FP-CF	G-TS-CF	F-TS-CF	TA CF
12:00	30,91	31,02	32,33	32,23	34,17	35,85	27,08
13:00	32,20	32,54	34,10	34,69	36,40	38,55	28,28
14:00	33,19	33,49	35,18	35,97	37,21	39,72	29,46
15:00	33,64	33,78	35,28	36,21	36,97	39,25	29,80
16:00	34,39	34,58	36,30	37,41	37,95	39,74	30,77
17:00	33,76	34,05	35,41	36,80	36,19	37,34	30,16

Nota: G – Telha de aço galvanizado; F – Telha de fibrocimento; IT – Forro com isolante térmico; FP – Forro de polietileno; TS – Sem forro (testemunha); CA – Cortina aberta; CF – Cortina fechada; TA – Temperatura ambiente externo.

Tabela 8 - Valores médios horários de temperatura do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos para a situação de cortina aberta, durante todo o período experimental

TEMPERATURAS (°C) Cortina Aberta							
Horário	G-IT-CA	F-IT-CA	G-FP-CA	F-FP-CA	G-TS-CA	F-TS-CA	TA CA
12:00	27,38	27,25	28,61	24,85	28,60	29,17	27,01
13:00	28,43	28,47	30,18	27,18	30,08	30,75	28,22
14:00	29,45	29,34	31,05	28,40	31,30	31,82	29,09
15:00	30,47	30,32	31,91	29,89	32,00	32,62	30,14
16:00	30,85	30,97	31,64	30,82	31,71	32,29	30,45
17:00	30,62	30,75	30,92	31,62	30,90	31,26	30,22

Nota: G – Telha de aço galvanizado; F – Telha de fibrocimento; IT – Forro com isolante térmico; FP – Forro de polietileno; TS – Sem forro (testemunha); CA – Cortina aberta; CF – Cortina fechada; TA – Temperatura ambiente externo.

Verifica-se, pelas Tabelas 7 e 8, que os maiores valores de temperatura, em todos os horários de observação compreendidos no período mais quente do dia (de 12 às 17 horas), ocorreram para os tratamentos que não receberam forro sob a cobertura, favorecendo a transferência de calor. Os menores valores de temperatura ocorreram para os tratamentos que receberam isolamento térmico, o que pode ser atribuído ao fato de que os isolamentos além de dificultar a transferência de calor oriundo da radiação

solar direta pela cobertura, em direção ao interior do abrigo, ainda constituem uma barreira física que dificulta a transferência de calor, nos dois sentidos e, conseqüentemente, proporciona temperaturas mais amenas em relação aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram obtido por Santos et al. (2002).

Em conformidade com os trabalhos de Rivero (1986) e Damasceno et al. (2010b), verificou-se, também, que os protótipos com cortinas fechadas apresentaram menor amplitude térmica comparados aos de cortina aberta, devido a barreira gerada pela cortina o que dificultava a troca térmica com o ambiente externo.

Os valores médios e desvio padrão da variável temperatura, nas situações de cortina fechada e cortina aberta estão apresentados na Tabela 9. Verifica-se que tanto para os tratamentos com tipos de coberturas diferentes, quanto para as situações CF e CA houve diferenças significativas de temperatura em nível de 5% de significância ($p < 0,05$), em várias situações.

Tabela 9 - Temperaturas médias e desvio padrão dos tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), bem como TA (temperatura ambiente externo), nas situações de CA (cortina aberta) e CF (cortina fechada)

TEMPERATURAS (°C)		
Tratamento	Cortina Fechada (CF)	Cortina Aberta (CA)
G-IT	33,015 ± 2,193 ^{ac}	29,531 ± 1,852 ^{gij}
F-IT	33,243 ± 2,292 ^a	29,516 ± 1,736 ^{ijk}
G-FP	34,768 ± 2,341 ^{abj}	30,718 ± 1,976 ^{bhi}
F-FP	35,552 ± 2,867 ^d	28,793 ± 2,751 ^{gk}
G-TS	36,480 ± 2,604 ^b	30,76 ± 1,975 ^{kh}
F-TS	38,408 ± 3,087 ^b	31,316 ± 1,848 ^{ahi}
TA	29,257 ± 2,212 ^f	29,188 ± 2,183 ^{fgk}

Nota: ^{abcdgijnjk} ANOVA ou Teste t. com valores (média ± DP) seguidos da mesma letra, **entre todos os tratamentos**, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se que, para todos os tratamentos (tipos de coberturas), à exceção da temperatura ambiente externa (TA), as respostas de temperatura média do ar ambiente interna foram estatisticamente diferentes quando estes tratamentos estiveram expostos a situação de cortinas abertas e cortinas fechadas, com valores significativamente maiores para este último caso, confirmando mais uma vez o esperado. Ou seja: cortinas fechadas aprisionam o ar no interior do abrigo e dificultam as trocas térmicas proporcionadas, principalmente, via ventilação natural ou forçada. Ademais radiação solar que porventura venha a atingir diretamente uma das faces laterais do aviário (qualquer um dos paramentos verticais), atravessa estes fechamentos via radiação de onda curta. No interior esta radiação passa a ser de onda longa (energia calorífica), não fazendo o caminho de volta e causando sobreaquecimento do interior dos alojamentos (efeito estufa). Neste caso, passa a ser imprescindível a troca gasosa, o que só pode ser obtido via renovação do ar. Sendo assim, nos dias quentes e períodos quentes do dia, só se torna possível o uso de cortinas fechadas caso seja implantado sistema de ventilação forçada insuflando ar para dentro do abrigo (ventilação positiva) ou extraindo-se o ar do interior para o exterior, de tal forma a viabilizar a entrada de ar novo via pressão negativa. Esta ventilação tanto pode ser para troca mínima (ventilação higiênica ou de inverno) ou máxima (ventilação térmica ou de verão). Caso não se opte pela ventilação forçada, as cortinas devem ser mantidas abertas basicamente todo o período quente do dia, de tal forma a possibilitar a troca gasosa e conseqüente arrefecimento térmico via ventilação (VIGODERIS et al., 2010; TINÔCO et al., 2004).

Ao se comparar os diferentes tipos de cobertura de abrigos mantidos com as cortinas fechadas o tempo todo, verifica-se, com base na Tabela 9, que os tratamentos G-IT-CF, F-IT-CF e G-FP-CF, não apresentaram diferença estatística entre si, contudo, em valores absolutos posicionados nesta ordem do ambiente mais frio para o mais quente. Os tratamentos com isolante térmico tiveram os melhores resultados em termos de arrefecimento térmico, sendo, portanto indicado como aquele que promove o melhor conforto térmico as aves adultas (quando são menos tolerantes ao calor), especialmente no verão e horas quentes do dia. Os piores tratamentos em termos de promover o arrefecimento térmico dos abrigos foram os tratamentos F-TS-CF, G-TS-CF e

F-FP-CF, estatisticamente iguais, mas em valores absolutos, decrescentes nesta ordem, do pior para o melhor.

Ao se comparar os diferentes tipos de cobertura de abrigos mantidos com as cortinas abertas o tempo todo, verifica-se, com base na Tabela 9, que os tratamentos com isolante térmico (IT) foi, similarmente ao que aconteceu com as cortinas fechadas, também estatisticamente o melhor tratamento em termos de arrefecimento térmico, sendo, portanto, indicado como aquele que promove o melhor conforto térmico as aves adultas (quando são menos tolerantes ao calor), especialmente no verão e horas quentes do dia. Ou seja: os tratamentos que receberam o isolamento térmico *Foamular* propiciaram temperaturas mais amenas no interior dos abrigos, em relação aos demais tratamentos para os períodos de calor intenso, o que está ilustrado nas Figuras 26 e 27.

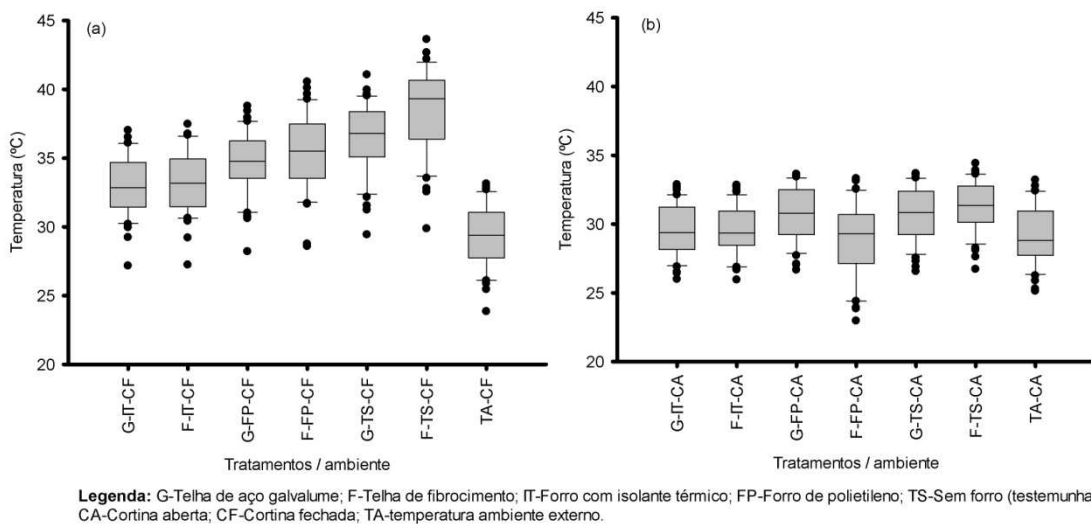


Figura 26 - Temperatura média do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvalume), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para as situações (a): de CA (cortina aberta) e (b): de CF (cortina fechada), durante todo o período experimental.

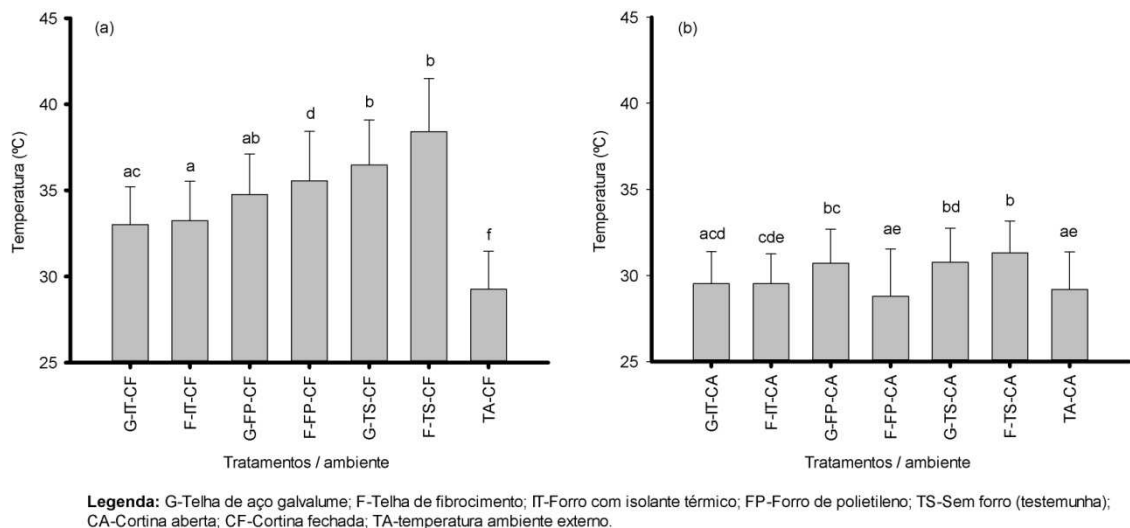


Figura 27 - Temperatura média do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvanume), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para as situações (a): de CA (cortina aberta) e (b): de CF (cortina fechada), durante todo o período experimental, com análise da variância entre todos os tratamentos.

Os piores tratamentos em termos de promover o arrefecimento térmico dos abrigos foram os tratamentos F-TS, G-TS e G-FP, estatisticamente iguais, mas em valores absolutos, decrescentes nesta ordem, do pior para o melhor.

Para a situação cortina aberta, o tratamento F-FP-CA foi o que apresentou menor valor de temperatura média, a qual foi estatisticamente menor do que aquelas obtidas para os demais tratamentos. Estes resultados não estiveram dentro do esperado, considerando-se tratar de telhado sem forro isolante e com telha de amortecimento e isolamento comparativamente débeis, não havendo uma justificativa plausível para estes resultados (uma vez que todos os tratamentos eram abertos e estavam em situação semelhante), a não ser uma maior incidência de ventilação natural devida a uma pequena falha na vegetação do entorno, exatamente no mesmo alinhamento do protótipo relativo ao tratamento F-FP-CA.

O forro em polietileno sob a cobertura apresenta importante papel na redução da temperatura média interna dos protótipos, pois atua como mais uma barreira na transmissão do calor, fato observado também por Moraes (1999). O forro apresentou-se eficiente para os protótipos que receberam telha

de fibrocimento. Para os protótipos que receberam telhas de aço galvalume, estatisticamente não houve diferença. O ambiente interno dos protótipos que receberam telhas de aço galvalume, para a situação cortina fechada, apresentou temperaturas inferiores quando comparados aos protótipos que receberam telhas de fibrocimento.

Segundo Tinôco (2001), o forro atua como uma segunda barreira física, a qual permite a formação de uma camada de ar móvel junto à cobertura, o que contribui sobremaneira na redução da transferência de calor para o interior da construção.

5.2. Temperaturas máximas ocorridas nas situações de cortina fechada (CF) e cortina aberta (CA)

Neste trabalho teve-se o interesse de se estudar os diferentes tratamentos nas situações de extremo de calor, interpretada aqui como sendo aquela representada pelas temperaturas máximas diárias, a partir das quais se obteve a temperatura média das máximas obtidas durante os dias experimentais, conforme Tabela 10.

A razão deste estudo é o fato de que um dos principais interesses do experimento foi avaliar a performance do isolante em relação aos demais tratamentos, motivo pelo qual se procedeu a análise da média das temperaturas máximas obtidas pelos sensores no interior dos protótipos. A partir desta temperatura máxima foram realizados gráficos de superfície com o objetivo de visualizar a distribuição do calor.

Tabela 10 - Temperatura média das máximas do ar em °C, no interior do protótipo, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha) e TA (temperatura ambiente externo), para as situações CA (cortina aberta) e CF (cortina fechada), durante todo o período experimental

TEMPERATURAS(°C)			
Tratamento	Cortina Fechada (CF)	Cortina Aberta (CA)	Diferença entre as temperaturas
G-IT	34,967 ± 1,573 ^a	31,168 ± 1,392 ^{ab}	3,799
F-IT	35,154 ± 1,713 ^{ab}	31,273 ± 1,139 ^{ab}	3,881
G-FP	36,610 ± 1,640 ^b	32,077 ± 1,486 ^{abc}	4,533
F-FP	37,967 ± 1,807 ^c	31,618 ± 1,390 ^{ab}	6,349
G-TS	38,488 ± 1,651 ^c	32,180 ± 1,291 ^{bc}	6,308
F-TS	40,835 ± 1,820 ^d	32,781 ± 1,148 ^c	8,054
TA	30,908 ± 1,915 ^a	30,652 ± 2,073 ^a	0,256

Nota: ^{abcd}ANOVA ou Dunn's Method. com valores (média ± DP) seguidos da mesma letra, **na coluna**, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se, pela Tabela 10 que, tanto na situação de cortina fechada quanto na situação de cortina aberta, que os tratamentos que propiciaram melhor capacidade de arrefecimento térmico foram, em valores absolutos, os tratamentos G-IT, F-IT, G-FP, e F-FP, como esperado, seguido pelos tratamentos G-TS e F-TS.

Estes resultados indicam a importância em se promover a utilização do forro isolante como sendo a solução mais eficiente, ou a utilização de um simples forro de polietileno, na promoção de um melhor arrefecimento térmico de protótipos utilizados para a produção animal em geral. Com base nos tratamentos considerados como testemunha, para o caso das telhas de galvanizado, quando foi utilizado o forro de polietileno ao nível da cobertura, houve uma redução média de 2,0°C, comparado a abrigo similar, e com a utilização de forro isolante, observou uma redução média de 4,0°C, comparado a abrigos similares. Uma diferença de poucos graus na temperatura do ar ambiente pode ser suficiente para levar a mortalidade excessiva dos lotes de frangos de corte, postura, suínos e outros animais homeotermos. Sendo assim,

verifica-se a importância em se promover a utilização do forro isolante como sendo a solução mais eficiente, ou a utilização de um simples forro de polietileno, na promoção de um melhor no arrefecimento térmico de abrigos utilizados para a produção animal em geral.

Também se pode verificar, com base na terceira coluna da Tabela 10 (diferença entre as temperaturas), que para todos os tipos de cobertura estudados, os menores valores de temperaturas máximas obtidas sempre ocorreram nos abrigos mantidos com as cortinas abertas, obtendo uma redução da temperatura de até 8°C em relação ao mesmo tratamento, mas com cortina fechada. Tendo em vista estes resultados pode-se inferir sobre a importância de se promover a renovação do ar via ventilação (no caso natural), como artifício eficiente no impedimento do sobreaquecimento dos abrigos utilizados na produção animal.

5.2.1. Situação de cortina fechada

Para se verificar o comportamento dos tratamentos em relação à temperatura interna e a temperatura ambiente, no caso dos tratamentos mantidos com cortinas fechadas, realizou-se a regressão linear, visando o melhor ajuste do modelo. A boa correlação entre as variáveis pode ser observada nas figuras correspondentes.

Os tratamentos G-IT-CF (Figura 28) e F-IT-CF (Figura 29), que receberam o isolante térmico tiveram temperaturas inferiores em relação aos demais tratamentos. Mais uma vez, estes resultados estiveram dentro do esperado, demonstrando a importância do uso de material isolante no arrefecimento térmico de abrigos, conforme já encontrado por Damasceno et al. (2010a).

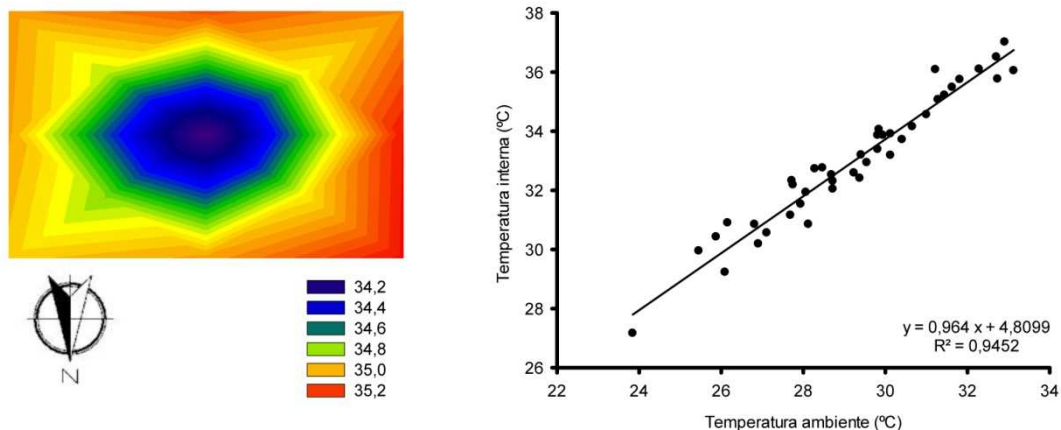


Figura 28 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento: G-IT-CF (telha galvalume – isolamento térmico – cortina fechada).

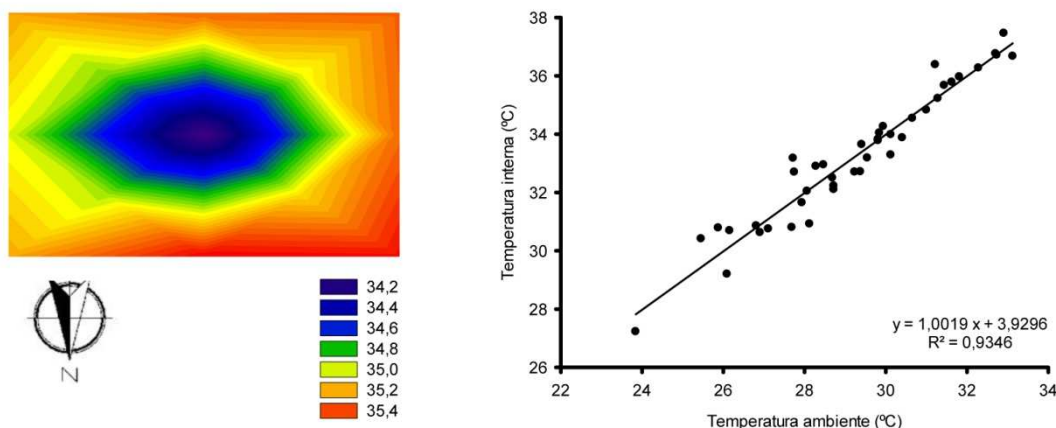


Figura 29 - Imagem de superfície e regressão linear para distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-IT-CF (telha fibrocimento – isolamento térmico – cortina fechada).

Observa-se, sobretudo, que o mapa de distribuição térmica no interior dos abrigos mantidos com as cortinas fechadas apresentou-se muito equilibrado em termos de uma redução uniforme no gradiente térmico das áreas mais próximas ao contorno externo do envoltório, em direção ao centro do abrigo. Esta característica é muito interessante do ponto de vista de facilitar um projeto mais preciso e eficiente em termos de distribuição dos equipamentos de refrigeração, ventilação e aquecimento dos aviários ou outros galpões utilizados na produção animal em geral.

Para os tratamentos G-FP-CF (Figura 30) e F-FP-CF (Figura 31), que receberam forro de polietileno, foram observadas, nas horas mais quentes do dia, temperaturas máximas do ar ambiente inferiores àquelas obtidas em relação aos tratamentos G-TS-CF e F-TS-CF (sem forro de polietileno) e temperaturas superiores em relação aos tratamentos G-IT-CF e F-IT-CF (com isolamento). Mesmo comportamento ocorreu para as telhas de aço galvalume, as quais ocasionaram ambientes internos com temperaturas inferiores quando comparadas às telhas de fibrocimento, para o mesmo material de isolamento utilizado.

Desta forma, conforme o esperado, também para as temperaturas máximas observadas, verifica-se uma vantagem comparativa em termos de melhor arrefecimento térmico, na utilização de material isolante, seguido pelo forro, nesta ordem do melhor para o pior, e associação aos materiais galvalume e fibrocimento sem amianto, respectivamente.

Conforme ilustrado na Figura 30, verifica-se que a distribuição de calor no ambiente interno nos protótipos G-FP-CF e F-FP-CF tenha sido equilibrada, pois não se apresentou de forma tão uniforme como ocorreu nos tratamentos G-IT-CF e F-IT-CF, em função do forro de polietileno não apresentar a mesma eficiência como isolante térmico.

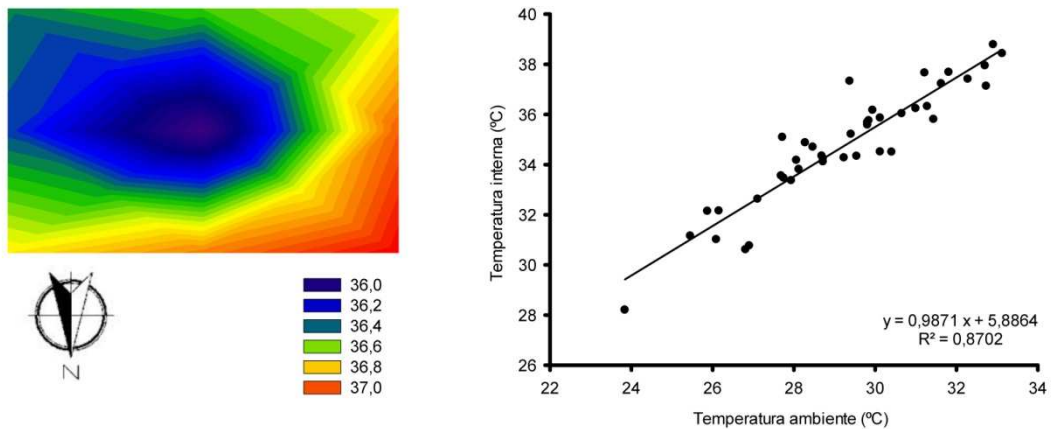


Figura 30 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-FP-CF (Telha Galvalume – Forro Polietileno – Cortina Fechada).

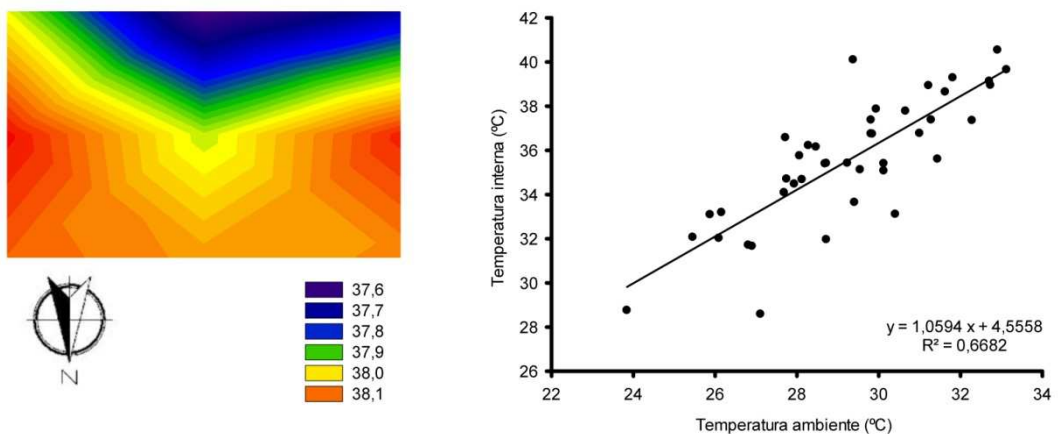


Figura 31 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-FP-CF (Telha Fibrocimento – Forro Polietileno – Cortina Fechada).

A situação de maior temperatura no ambiente interno, para as horas mais quentes do dia, ocorreu para os tratamentos G-TS-CF e F-TS-CF (sem utilização de nenhuma forração com material isolante ou polietileno sob a cobertura). A condição de menor temperatura para as coberturas sem forração ocorreu para aqueles com telha de aço galvalume, conforme observado nos

tratamentos anteriores, em função da alta refletividade que o material apresenta comparado à telha de fibrocimento.

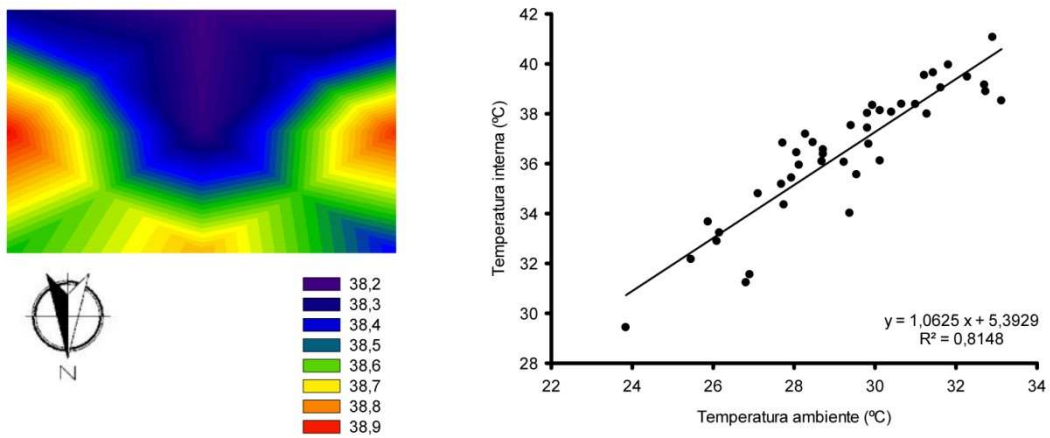


Figura 32 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-TS-CF (Telha Galvalume – Sem forro (testemunha) – Cortina Fechada).

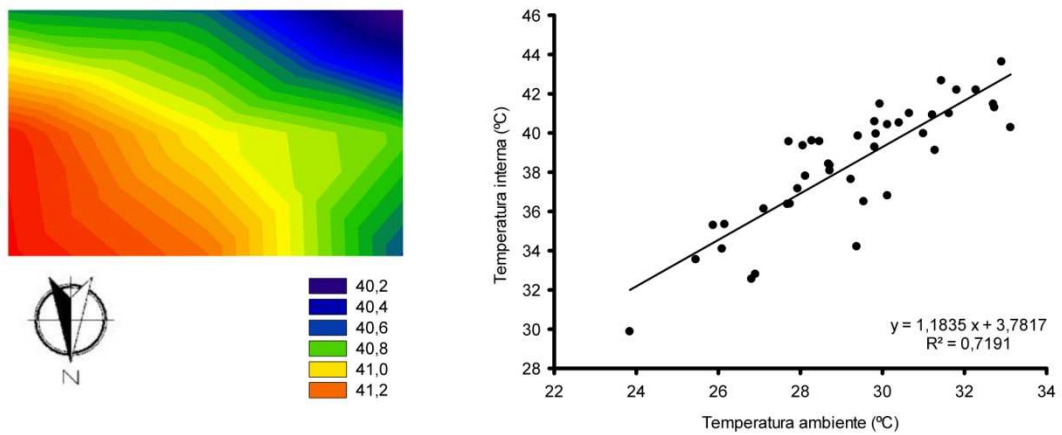


Figura 33 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-TS-CF (Telha Fibrocimento – Sem forro (testemunha) – Cortina Fechada).

5.2.2. Situação de cortina aberta

Para a situação cortina aberta as temperaturas máximas internas foram menores comparadas à situação cortina fechada, o que comprova a importância da ventilação natural como fator de redução de temperatura.

A temperatura do ambiente interno manteve comportamento similar ao obtido na situação de cortina fechada, em relação à redução de temperatura, sendo que os tratamentos G-IT-CA (Figura 34) e F-IT-CA (Figura 35) (com isolamento) foram aqueles nos quais se obteve os menores valores de temperaturas internas, seguido dos tratamentos G-FP-CA (Figura 36) e F-FP-CA (Figura 37) (forro sob a cobertura). As maiores temperaturas internas ocorreram nos tratamentos G-TS-CA (Figura 38) e F-TS-CA (Figura 39), conforme esperado.

Para o caso dos tratamentos com coberturas de telhas de aço galvanizado, os resultados de temperaturas do ambiente interno para os abrigos mantidos com cortinas abertas seguiram o mesmo comportamento verificado na situação cortina fechada, ou seja, foram menores do que aqueles obtidos nos tratamentos com telhas de fibrocimento. Estes resultados podem ser explicados em função da alta refletividade das telhas de aço galvanizado, minimizando a transmissão de calor devido à radiação solar direta sobre a cobertura e, por conseguinte, o sobreaquecimento do ambiente interno dos abrigos. Em outras palavras, a capacidade reflexiva da telha de aço galvanizado contribuiu para que houvesse menor absorção e, em consequência, também menor transmissão do calor para o interior da instalação.

Situação relativa aos efeitos da refletividade dos materiais de cobertura foi observada por Conceição (2008) que, em seu experimento, a qual verificou que a menor temperatura foi encontrada sob a cobertura de telhas de cimento amianto pintada de branco, seguida da telha composta por fibra vegetal e o pior desempenho foi apresentado pela telha cerâmica. Este fato foi explicado pela autora em razão das telhas de cimento amianto terem recebido uma camada de tinta branca imediatamente antes do início da pesquisa, demonstrando assim que o efeito da refletividade da tinta branca foi superior ao efeito da transmissividade das telhas cerâmicas.

Para o comportamento dos protótipos na situação cortina aberta também foi realizada a regressão linear e o gráfico de superfície, tendo com variáveis à temperatura interna e a temperatura ambiente, o que mostrou também a boa correlação entre as variáveis, de acordo com os gráficos correspondentes.

Verificou-se, com base nas Figuras 34 a 39 obtidas para a situação de cortinas abertas, quando comparadas à situação de cortinas fechadas (Figuras 28 a 33), que nestas últimas a distribuição interna da temperatura, de um modo geral, foi mais homogênea, quando comparada a situação cortinas abertas. Estes resultados estiveram dentro do esperado, considerando que em abrigos abertos ocorre a ventilação natural, carreando o ar interno para fora do mesmo, o que afeta consideravelmente o gradiente térmico no sentido de escoamento da massa de ar. Embora esta falta de uniformidade térmica seja preocupante no sentido de se garantir projetos de aclimatização perfeitos em termos de distribuição de equipamentos (uma vez que a ventilação natural não se dá sempre com a mesma intensidade e direção, variando constantemente), torna-se importante ressaltar que as temperaturas, em todos os casos, foram mais baixas nos tratamentos com cortinas abertas. Infere-se daí, que é mais importante manter a renovação de ar do que mantê-lo confinado. Ou seja, a ventilação ou renovação de ar é imprescindível no arrefecimento térmico de abrigos para produção animal em geral, conforme já havia sido descrito Saraz et al. (2012).

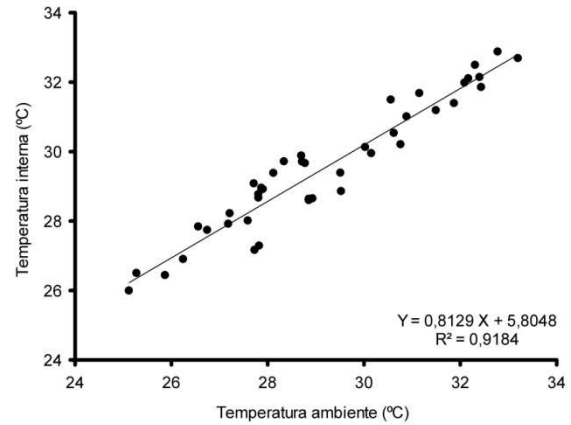
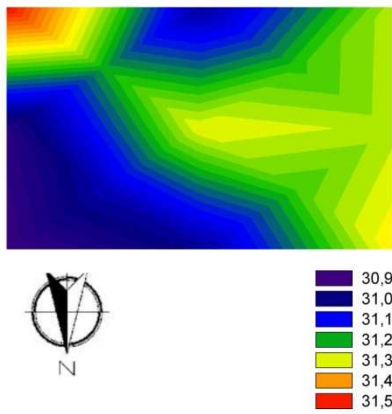


Figura 34 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-IT-CA (Telha Galvalume – Isolante Térmico – Cortina Aberta).

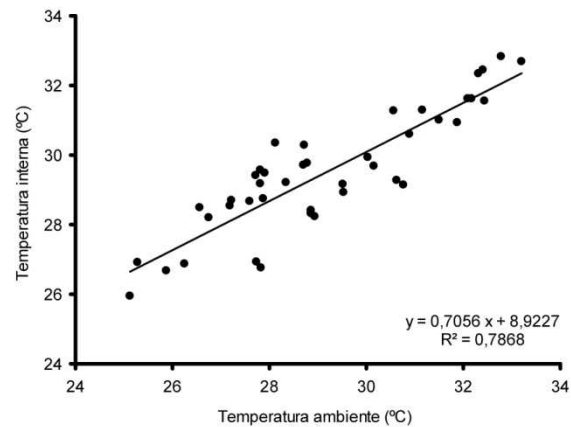
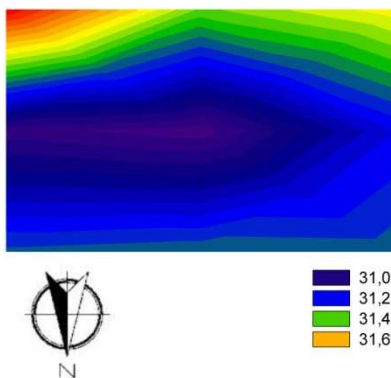


Figura 35 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-IT-CA (Telha Fibrocimento – Isolante Térmico – Cortina Aberta).

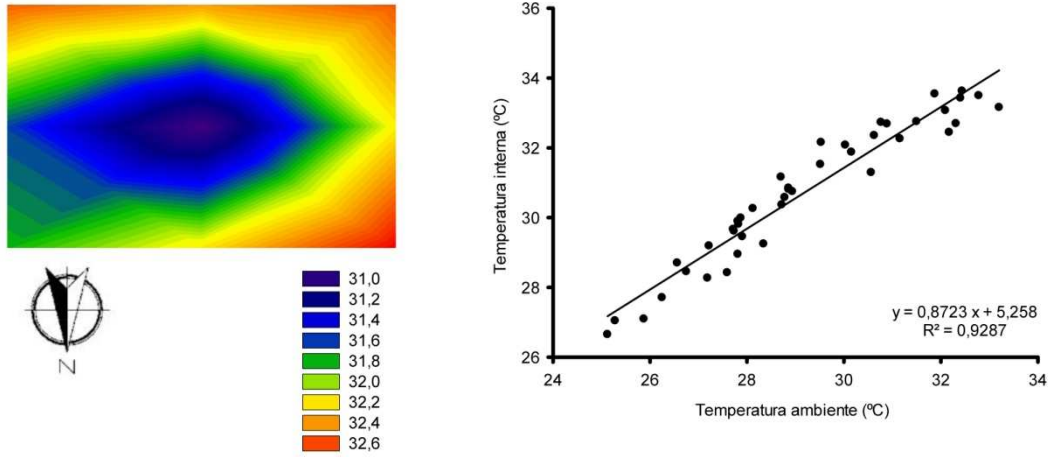


Figura 36 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-FP-CA (Telha Galvalume – Forro Polietileno – Cortina Aberta).

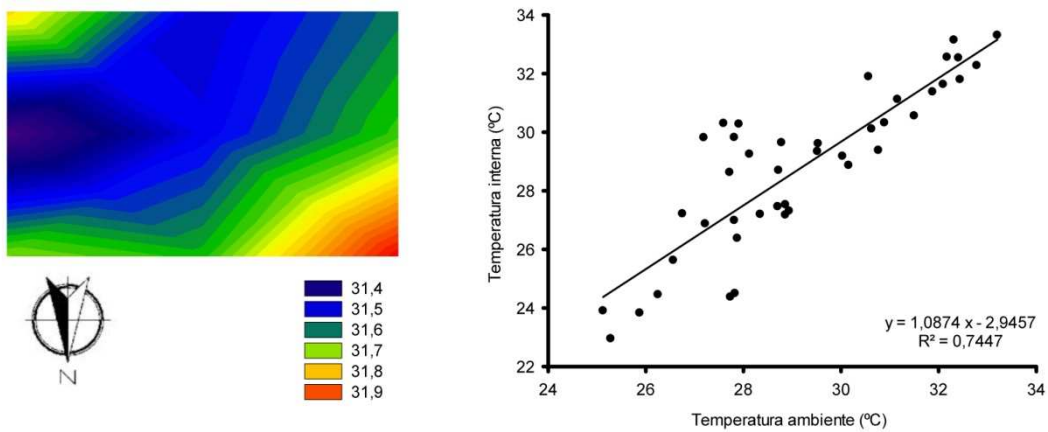


Figura 37 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-FP-CA (Telha Fibrocimento – Forro Polietileno – Cortina Aberta).

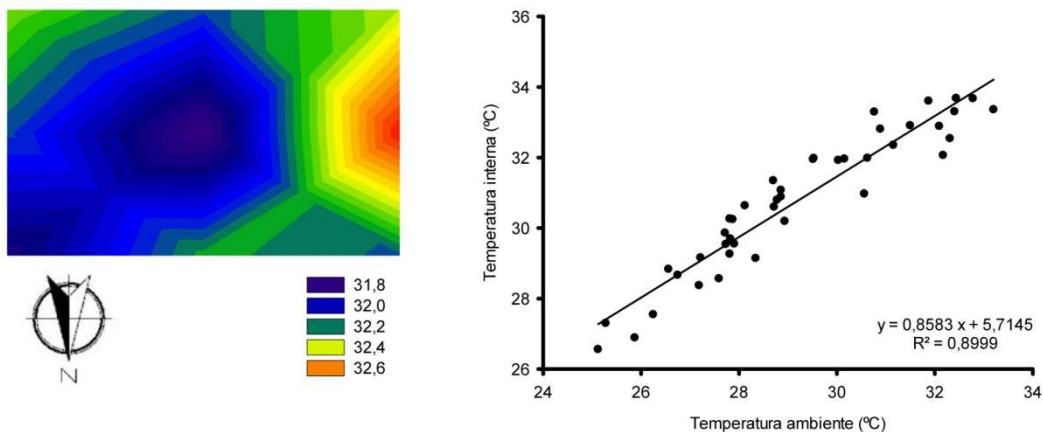


Figura 38 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento G-TS-CA (Telha Galvalume – Sem forro (testemunha) – Cortina Aberta).

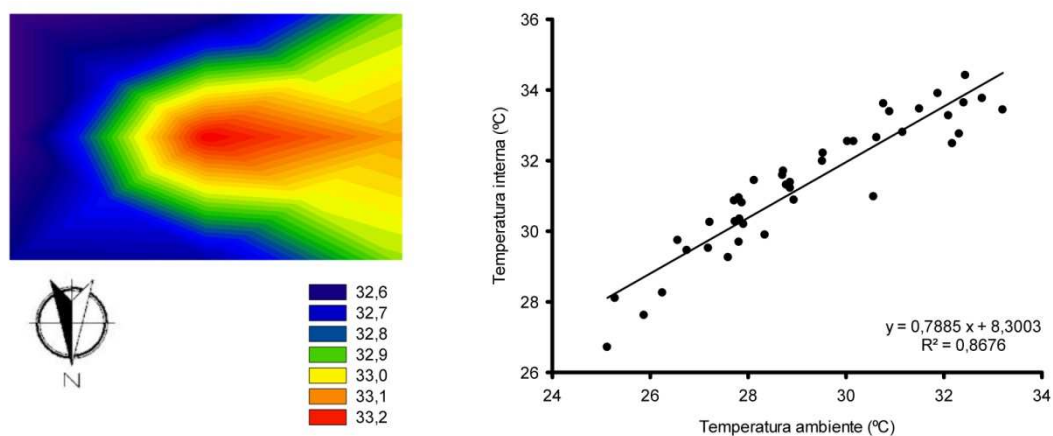


Figura 39 - Imagem de superfície e regressão linear para a distribuição das médias das temperaturas máximas obtidas nos diferentes pontos do abrigo submetido ao tratamento F-TS-CA (Telha Fibrocimento – Sem forro (testemunha) – Cortina Aberta).

Mesmo com a redução da temperatura em função da abertura das cortinas estatisticamente (Tabela 10), os tratamentos G-IT-CA, F-IT-CA, G-FP-CA e F-FP-CA, não apresentaram diferença entre si, o que reafirma o forro sob a cobertura como sendo eficiente barreira na transmissão de calor.

5.3. Taxa de renovação do ar e sua influência no arrefecimento térmico dos abrigos estudados

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, relativos às diferenças térmicas obtidas nos tratamentos realizados com cortinas abertas e fechadas, conforme a terceira coluna da Tabela 10 (diferença entre as temperaturas), realizou-se um estudo sobre o grau de influência da taxa de renovação de ar na redução da temperatura interna dos abrigos para cada um dos diferentes materiais de cobertura.

Assim, para cálculo da taxa de renovação de ar devido a ventilação natural, em cada um dos protótipos, tomou-se os valores horários de velocidade do ar na entrada e saída dos abrigos submetidos aos diferentes tratamentos, os quais estão apresentadas na Tabela 11, e ilustrados na Figura 40. No caso dos abrigos mantidos com cortinas fechadas, considerou-se a velocidade do ar como sendo nula.

Na mesma tabela encontram-se também relacionados os gradientes comparativos de redução de temperatura, também para cada tipo de material de cobertura, devido ao fato dos abrigos serem abertos e beneficiados pela ventilação natural. Também encontra-se apresentada a taxa de renovação do ar em cada tratamento, que foi obtida pelo número de vezes em que todo o ar interno do abrigo é retirado na unidade de tempo segundo.

Para a situação cortina aberta observou-se uma queda significativa da temperatura média, o que foi atribuído a renovação do ar durante o período considerado.

Considerando que os valores de velocidade do ar entre os tratamentos estiveram muito próximos, obtiveram-se as médias horárias a partir das médias de todos os tratamentos, conforme ilustrado na Figura 40.

Tabela 11 - Média das temperaturas máximas e velocidade do ar

TEMPERATURA MÉDIA DAS MÁXIMAS (°C) e VELOCIDADE DO AR (m/s ⁻¹)						
Tratamento	Cortina Fechada (CF)	Cortina Aberta (CA)	Diferença entre as temp.	Entrada de ar (m ³ /s) CF	Entrada de ar (m ³ /s) CA	Velocidade ar (CA)
G-IT	34,967 ± 1,573	31,168 ± 1,392	3,799	0	0,72	0,427
F-IT	35,154 ± 1,713	31,273 ± 1,139	3,881	0	0,77	0,458
G-FP	36,610 ± 1,640	32,077 ± 1,486	4,533	0	1,06	0,630
F-FP	37,967 ± 1,807	31,618 ± 1,390	6,349	0	1,03	0,610
G-TS	38,488 ± 1,651	32,180 ± 1,291	6,308	0	0,96	0,569
F-TS	40,835 ± 1,820	32,781 ± 1,148	8,054	0	0,79	0,468

Nota: G – Telha de aço galvanume; F – Telha de fibrocimento; IT – Forro com isolante térmico; FP – Forro de polietileno; TS – Sem forro (testemunha); CA – Cortina aberta; CF – Cortina fechada; TA – Temperatura ambiente externo.

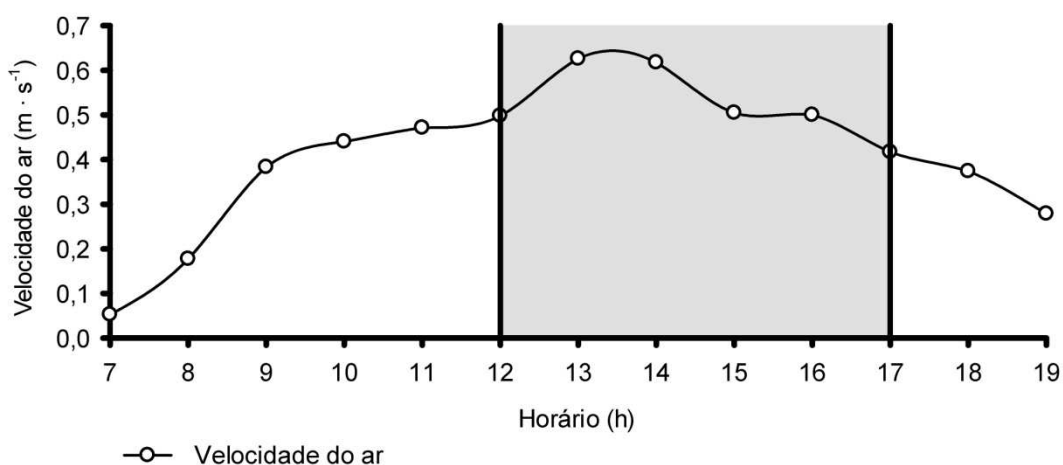


Figura 40 - Média das velocidades do ar em função do tempo, no interior dos protótipos de galpões avícolas.

Ainda com base na Figura 40 e entendendo-se como de interesse os horários compreendidos entre 12 e 15 horas, obteve-se o valor médio de velocidade do ar de 0,53 m/s. A partir deste coeficiente foi calculada a vazão de ar para o protótipo, sendo a Vazão (Q) = Velocidade do ar (m/s) x Seção do abrigo exposta a ventilação natural, em m² (obtida de 0,6 m de altura por 3,00 m de comprimento, ou seja, 1,8 m²). Desta forma, a taxa média de renovação

do ar que ocorreu via ventilação natural durante o período experimental foi de 0,95 m³/s.

Para o caso da avicultura industrial, diversos estudos realizados por Tinôco et al. (2004), Tinôco et al. (2003), Tinôco (2001) e Santos (2006) recomendam que, em condições de verão e nas horas mais quentes do dia, os valores de velocidade do ar podem chegar a até 2,5 m/s. No caso deste experimento a ventilação natural se deu à velocidade média 2,5 vezes menor que a máxima recomendada para aves.

Entretanto, mesmo com velocidade do ar média de 0,53 m/s⁻¹ foi suficiente para garantir um decréscimo de 8°C, na temperatura máxima do ar no tratamento F-TS-CA.

Infere-se, com base nos resultados desta pesquisa, que a ventilação adequada dentro de uma instalação é de extrema importância, pois é responsável pela dispersão do excesso de calor, e em situação real, além do calor, é responsável pela remoção do excesso de umidade e gases nocivos.

5.4. Temperatura superficial da telha – cortina fechada e aberta

As temperaturas da superfície superior da telha coletadas a cada intervalo de 1 hora, durante o período de 12 às 17 horas, para todos os dias experimentais e para as duas situações (cortina fechada e cortina aberta), encontram-se apresentadas na Tabela 12.

A partir da Tabela 12, observa-se que existe uma redução significativa na a temperatura superficial da telha de aço galvanizado comparada à telha de fibrocimento, tanto para a situação de cortina fechada quanto aberta. Este fato pode ser atribuído à alta refletividade da telha de aço galvanizado comparativamente a telha de fibrocimento. Resultados parecidos foram observados por Conceição et al. (2008).

Os valores médios e desvio padrão para a variável resposta temperatura média superficial da face superior das telhas, tanto para as situações de cortina fechada e cortina aberta, quanto entre aos diferentes tipos de associações para a mesma categoria de telhas, quanto entre telhas de diferentes categorias, são mostrados na Tabela 13.

Tabela 12 - Temperatura média superficial da telha em °C, durante o período de 12 às 17 horas, para os diferentes tratamentos e para as situações de cortina fechada e de cortina aberta, durante todo o período experimental

TEMPERATURAS (°C) na situação de Cortina Fechada (CF)						
Horário	G-IT-CF	F-IT-CF	G-FP-CF	F-FP-CF	G-TS-CF	F-TS-CF
12:00	18,46	45,46	17,94	44,40	21,03	44,40
13:00	23,03	48,71	23,49	48,66	24,77	47,57
14:00	21,69	48,57	22,91	48,51	22,54	47,23
15:00	21,66	47,03	24,06	48,14	25,66	47,23
16:00	22,49	47,89	23,23	47,74	25,34	47,23
17:00	22,03	42,63	22,77	42,46	25,49	43,49

TEMPERATURAS (°C) na situação de Cortina Aberta (CA)						
Horário	G-IT-CA	F-IT-CA	G-FP-CA	F-FP-CA	G-TS-CA	F-TS-CA
12:00	17,94	44,80	19,46	43,80	19,29	43,77
13:00	20,46	46,31	20,91	44,57	20,53	43,97
14:00	18,03	49,26	21,11	47,94	20,09	45,09
15:00	18,77	48,14	21,06	47,74	19,20	45,26
16:00	18,37	44,94	21,66	45,06	20,37	41,97
17:00	17,43	41,66	19,09	40,17	17,66	39,34

Nota: G – Telha de aço galvanizado; F – Telha de fibrocimento; IT – Forro com isolante térmico; FP – Forro de polietileno; TS – Sem forro (testemunha); CA – Cortina aberta; CF – Cortina fechada.

Tabela 13 - Temperatura média da superfície superior da telha e desvio padrão para as situações de cortina fechada e aberta: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha), CA (cortina aberta), CF (cortina fechada).

TEMPERATURAS(°C)		
Tratamento	Cortina Fechada (CF)	Cortina Aberta (CA)
G-IT	21,557 ± 4,359 ^a	18,500 ± 2,856 ^a
F-IT	46,714 ± 5,142 ^b	45,852 ± 3,678 ^b
G-FP	22,400 ± 4,770 ^a	20,54 ± 2,949 ^a
F-FP	46,652 ± 5,604 ^b	44,881 ± 4,312 ^b
G-TS	24,138 ± 4,277 ^a	19,521 ± 3,007 ^a
F-TS	46,190 ± 5,001 ^b	43,233 ± 4,070 ^b

Nota: ^{ab}ANOVA ou Teste t. com valores (média ± DP) seguidos da mesma letra, **entre todos os tratamentos**, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 13, verifica-se que os valores de temperatura da superfície superior das telhas galvalume, apresentaram comportamento estatisticamente similar, tanto para a situação de cortina fechada quanto de cortina aberta, assim como para a mesma telha em suas diferentes associações: material isolante, forro de polietileno e testemunha (apenas o material de cobertura). Ou seja, não houve diferença estatística entre nenhum dos casos mencionados.

O mesmo comportamento ocorreu para as telhas de fibrocimento. Ou seja, para o caso das telhas de fibrocimento não houve diferença estatística tanto para a situação de cortina fechada quanto de cortina aberta, assim como para a mesma telha em suas diferentes associações: material isolante, forro de polietileno e testemunha.

Comparativamente, verifica-se, também que os valores de temperatura superficial da superfície superior das telhas galvalume foi, estatisticamente, sempre inferior aos valores obtidos para o caso das telhas de fibrocimento, em todas as comparações mencionadas anteriormente, reforçando a melhor característica da mesma na reflexão da radiação solar direta e, conseqüentemente, na redução do sobreaquecimento do material, conforme ilustrado na Figuras 41 e 42.

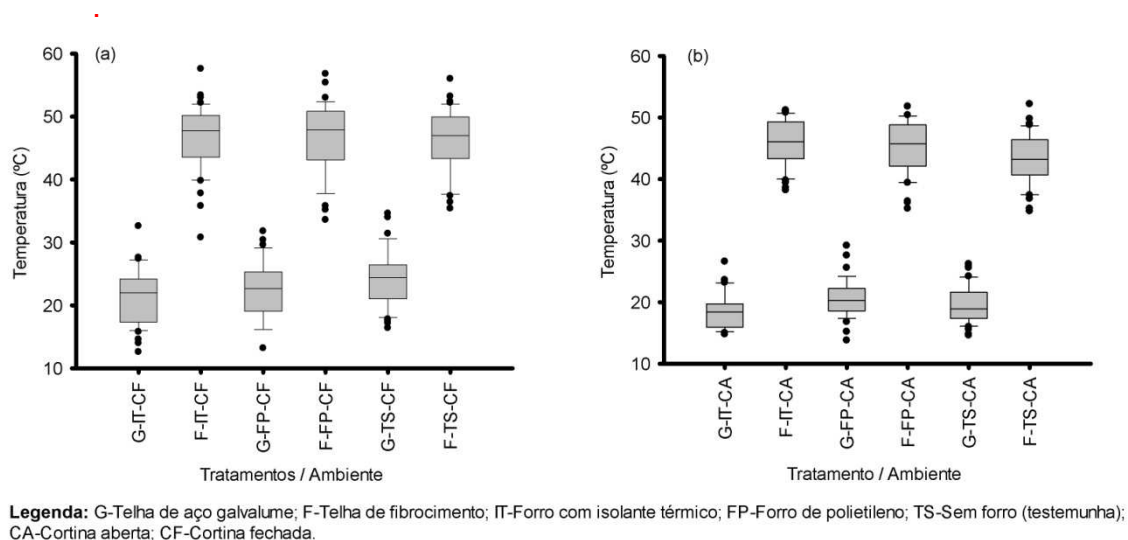
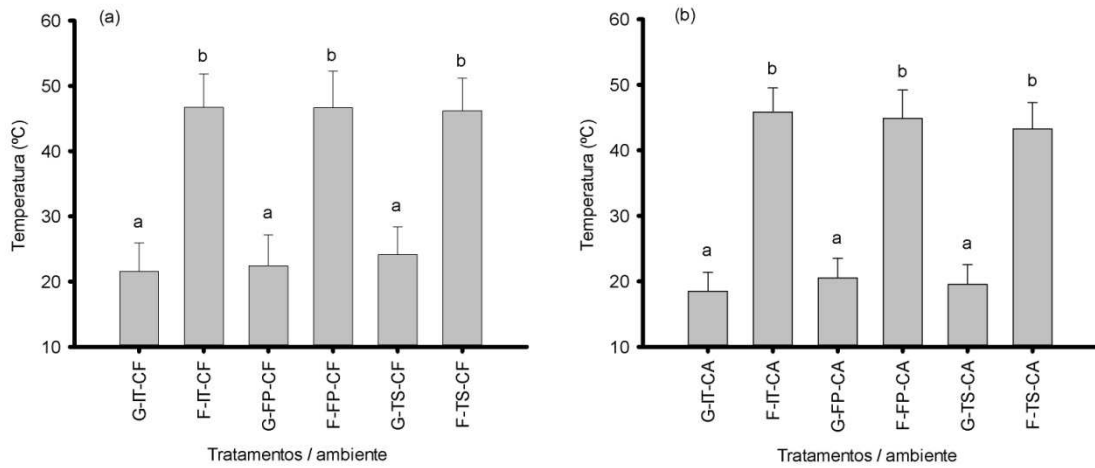
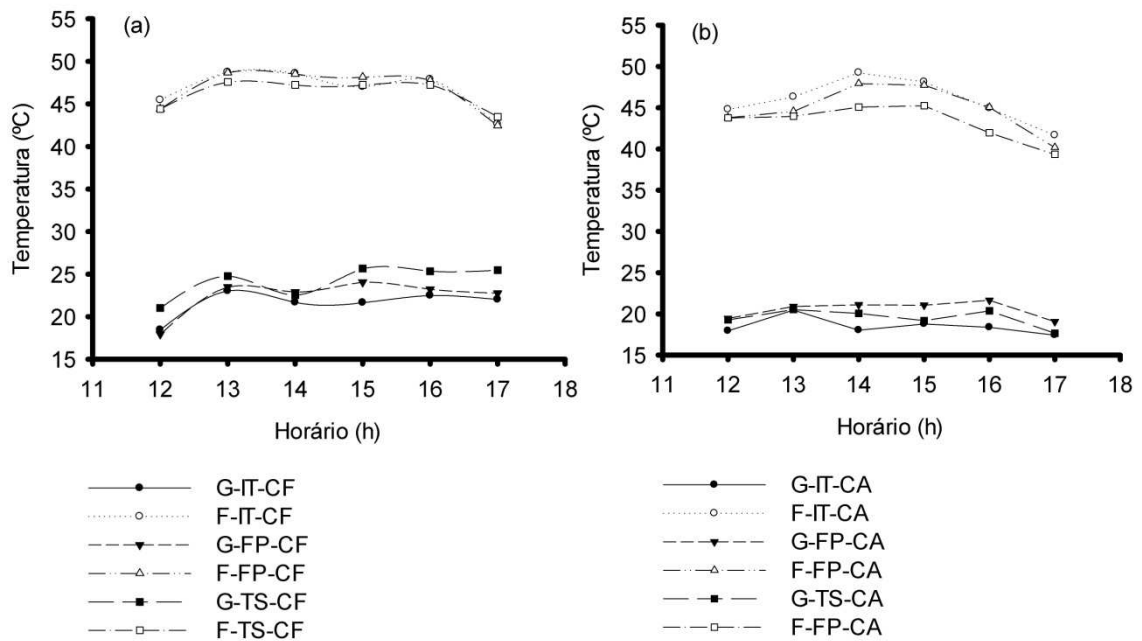


Figura 41 - Temperatura da superfície superior da telha de aço galvalume e fibrocimento, nos tratamentos, para a situação de cortina fechada (a) e aberta (b).



Legenda: G-Telha de aço galvalume; F-Telha de fibrocimento; IT-Forro com isolante térmico; FP-Forro de polietileno; TS-Sem forro (testemunha); CA-Cortina aberta; CF-Cortina fechada.

Figura 42 - Temperaturas médias da superfície superior das telhas de aço galvalume e fibrocimento, nos tratamentos, para a situação de cortina fechada (a) e aberta (b), entre todos os tratamentos.



Legenda: G-Telha de aço galvalume; F-Telha de fibrocimento; IT-Forro com isolante térmico; FP-Forro de polietileno; TS-Sem forro (testemunha); CA-Cortina aberta; CF-Cortina fechada.

Figura 43 - Temperaturas superficiais da telha para a situação cortina fechada (a) e cortina aberta (b).

No interior das telhas a transferência de calor ocorre por meio da condução realizada por contato entre as moléculas ou partículas das telhas. No período analisado, a direção do fluxo de calor foi descendente, isto é, da área externa para a área interna para ambas as telhas. Neste contexto, o fluxo de calor através das coberturas é a causa principal do desconforto no interior das instalações (ROSA, 1984).

Este fato é ruim para os sistemas de criação de aves e suínos adultos, os quais sofrem por sobreaquecimentos, uma vez que a energia térmica da superfície superior da telha é repassada para a superfície inferior da telha podendo elevar a temperatura interna da instalação, nas horas de maior estresse por calor.

A transmissão do calor entre a telha e o ar ambiente é influenciada pela movimentação do ar. O processo possui duas fases: na primeira, o calor se transmite por contato ou por condução; na segunda, a alteração sofrida pela temperatura do ar modifica sua densidade fazendo com que haja um movimento convectivo ascendente ou descendente.

5.5. Umidade relativa do ar no interior dos protótipos para as situações de cortina fechada e de cortina aberta

Para o estudo dos valores médios de umidade relativa do ar nos diferentes tratamentos, tanto para a situação de cortinas abertas quanto de cortinas fechadas, foi considerado o horário compreendido entre 12 às 17 horas, apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Valores médios horários de umidade relativa do ar no interior dos protótipos, na situação de cortina fechada e para cada tratamento: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para a situação de CF (cortina fechada)

Valores horários de Umidade Relativa do ar (%) em cada tratamento							
Horário	G-IT-CF	F-IT-CF	G-FP-CF	F-FP-CF	G-TS-CF	F-TS-CF	TA CF
12:00	56,03	59,64	54,35	51,58	48,34	41,80	58,86
13:00	52,46	56,18	49,87	46,89	43,90	36,30	53,61
14:00	50,23	53,54	47,36	44,43	41,43	32,97	50,27
15:00	48,98	52,43	46,55	43,36	40,89	33,40	48,52
16:00	46,66	50,74	43,75	40,35	37,99	32,44	44,01
17:00	46,90	51,06	44,05	40,82	39,95	35,56	45,39

Tabela 15 - Valores médios horários de umidade relativa do ar no interior dos protótipos, na situação de cortina aberta e para cada tratamento: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno) e TS (sem forro - testemunha), para a situação de CF (cortina fechada)

Valores horários de Umidade Relativa do ar (%) em cada tratamento							
Horário	G-IT-CA	F-IT-CA	G-FP-CA	F-FP-CA	G-TS-CA	F-TS-CA	TA CA
12:00	57,88	61,55	58,06	56,66	58,81	54,47	58,01
13:00	54,23	56,39	54,24	52,37	54,24	49,35	53,86
14:00	50,16	52,08	50,81	49,04	49,10	45,42	49,93
15:00	47,45	49,00	47,98	45,83	46,64	42,67	46,29
16:00	45,89	47,26	47,03	44,77	46,43	43,00	44,69
17:00	46,14	46,81	48,21	46,13	47,95	45,48	45,60

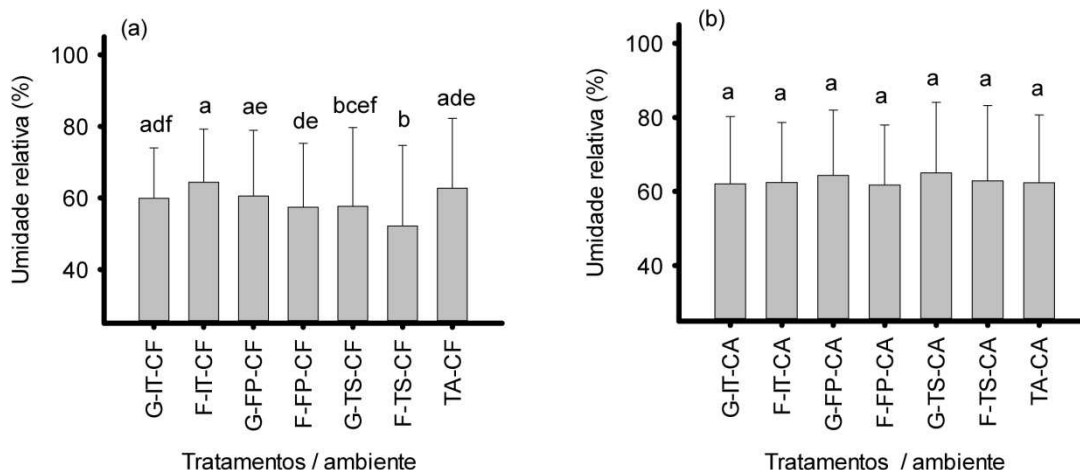
Os valores médios para a variável resposta U (%), Cortina fechada e cortina aberta são mostradas na Tabela 16 e ilustrada na Figura 44. Verifica-se que os valores médios de umidade relativa do ar não diferiram estatisticamente entre nenhum dos tratamentos no quais se manteve as cortinas abertas, o que era esperado, uma vez que a ventilação natural carrega o ar interno para fora do abrigo, mantendo os níveis de umidade em padrões aproximadamente equivalentes (no caso entre 62 e 64% aproximadamente) dependendo do

volume de ar extraído por unidade de tempo. Para o caso de cortinas fechadas os valores de umidade relativa do ar entre os tratamentos foram sem diferenças estatísticas significativas, mantendo-se, entretanto, numa faixa de amplitude maior do que a obtida para a situação de cortinas abertas (entre as faixas de 52 a 64%). Esta maior amplitude de umidade relativa do ar no interior dos abrigos fechados, comparativamente aos abrigos abertos, é explicada pelo fato de que ocorre um maior grau de influencia dos materiais de cobertura sob as variáveis do ambiente interno (temperatura e umidade), quando o ar interior do protótipo encontra-se aprisionado. No caso dos tratamentos com cortinas fechadas, apenas no tratamento F-TS-CF foi verificada diferença de U (%) em relação aos demais tratamentos, com valores menores que os demais, à exceção do G-TS-CF, o qual foi estatisticamente igual.

Tabela 16 - Umidade relativa média e desvio padrão – Situação de cortina Fechada e cortina aberta para os tratamentos: G (telha de aço galvanizado), F (telha de fibrocimento), IT (forro com isolante térmico), FP (forro de polietileno), TS (sem forro - testemunha), CA (cortina aberta), CF (cortina fechada) e TA (temperatura ambiente externo)

UMIDADE RELATIVA (%)		
Tratamento	Cortina Fechada (CF)	Cortina Aberta (CA)
G-IT	59,898 ± 14,089 ^{adf}	62,062 ± 18,183 ^a
F-IT	64,374 ± 14,856 ^a	62,407 ± 16,259 ^a
G-FP	60,554 ± 18,320 ^{ae}	64,335 ± 17,671 ^a
F-FP	57,415 ± 17,837 ^{de}	61,748 ± 16,198 ^a
G-TS	57,666 ± 21,975 ^{bcef}	65,034 ± 19,042 ^a
F-TS	52,129 ± 22,552 ^b	62,843 ± 20,356 ^a
TA	62,684 ± 19,538 ^{ade}	62,345 ± 18,348 ^a

Nota: ^{abcd} ANOVA ou Teste t. com valores (média ± DP) seguidos da mesma letra, **na coluna**, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.



Legenda: G-Telha de aço galvanizado; F-Telha de fibrocimento; IT-Forro com isolante térmico; FP-Forro de polietileno; TS-Sem forro (testemunha); CA-Cortina aberta; CF-Cortina fechada; TA-temperatura ambiente externo.

Figura 44 - Valores médios de Umidade relativa (%) para cada tratamento.

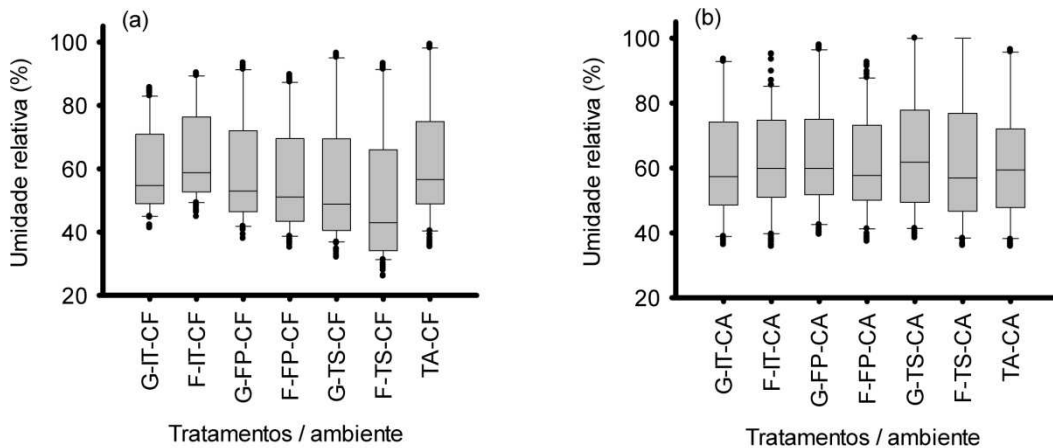
Medeiros et al. (2005) afirmam que a faixa de temperatura na zona de conforto térmico para frangos de corte criados em galpões convencionais é de 18 a 28°C com umidade relativa variando de 50 a 70% e velocidade do ar em torno de 1,0 a 2,5 m.s⁻¹. Contudo, Medeiros (2001) comenta que a máxima produtividade de frangos para as condições climáticas brasileiras é obtida, quando a temperatura está no intervalo de 21 e 29°C, com umidade relativa de 50 a 80% e velocidade do ar de 1,5 a 2,5 m.s⁻¹. Baêta e Souza (1997) e Tinôco et al. (2004) consideram como ideal a umidade relativa de 50 a 70%.

Segundo Vigoderis (2006), a umidade relativa tende a declinar consideravelmente quando a temperatura do ar atinge seus níveis mais altos durante o dia.

A média da umidade relativa do ar mensurada neste experimento permaneceu dentro dos limites sugeridos por Medeiros et al. (2005), Baêta e Souza (1997) e Tinôco et al. (2004), porém em determinados horários do dia apresentou índices que podem ocasionar ambiente inadequado a criação animal, especialmente se associados a altas temperaturas do ar.

Pela Figura 45 verifica-se que, na situação cortina fechada, a umidade relativa do ar apresentou variação maior do que na situação cortina aberta. Considerando que na situação de cortina fechada os tratamentos apresentaram valores de temperaturas maiores, como foi o caso dos tratamentos G-TS-CF e

F-TS-CF, a umidade relativa naturalmente decresceu de valor, o que era esperado, uma vez que, com o aquecimento do ar, as ligações que formam as moléculas de água se separam, gerando aumento de volume e consequentemente redução da umidade relativa.

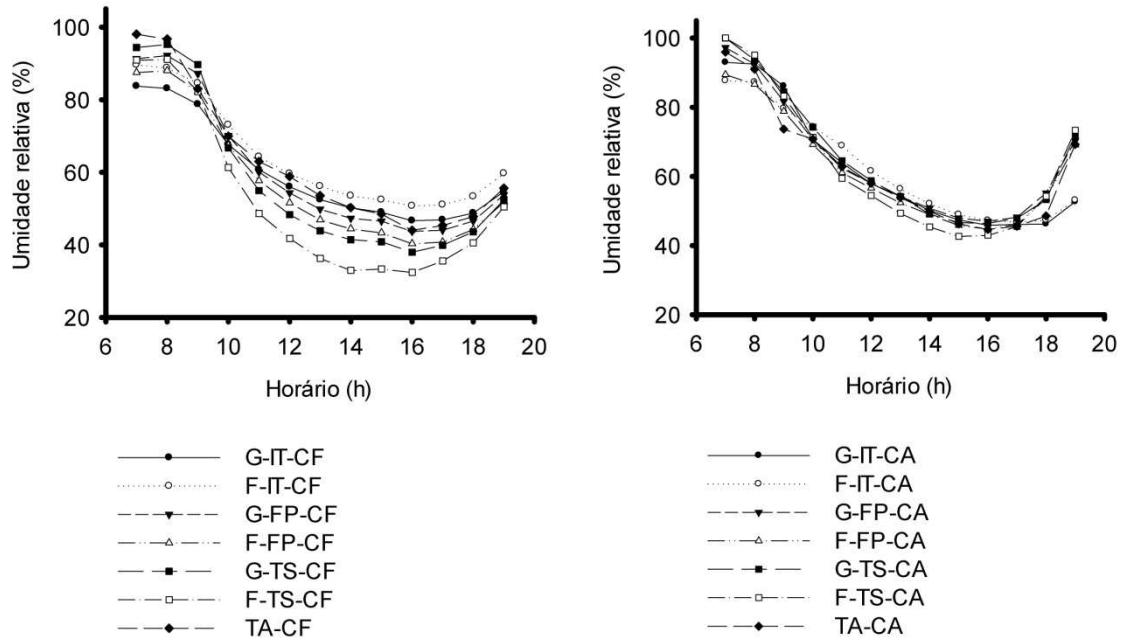


Legenda: G-Telha de aço galvanizado; F-Telha de fibrocimento; IT-Forro com isolante térmico; FP-Forro de polietileno; TS-Sem forro (testemunha); CA-Cortina aberta; CF-Cortina fechada; TA-temperatura ambiente externo.

Figura 45 - Umidade relativa (%) média entre os tratamentos. Cortina fechada (a) e cortina aberta (b).

Pode-se destacar que em valores absolutos, para a situação cortina fechada, os tratamentos G-IT-CF e F-IT-CF (com isolamento térmico sob a cobertura) apresentaram valores de umidade média maiores que os obtidos nos tratamentos G-TS-CF e F-TS-CF (sem isolamento). Um dos fatores está relacionado à temperatura. Os tratamentos G-IT-CF e F-IT-CF, em função do isolamento, apresentaram temperaturas menores que os protótipos G-TS e F-TS.

Pela Figura 46, pode-se verificar que os valores de umidade relativa do ar reduzem nos horários mais quentes do dia, conforme esperado. Resultados similares foram observados por Menegali (2009).



Legenda: G-Telha de aço galvanizado; F-Telha de fibrocimento; IT-Forro com isolante térmico; FP-Forro de polietileno; TS-Sem forro (testemunha); CA-Cortina aberta; CF-Cortina fechada; TA-temperatura ambiente externo.

Figura 46 - Médias horárias dos valores de umidade relativa do ar, em %, no interior dos protótipos submetidos aos diferentes tratamentos e nas situações de cortinas fechadas (CF) e de cortinas abertas (CA).

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzida esta investigação e com base nos resultados desta pesquisa pode-se concluir que:

- O uso de isolante térmico na face inferior de telhados de fibrocimento ou galvalume constitui a melhor opção no arrefecimento térmico de protótipos representativos de abrigos utilizados na produção animal, quando comparados a forros de polietileno.
- O forro em polietileno sob a cobertura com telha de aço galvalume e telha de fibrocimento, contribuiu significativamente na redução da temperatura média do ar no interior dos protótipos, constituindo importante medida para o conforto térmico em condições de calor.
- A renovação de ar em protótipos constitui importante medida na redução da temperatura interna dos ambientes de criação.
- Protótipos abertos, sujeitos a ventilação natural, possibilitam melhores condições em relação ao conforto térmico nos horários mais quentes do dia.
- As telhas de aço galvalume são significativamente melhores que as telhas de fibrocimento na minimização do sobreaquecimento advindo da carga térmica de radiação.
- A umidade relativa se manteve dentro das faixas consideradas como ideal para a produção avícola, com redução nos tratamentos com maior temperatura interna.

Recomenda-se que em trabalhos futuros, o isolante térmico seja utilizado em galpões avícolas com dimensões reais e com a criação de aves e que se realize a análise econômica com vistas à sua viabilidade:

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; DALLA COSTA, O.A. Avaliação de coberturas de cabanas de maternidade em sistema intensivo de suínos criados ao ar livre (Siscal), no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 1728-1734, 2001.
- AMARAL, A.G. et al. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 3, p. 649-658, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA – ABCEM. **Manual técnico**: telhas de aço. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS – ABEF. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/exibenotici_aubabef.php?notcodigo=3293>. Acesso em: 22 fev. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais**: conforto animal. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais**: conforto animal. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 269 p.
- BAIÃO, N.C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas, SP: FACTA, 1995. p. 67-75.
- BOND, T.E.; MORRISON, S.R.; GIVENS, R.L. Influence of surrounding on radiant heat load of animals. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 2, p. 246-248, 1969.

CARVALHO, V.F.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F.A.; MORAIS, S.R.P.; TINÔCO, I.F.F. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico e desempenho de frangos de corte em galpões climatizados. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 9, n. 2, p. 1-16, 2009.

CENTRAL DE INTELIGÊNCIA DE AVES E SUÍNOS – CIAS. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=15>. Acesso em: 20 fev. 2013.

CONCEIÇÃO, M.N.; ALVES, S.P.; TELATIN JÚNIOR, A.; SILVA, Iran J.O.; PIEDADE, S.M.S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; TONOLI, G. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.

COSTA, E.C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 264 p.

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

DAMASCENO, F.A. et al. Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 42, 2010a.

DAMASCENO, F.A. et al. Mudanças climáticas e sua influência na produção avícola. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 28, 2010b.

DAMASCENO, F.A.; YANAGI JUNIOR, T.; YANAGI, S.N.M.; FERREIRA JUNIOR, L.G.; SCHIASSI, L.; SILVA, G.C.A. Validação de um modelo matemático para a predição da eficiência de resfriamento evaporativo em sistemas de placas porosas umedecidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007.

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

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

ELANCO, Jeff Simmons. **Elanco saúde animal**. Disponível em: <<http://www.elanco.com.br/admin/documentos/Newsletters/53.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

FIORELLI, J.; MORCELI, J.A.B.; VAZ, R.I.; DIAS, A.A. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 204-209, 2009.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. 7.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

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

GOUTIER, M. **Avicultura brasileira encerra ano com superávit de vendas**. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia.php?id=94973>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

JENTZSCH, R. **Estudo de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KÖLTZSCH, P.; WALDEN, F. **Ähnlichkeitstheorie und modelltechnik**. Heft 1. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 1990.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/UFSC, 2006.

LEE, I.B.; YOU, B.K.; CHOI, K.H.; JEUN, J.G.; KIM, G.W. **Study of internal climate of naturally and mechanically ventilated broiler houses**. St. Joseph: ASAE, 2003. (ASAE Paper, 034060).

MAXIM. **OneWireViemer – user’s guide, version 1.3**. Dallas Maxim Semiconductor, 2009.

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

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

MENEGALI, I.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R.; GUIMARÃES, M.C.C.; CORDEIRO, M.B. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 984-990, 2009.

MORAES, S.R.P.; 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**. St. Joseph: ASAE, 2001. (ASAE Paper, 701P0201).

MORAES, S.R.P.; TINÔCO, I.F.F.; CECON, P.R.; BAÊTA, F.C. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

MURPHY, G.C.E. **Similitude in engineering**. New York: Ronald Press, 1950.

PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A. Estimativa do conforto de matrizes de frango de corte baseada em análise do comportamento de preferência térmica. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 315-321, 2005.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2.ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 1986. 240 p.

ROCHA, K.S.O. **Sistema computacional multiplataforma para armazenamento e transmissão remota de dados**. 2008. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUES, E.H.V. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente, na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida**. 1998. 178 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

ROSA, Y.B.C.J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão, para Viçosa - MG**. 1984. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAMPAIO, C.A.P.; CARDOSO, C.O.; SOUZA, G.P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Eng. Agríc. (online)**, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.

SANTOS, R.C.; TINÔCO, I.F.F.; SOUZA, S.R.L.; TOLON, Y.B.; BARACHO, M. Influência das coberturas de barro, alumínio e cimento amianto, no bem estar de aves e suínos, em condições de inverno. **Enciclopédia Biosfera**, n. 2, 2006.

SANTOS, P.A.; YANAGI JUNIOR, T.; TEIXEIRA, V.H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 575-584, 2005.

SANTOS, R.C.; TINÔCO, I.F.F.; PAULA, M.O.; CORDEIRO, M.B.; SILVA, J.N. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 142-146, 2002.

SARAZ, J.A.O.; MARTINS, M.A.; MARÍN, O.L.Z.; DAMASCENO, F.A.; VELASQUEZ, H.J.C. Una revisión acerca de la dinamica de fluidos computacionales (CFD) en instalaciones avícolas. **Dyna**, Medellín, v. 79, n. 175, p. 142-149, 2012.

STEIDLE NETO, A.J.; BAÊTA, F.C.; MARTINS, J.H.; ZOLNIER, S.; MONTEIRO, P.M.B. Avaliação da transmissão de dados de temperatura no sistema 1-wire™. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 29-36, 2005.

TIMMONS, M.B.; BAUGHMAN, G.R. Similitude analysis of ventilation by the stack effect from na open ridge livestock structure. **Transactions of the ASAE**, p. 1030-1034, 1981.

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. **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 de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

TINÔCO, I.F.F. A granja de frangos de corte. In: MENDES, A.A.; NÃÃS, I.A.; MACARI, M. (Eds.). **Produção de frangos de corte**. Campinas, SP: FACTA, 2004. p. 55-84.

TINÔCO, I.F.F.; GATES, R.S.; TINÔCO, A.L.A.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R.; XIN, H. **Evaluation of broiler breeder housing in high temperature Brazilian conditions**. St. Joseph: ASAE, 2003. (ASAE Paper, 034038).

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

TREFIL, J.S. **Física viva**: uma introdução à física conceitual. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1.

VIGODERIS, R.B. **Desenvolvimento de um protótipo para resfriamento adiabático evaporativo, em instalações climatizadas para animais, usando argila expandida**. 2002. 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

VIGODERIS, R.B. et. al. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. **R. Bras. Zootec.**, v. 39, n. 6, p. 1381-1386, 2010.

WRAY, C.; AKBARI, H. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 11-28, 2008.

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

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

ZULOVICH, J.M.; DESHAZER, J.A. Estimativy egg production declines at high enviromental temperatures and humidities. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1990, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph, 1990. p. 34. (Paper, 90.4021).