

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da tese de doutorado defendida por Edmundo Henrique Ventura Rodrigues e aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de abril de 1998. Campinas, 05 de junho de 1998.


Presidente da Banca

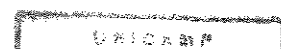
**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO
EVAPORATIVO, POR ASPERSÃO INTERMITENTE, NA COBERTURA DE
AVIÁRIOS USANDO MODELOS DE ESCALA DISTORCIDA**

Por: Edmundo Henrique Ventura Rodrigues
Orientador: Prof.^a Dr.^a Irenilza de Alencar Nääs

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola: Área de Concentração em Construções Rurais e Ambiente.**

Campinas - SP.

Abril-1998.



98/496

UNIDADE	80/134/98
N.º CHAMADA:	T/Unicamp
R618d	
V.	E4
TOMBO BC/	34481
PROC.	395/98
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	21/07/98
N.º CPD	

CM-00113307-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R618d

Rodrigues, Edmundo Henrique Ventura

Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente, na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida / Edmundo Henrique Ventura Rodrigues.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientadora: Irenilza de Alencar Nääs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Conforto térmico. 2. Ave - Criação. 3. Telhados – Resfriamento. I. Nääs, Irenilza de Alencar. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

A entrega de uma tese pronta corresponde a um momento de separação

Quem melhor me definiu o que é a separação de momentos bem vividos foi Gonzaguinha

Por isso uso seu poema para abrir este trabalho

*Para quem bem viveu o amor
Duas vidas que abrem
Não acabam com a luz
São pequenas estrelas que correm no céu
Trajetórias opostas
Sem jamais deixar de se olhar
É um carinho guardado
No cofre de um coração que voou
É um afeto deixado nas veias
De um coração que ficou
É a certeza da eterna presença
Da vida que foi na vida que vai
É saudade da boa
Feliz cantar*

Que as pessoas que conviveram comigo ao longo do desenvolvimento deste trabalho se

lembrem de mim com saudade da boa

AGRADECIMENTOS

Penso que, para quem trabalha numa Universidade, uma tese começa a nascer dentro do Departamento. Quero agradecer aos colegas que me incentivaram, me substituíram, e que acreditam, que o caminho para o crescimento do Departamento e da Universidade, passa pela capacitação cada vez maior do Corpo Docente.

Na família, agradeço, tanto aos que viam o meu estudo como uma curtição prazerosa, como os meus pais, meus irmãos e minhas filhas, quanto aos que sentiam o transtorno causado pela minha distância, como minha mulher e meu filho.

Na Feagri, agradeço, em especial, a minha orientadora Irenilza de Alencar Nãas, figura humana excepcional, que só quem conviveu com ela de perto consegue avaliar. Muito gosto me deu a parte de meu trabalho executado no Campo Experimental, onde tive contato com pessoas que trabalham com alegria, sempre rindo, contando casos engraçados, e no entanto, com competência e produtividade. Agradeço ao apoio fornecido pelas secretarias, tanto do Departamento de Construções Rurais, quanto da Pós-graduação, onde pontifica a figura da Aninha, de quem espero ter me tornado grande amigo.

E por falar em amigos agradeço aos amigos que fiz, ou melhor aos que se fizeram meus amigos, já que tenho um pouco de dificuldade de fazer amigos. Em especial, agradeço ao Luís Otávio e ao Mário Rolim a paciência que tiveram comigo.

SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO	I
DEDICATÓRIA	Ii
AGRADECIMENTOS	Iii
SUMÁRIO	Iv
LISTA DE TABELAS	Ix
LISTA DE FIGURAS	Xii
RESUMO	Xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. A avicultura como atividade econômica	5
3.2. O ambiente animal	8
3.3. O ambiente térmico	9
3.4. A instalação avícola	14
3.4.1. Influência dos elementos da construção	16
3.4.1.1. Materiais	16
3.4.1.2. Geometria	17
3.4.1.3. Orientação	18

3.4.1.4	Cobertura	20
3.5.	Modelos reduzidos	23
3.6.	Sistemas de controle ambiental	25
3.6.1.	Sistemas naturais	26
3.6.2.	Sistemas artificiais	29
3.6.2.1.	Ventilação forçada	29
3.6.2.2	O resfriamento evaporativo	33
3.6.2.2.1	Princípio de funcionamento	33
3.6.2.2.2.	Equipamento e material utilizado no resfriamento evaporativo	35
3.7.	Processos de transmissão de calor	38
3.7.1.	Transmissão de calor em regime permanente	39
3.7.2.	Transmissão de calor em regime transiente	42
3.7.3.	Troca de calor por radiação	44
3.7.4.	Determinação das propriedades térmicas dos materiais	47
3.7.4.1.	Condutibilidade, condutância e resistência térmica	47
3.7.4.2.	Calor específico, massa específica e capacidade térmica	47
3.7.4.3.	Difusibilidade e efusibilidade	48
3.8.	O animal	48
3.8.1.	Estressores	49
3.8.2.	Homeostase	49
3.8.3.	Homeotermia	51
3.8.3.1.	Balanço energético animal	52
3.8.3.2.	Balanço térmico animal	53
3.8.3.3.	Mecanismos de termorregulação	55
3.8.3.4.	Zona termoneutra para frangos de corte	55

3.8.3.4.1.	Temperatura	55
3.8.3.4.2.	Umidade relativa	59
3.8.3.4.3.	Combinação de variáveis ambientais	60
3.8.3.5.	Produção de calor por frangos de corte	61
3.9.	Índices de conforto térmico	65
3.9.1.	Índice de temperatura e umidade	66
3.9.2.	Índice de temperatura do globo negro e umidade	67
3.9.3.	Carga térmica radiante	67
3.9.4.	Índices de produtividade animal	68
3.9.5.	Índices fisiológicos animal	69
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	71
4.1.	Características da argamassa absorvente	72
4.1.1.	Características mecânicas da argamassa	73
4.1.2.	Características térmicas da argamassa	73
4.2.	Características da rede hidráulica	75
4.3.	Avaliação das condições ambientais	79
4.3.1.	Modelo reduzido	79
4.3.2.	Delineamento do experimento	79
4.3.2.1.	Tratamentos considerados	80
4.3.2.2.	Variáveis ambientais avaliadas	84
4.3.2.3.	Perfil de temperatura de globo negro	87
4.3.2.4.	Temperatura das telhas, paredes, cortina e cama	87
4.3.2.5.	Manejo do sistema de aspersão	90
4.3.2.6.	Condições de manejo da instalação	92
4.3.2.7.	Período da tomada de dados	93

4.4.	Avaliação da produtividade	94
4.5.	Análise da viabilidade econômica	95
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
5.1.	Características da telha absorvente	96
5.1.1.	Características mecânicas da argamassa de capeamento das telhas	96
5.1.2.	Características térmicas da argamassa de capeamento das telhas	97
5.1.3.	Características térmicas do cimento-amianto e da telha desenvolvida	97
5.1.4.	Características de consumo da telha desenvolvida	99
5.2.	Variáveis ambientais internas	99
5.2.1.	Tratamentos sujeitos à ventilação por termossifão	99
5.2.1.1.	Temperatura de globo negro	100
5.2.1.2.	Índice de temperatura de globo negro e umidade	102
5.2.1.3.	Carga térmica radiante	104
5.2.1.4.	Temperatura na face inferior da telha	105
5.2.2.	Tratamentos sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	107
5.2.2.1.	Temperatura de globo negro	108
5.2.2.2.	Índice de temperatura de globo negro e umidade	110
5.2.2.3.	Carga térmica radiante	112
5.2.2.4.	Temperatura na face inferior da telha	113
5.3.	Análise do comportamento da temperatura das telhas	115
5.3.1.	Temperatura da face superior da telha	115
5.3.2.	Temperatura da face inferior da telha	117
5.3.3.	Gradiente de temperatura na telha	119
5.4.	Variação da temperatura da água de aspersão	122
5.5.	Perfil da temperatura de globo negro	123

5.6.	Temperaturas superficiais da instalação	126
5.7.	Correlação entre temperatura de globo negro e de bulbo seco	128
5.8.	Radiação de onda longa absorvida pelos frangos	128
5.9.	Simulação da previsão de produção	130
5.10.	Estudo de viabilidade econômica	131
5.10.1.	Considerações econômicas	131
5.10.2.	Considerações climáticas	132
5.10.3.	Considerações de manejo	134
5.10.4.	Benefício de implantação do sistema	136
5.10.4.1.	Para condições de ventilação por termossifão	136
5.10.4.2.	Para condições de ventilação natural (vento + termossifão)	137
5.10.5.	Custo de implantação do sistema	138
5.10.6.	Relação custo-benefício de implantação do sistema de aspersão intermitente	141
6.	CONCLUSÕES	142
6.1.	Argamassa de cimento e vermiculita	142
6.2.	Ambiente interno da instalação	142
6.3.	Transferência de calor através das telhas	144
6.4.	Modelagem matemática e previsão de ganho de peso horário	144
6.5.	Viabilidade econômica de implantação do sistema	145
6.6.	Sugestões para trabalhos futuros	146
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
	ABSTRACT	158
	APÊNDICE	160

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1. Avicultura de corte em 1995	6
Tabela 3.2. Coeficientes técnicos na produção de frangos de corte	6
Tabela 3.3. Produção avícola dos estados das regiões centro-oeste, sul e sudeste ...	7
Tabela 3.4. Estatísticas de produção animal, para o Estado de São Paulo, para o ano de 1995	8
Tabela 3.5. Características de ventiladores axiais	33
Tabela 3.6. Propriedades térmicas de alguns materiais de construção	42
Tabela 3.7. Difusibilidade de alguns materiais de construção	44
Tabela 3.8. Efusividade de alguns materiais de construção	44
Tabela 3.9. Temperaturas ideais de acordo com a fase de criação	58
Tabela 3.10. Calor dissipado por frangos de corte para a zona termoneutra ($T = 20^{\circ}\text{C}$)	61
Tabela 3.11. Ingestão e excreção de alimento e água em função da temperatura	63
Tabela 3.12. Calor sensível, total e vapor d'água dissipado por frangos de corte (ALBRIGHT; 1990)	65
Tabela 3.13. Calor sensível, total e vapor d'água dissipado por frangos de corte (C.I.G.R.; 1984)	65
Tabela 4.1. Traços testados, em volume e em massa, para as argamassas absorventes	73
Tabela 4.2. Características térmicas de argamassas de cimento-vermiculita	74
Tabela 4.3. Características térmicas de telhas de cimento-amianto	74

Tabela 4.4.	Características técnicas da bomba hidráulica usada no experimento	77
Tabela 4.5.	Diâmetro máximo de molhamento do micro-aspersor utilizado no experimento	78
Tabela 4.6.	Dimensões dos modelos em escala e distorcidos	79
Tabela 5.1.	Características mecânicas de argamassas de cimento e vermiculita	96
Tabela 5.2.	Massa específica aparente (ρ), condutibilidade térmica (k), difusibilidade (α) e efusibilidade (β) de argamassas de cimento e vermiculita, em função do traço	97
Tabela 5.3.	Massa específica aparente (ρ), condutibilidade térmica (k), difusibilidade (α) e efusibilidade (β) do cimento-amianto	98
Tabela 5.4.	Resistência, amortecimento e retardo térmico para telhas comerciais de cimento-amianto e para telhas compostas de chapas de cimento-amianto cobertas com argamassa de cimento-vermiculita, no traço 1:4	98
Tabela 5.5.	Consumo de materiais, por m^2 , da telha desenvolvida	99
Tabela 5.6.	Temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	102
Tabela 5.7.	Índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	103
Tabela 5.8.	Carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	105
Tabela 5.9.	Temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	107
Tabela 5.10.	Temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	110
Tabela 5.11.	Índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	111
Tabela 5.12.	Carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	113
Tabela 5.13.	Temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	114
Tabela 5.14.	Temperatura na face superior das telhas em função do tratamento	117
Tabela 5.15.	Temperatura na face inferior das telhas em função do tratamento	118

Tabela 5.16. Correlação entre T_{gn} e T_{bs} para os tratamentos T1, T2 e T4	128
Tabela 5.17. Temperaturas de superfície de frangos de corte	129
Tabela 5.18. Temperatura na face inferior das telhas para condições de ventilação por termossifão	129
Tabela 5.19. Condições climáticas do Município de Campinas	133
Tabela 5.20. Uso potencial do sistema de aspersão intermitente	133
Tabela 5.21. Peso diário para frangos de corte, para última semana de criação, para condições de ventilação natural por efeito de termossifão	136
Tabela 5.22. Peso diário para frangos de corte, para última semana de criação, para condições de ventilação natural por efeito de vento mais termossifão ..	138
Tabela 5.23. Planilha de custos de implantação do sistema de aspersão	139
Tabela 5.24. Planilha de custos de uso e manutenção do sistema de aspersão	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1. Variação diária da temperatura (a) e da umidade (b) do ar (TUBELLIS e NASCIMENTO, 1986)	12
Figura 3.2. Curso médio anual da temperatura do ar (TUBELLIS e NASCIMENTO, 1986)	13
Figura 3.3. Ventilação por termossifão. Plano neutro e diagrama de pressões estáticas	28
Figura 3.4. Processo de ventilação mostrando o balanço de energia (a) e de massa (b)	31
Figura 3.5. Gráfico psicrométrico mostrando o processo adiabático de resfriamento evaporativo	34
Figura 3.6. Equipamento individual utilizado em resfriamento evaporativo	35
Figura 3.7. Sistema de resfriamento evaporativo com parede porosa	36
Figura 3.8. Sistema de resfriamento evaporativo utilizando aspersão	37
Figura 3.9. Mecanismos de transmissão de calor em regime permanente	41
Figura 3.10. Representação do amortecimento e do retardo térmico	43
Figura 3.11. Integração das respostas comportamentais (MACARI <i>et al.</i> , 1994)	50
Figura 3.12. Relação entre produção de calor animal e temperatura ambiental	54
Figura 3.13. Respostas ao intercâmbio de calor e fixação da temperatura corporal (MACARI <i>et al.</i> , 1994)	57
Figura 3.14. Produção de calor total, sensível e latente por frangos de corte	63
Figura 3.15. Calor latente devido à água evaporada da cama	64

Figura 4.1.	Modelo em escala reduzida e distorcida com cobertura de telhas absorventes e rede de micro-aspersores	71
Figura 4.2.	Detalhe da telha absorvente	72
Figura 4.3.	Croqui dos aspersores e da rede hidráulica	75
Figura 4.4.	Fotos com os componentes da rede hidráulica. Tubulação sob o telhado e micro-aspersores (a), bomba d'água registro de agulha, válvula de retenção, filtro de linha e manômetro (b), caixa d'água, filtro de linha e manômetro (c)	76
Figura 4.5.	Micro-aspersor utilizado no experimento. Componentes do micro-aspersor (a), furação do tubo (b), colocação da base (c), conjunto montado (d)	78
Figura 4.6.	Foto do modelo reduzido em escala distorcida	80
Figura 4.7.	Planta baixa, corte transversal e fachada dos modelos reduzidos	81
Figura 4.8.	Localização relativa dos tratamentos experimentais	82
Figura 4.9.	Fotos com esquema da simulação da geração de calor (a) e umidade (b)	83
Figura 4.10.	Interior do abrigo meteorológico com sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa	84
Figura 4.11.	Anemômetros de fio quente para medida da velocidade do ar externo e interno	85
Figura 4.12.	Sistema de aquisição de dados com 32 canais. Vista geral (a), interface e conexões (b)	86
Figura 4.13.	Pontos de tomada de temperatura nas telhas e no ar interno	88
Figura 4.14.	Termômetros de globo negro colocados ao longo da altura dos modelos reduzidos	89
Figura 4.15.	Termômetro de 12 canais com termopar de ferro-constantan	90
Figura 4.16.	Detalhe do uso da pasta térmica para contato do sensor de temperatura (termistor) com a telha de cimento-amianto. Vista superior (a), vista inferior (b)	91
Figura 4.17.	Detalhe do temporizador de tempo combinado	92
Figura 4.18.	Detalhe de manejo das cortinas	93
Figura 5.1.	Condições ambientais externas no período de 09 à 15 de abril de 1997	100

Figura 5.2.	Variação da temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	101
Figura 5.3.	Variação do índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	103
Figura 5.4.	Variação da carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	104
Figura 5.5.	Variação da temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão	106
Figura 5.6.	Condições ambientais externas no período de 16 à 25 de abril de 1997	107
Figura 5.7.	Variação da temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	109
Figura 5.8.	Variação do índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	111
Figura 5.9.	Variação carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	112
Figura 5.10.	Variação da temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)	114
Figura 5.11.	Condições ambientais externas no período de 01 à 03 de maio de 1997	115
Figura 5.12.	Variação da temperatura na face superior das telhas em função do tratamento	116
Figura 5.13.	Variação da temperatura na face inferior das telhas em função do tratamento	118
Figura 5.14.	Gradiente de temperatura nas telhas. Tratamento 1 (a), tratamento 2 (b), tratamento 3 (c) e tratamento 4 (d)	121
Figura 5.15.	Variação da temperatura da água de aspersão ao longo do dia	123
Figura 5.16.	Perfil da temperatura de globo negro no interior dos modelos reduzidos. Às 9 h (a), às 12 h (b), às 14 h (c) e às 17 h (d)	125
Figura 5.17.	Temperaturas superficiais dos planos que constituem a envoltória dos modelos reduzidos	127
Figura 5.18.	Variação do ganho de peso de frangos de corte para condições de ventilação de vento + termossifão	131
Figura 5.19.	Corte longitudinal da edificação, mostrando a instalação hidráulica, com detalhe do bombeamento	134

Figura 5.20. Planta baixa mostrando o posicionamento dos micro-aspersores e tubulação de distribuição d'água	135
---	-----

RESUMO

A avicultura tecnificada está exigindo cada vez mais o controle das condições de conforto térmico das instalações, devido ao uso de aves de alto potencial genético, alto nível energético das dietas e aumento das taxas de ocupação. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema de resfriamento na cobertura, de natureza evaporativa, com uso de aspersão intermitente e de uma telha absorvente d'água, em instalações destinadas à produção de frangos de corte. Foram testados quatro tratamentos: T1 – cobertura com telhas onduladas de cimento-amianto, capeadas com argamassa absorvente de cimento-vermiculita, sujeita à aspersão intermitente (5 minutos molhando / 10 minutos secando); T2 – cobertura com telhas onduladas de cimento-amianto sujeita à aspersão intermitente; T3 - cobertura com telhas onduladas de cimento-amianto, capeadas com argamassa absorvente de cimento-vermiculita; T4 - cobertura com telhas onduladas de cimento-amianto (testemunha). A avaliação das condições ambientais foi feita, para condições climáticas de meia estação correspondente a clima quente e seco, em modelos reduzidos em escala distorcida, que simulavam as instalações avícolas, por meio da temperatura de globo negro (T_{gn}), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e da carga térmica radiante (CTR). A produtividade zootécnica foi avaliada por meio do ganho de peso, pelo programa computacional Pro-Frango, para as condições ambientais propiciadas pelo sistema de resfriamento desenvolvido. Tanto para a condição de ventilação natural deficiente, quanto para a condição de ventilação natural mais acentuada, a T_{gn} , o

ITGU e a CTR apresentaram diferenças de grande magnitude e estatisticamente significativas, entre os tratamentos que usaram o sistema de resfriamento com uso de micro-aspersão intermitente e os que não usaram. Quando se comparam os tratamentos que utilizaram o sistema de resfriamento, verifica-se que as diferenças entre as grandezas térmicas analisadas, já não se apresentaram tão acentuadas, embora sejam até significativas estatisticamente para algumas horas do dia. Como comportamento geral, pode-se afirmar que, pela parte da manhã, o tratamento com uso de aspersão e capeamento absorvente nas telhas, apresentou valores de T_{gn} , ITGU e CTR que indicam melhores condições de conforto térmico. Na parte intermediária do dia ocorre uma inversão de comportamento, sendo o tratamento com aspersão e sem capeamento o que apresentou melhores condições de conforto térmico. No final da tarde, ocorre nova inversão de comportamento, com o tratamento com micro-aspersão e capeamento das telhas apresentando valores de T_{gn} , ITGU e CTR mais favoráveis. Sob o ponto de vista econômico sugere-se o uso da micro-aspersão intermitente e da telha ondulada de cimento-amianto, tendo o sistema o potencial de propiciar o retorno econômico seguinte: a) O acréscimo de ganho de peso diário, durante a última semana de criação (42 aos 49 dias), variou de 58 g/dia.ave, para uma instalação com ventilação deficiente, a 28 g/dia.ave, para uma instalação bem ventilada, sujeita ao efeito de vento e termossifão; para casos de ventilação muito deficiente verificou-se que o sistema se paga com a criação de 4 lotes de frangos, enquanto que, para situações de melhores condições de ventilação natural, verificou-se que o sistema se paga com a criação de cerca de 8 lotes de frangos.

1. INTRODUÇÃO

A carência de proteína animal para alimentar grande parte da população humana tem levado cada vez mais à especialização da atividade zootécnica, no sentido de se conseguir maior produção, com menor custo e no menor tempo. A produção de aves apresenta grande potencial de transformação de alimento de natureza vegetal em proteína de alta qualidade, na forma de carne e ovos. A produção de frangos de corte é uma atividade industrial com aplicação intensiva de capital e tecnologia. Progressos notáveis têm sido atingidos quanto à genética, nutrição, sanidade e manejo. No entanto, a mesma atenção não tem sido dada ao projeto das instalações.

Instalações adequadamente projetadas ocasionam melhores condições de manejo e de conforto térmico, com reflexos em melhor sanidade e produtividade animal. Nas regiões tropicais, a alta intensidade de radiação solar incidente, associada à alta temperatura e alta umidade relativa do ar, ocasionam condições de desconforto térmico no interior da instalação. Especificamente na produção de frangos de corte, em que pese a situação do Brasil como segundo maior produtor mundial, muitas perdas têm ocorrido em consequência de condições térmicas desfavoráveis, agravadas, sob o ponto de vista econômico, pela circunstância de maior incidência de mortalidade na fase final da criação.

A globalização da economia tem provocado aumento crescente de competitividade no setor avícola, ocasionando, por questões até mesmo de sobrevivência, maior tecnificação da atividade, dando-lhe uma feição industrial, com aplicação intensa de equipamentos e

automação da linha produtiva. O alto investimento em equipamentos, tais como, silos armazenadores de ração, comedouros e bebedouros automatizados e sistemas de climatização, obriga a otimização das instalações de modo a aproveitar todo o potencial dos equipamentos e conseguir-se sua amortização no menor tempo possível. Nesse sentido, tem-se notado mudanças de manejo na avicultura tecnificada, tais como, aumento da densidade de criação, tendo-se como metas o alojamento de até 20 aves por m² e o uso de galpões de alojamento de grandes dimensões, com larguras de 15 a 20 m e comprimentos de 100 a 150 m.

Esse novo tipo de manejo exige que as instalações disponham de um ambiente controlado ou semi-controlado, devido à grande quantidade de calor e vapor d'água gerados pelos animais, e que seja mantida a qualidade do ar em relação à quantidade de amônia, gás carbônico, gás sulfídrico, poeiras e agentes patogênicos.

Além do controle ambiental passivo, proporcionado pela envoltória da construção, diversos sistemas têm sido desenvolvidos com o objetivo de controlar as variáveis climáticas no interior das instalações avícolas, dentre as quais pode-se citar: ventilação, refrigeração, desumidificação, aspersão e resfriamento evaporativo.

No resfriamento evaporativo, o ar é forçado através de um material poroso, continuamente umedecido com água, ocorrendo vaporização desta, com conseqüente redução da temperatura. No entanto, tal sistema implica em aumento da umidade relativa do ar, o que provoca diminuição na possibilidade de troca de calor por via latente, bem como o aumento de doenças ocasionadas por fungos, quando a umidade relativa do ar atinge valores superiores a 80%. O desenvolvimento de um sistema de resfriamento evaporativo fora do ambiente animal, propicia as vantagens da redução de temperatura sem o aumento da umidade relativa do ar interno.

Ao se desenvolver equipamentos e sistemas de controle ambiental deve-se ter em

mente, além de suas condições de aplicabilidade, a relação custo/benefício. Não basta que o sistema seja bem concebido, durável, funcional e de fácil manejo. Seu uso deve resultar em maior retorno econômico em relação ao sistema que pretende-se substituir, o que no caso da avicultura de corte significa maior ganho de peso com menor consumo alimentar (menor conversão alimentar), com maior taxa de viabilidade e menor uso de medicamentos.

O desenvolvimento de pesquisas com instalações em escala natural apresenta custo elevado, devido as grandes dimensões das instalações avícolas. O uso de modelos reduzidos em escala distorcida tem sido adotado para reproduzir instalações com grande discrepância de dimensões entre as dimensões horizontais e verticais, como é o caso de instalações avícolas.

2. OBJETIVO

Considerando os aspectos citados anteriormente, é importante o desenvolvimento de sistemas que utilizem a vantagem da redução da temperatura ambiente, como ocorre no resfriamento evaporativo, sem contudo permitir que o ar com alta umidade seja introduzido no interior das instalações. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um sistema de resfriamento na cobertura, de natureza evaporativa, com uso de aspersão intermitente e de uma telha absorvente de água, na cobertura de instalações destinadas à produção de frangos de corte, via modelos em escala distorcida, sendo a avaliação feita por meio de índices de conforto térmico e de produtividade zootécnica.

Como objetivos específicos tem-se:

1. obtenção das propriedades térmicas e mecânicas do material utilizado no sistema de cobertura desenvolvido;
2. descrição do processo de transferência de calor do meio ambiente para o espaço interno para as condições do sistema de resfriamento desenvolvido;
3. descrição do processo de transferência de calor por radiação entre os frangos e a cobertura do aviário;
4. obtenção do modelo matemático que descreve a previsão de produção em função das condições ambientais da instalação;
5. avaliar a viabilidade econômica de implantação do sistema de resfriamento para avicultura de corte.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A avicultura como atividade econômica

Há cerca de meio século atrás a acanhada avicultura brasileira, praticamente restringia-se a produção de ovos, concentrando-se na região da Grande São Paulo, enquanto a produção de frangos de corte era uma atividade de “fundo de quintal”, sendo os excedentes da produção familiar comercializados.

Hoje a avicultura é uma atividade com uso intensivo de capital e tecnologia, incorporando a mais avançada tecnologia mundial nas áreas de genética, nutrição, manejo, sanidade e equipamentos. Este avanço tecnológico permitiu que, em 1990, fosse produzido um frango com 1,94 kg e conversão alimentar de 1,96, e poedeiras comerciais produzindo 304 ovos por ano, consumindo 1,5 kg de ração por dúzia de ovos. Nesse mesmo período, a produção avícola brasileira rompeu as barreiras do mercado interno, ganhando espaço nos mais sofisticados e exigentes mercados mundiais. Hoje, produz 3,2 milhões de toneladas de carne de frangos, dos quais 372 mil toneladas destinam-se à exportação, e 14,2 bilhões de ovos, ocupando o setor cada vez mais importância na economia e movimento US\$ 9 bilhões por ano. (ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE AVICULTURA, 1993). A tabela 3.1. mostra uma síntese da avicultura de corte brasileira, no ano de 1995 (APINCO, 1996) e a tabela 3.2., a evolução dos coeficientes técnicos da produção de frangos de corte entre 1985 e 1995 (ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE AVICULTURA, 1996).

Tabela 3.1. - Avicultura de corte em 1995.

		Variação sobre 1994
Produção de pintos de corte	2,537 bilhões	9,18%
Produção de carne de frango	4.050.449 t	17,7%
Exportação de carne de frango	433.744 t	9,8%
Disponibilidade interna de carne de frango	3.616.705 t	23,4%
Consumo per capita de carne de frango	23,2 kg	22,1%

Tabela 3.2. - Coeficientes técnicos na produção de frangos de corte.

Coeficientes	1985	1995	Variação (%)
Conversão alimentar	2,25	2,00	-11
Peso de abate (kg)	1,80	2,16	+20
Peso da carcaça (kg)	1,50	1,66	+11
Ganho de peso diário (g)	36,00	44,00	+23,6
Consumo total de ração (kg)	4,05	4,36	+8,0
Dias de criação	49	49	0,0
Lote econômico	12.000	15.000	+25,0

Nos estados das regiões sul e sudeste do Brasil concentra-se a maior parte da produção avícola do país, notando-se, no entanto, atualmente, grande crescimento de produção na região centro-oeste, seguindo uma tendência mundial da produção avícola se concentrar junto aos grandes centros produtores de milho. Na tabela 3.3., adaptada de AVICULTURA INDUSTRIAL (1995), encontram-se os dados de produção avícola dessas regiões para o ano de 1995.

Analisando-se a tabela 3.3., verifica-se que a região sudeste e, em especial, o Estado de São Paulo ocupa uma posição de destaque em relação à produção avícola nacional. Dentro do Estado de São Paulo, a Região Regional Agrícola de Campinas, que engloba as regiões produtoras em torno de Campinas, incluindo as sub-regiões de São João da Boa Vista, Rio Claro, Limeira, Piracicaba, Jundiaí e Bragança Paulista, é a 2ª maior produtora de ovos comerciais e a maior produtora de carne de frango, contribuindo com 21% da produção de ovos e 33% da produção de carne de frango no Estado de São Paulo, conforme mostrado na tabela 3.4. (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 1996).

Tabela 3.3. - Produção avícola dos estados das regiões centro-oeste, sul e sudeste (1995).

CENTRO-OESTE					
	MS	MT	GO	DF	Total
Alojamento matrizes (corte)	55.408	211.450	----	470.913	----
Produção de pintos	6.148.491	15.281.110	----	8.630.769	----
Produção de carne de frango (t)	----	----	54.000	----	----
Alojamento de pintos de postura	344.480	122.290	1.068.786	502.308	2.037.864
Alojamento de matrizes (postura)	----	----	----	----	----
Total de ovos (cx. c/ 30 dúzias)	----	----	2.376.000	936.000	----
Plantel poedeiras	623.585	256.011	2.293.792	1.235.153	4.408.541
SUL					
	RS	SC	PR	----	Total
Alojamento matrizes (corte)	2.461.451	2.223.447	2.852.972	----	7.537.870
Produção de pintos	187.311.000	456.000.000	203.334.005	----	846.645.005
Produção de carne de frango (t)	----	540.000	----	----	
Alojamento de pintos de postura	2.502.206	651.203	3.268.384	----	6.421.793
Alojamento de matrizes (postura)	38.820	400.000	24.200	----	463.020
Total de ovos (cx. c/ 30 dúzias)	----	1.248.000	----	----	----
Plantel poedeiras	5.164.454	1.590.600	6.721.310	----	13.476.364
SUDESTE					
	SP	RJ	MG	ES	Total
Alojamento matrizes (corte)	2.992.834	105.636	3.500.000	270.000	6.868.470
Produção de pintos	279.882.394	7.792.260	300.000.000	36.000.000	623.674.654
Produção de carne de frango (t)	----	----	150.000	10.800	----
Alojamento de pintos de postura	11.994.550	482.963	5.050.000	1.100.000	18.627.513
Alojamento de matrizes (postura)	282.943	----	210.000	----	----
Total de ovos (cx. c/ 30 dúzias)	----	----	4.400.000	760.000	----
Plantel poedeiras	24.202.530	912.451	6.500.000	1.560.000	33.174.981

Tabela 3.4. - Estatísticas de produção animal, para o Estado de São Paulo (1995).

Divisão Regional Agrícola	Plantel postura (un)	Produção de ovos (dz)	Plantel corte (un)	Produção de carne (t)
Registro	55.000	1.130.000	20.000	680
São José dos Campos	3.250.000	66.250.000	2.170.000	30.950
Sorocaba	2.875.000	55.860.000	15.110.000	152.260
Campinas	6.900.000	141.070.000	30.340.000	238.150
Ribeirão Preto	1.210.000	26.520.000	1.460.000	12.650
Bauru	2.190.000	35.210.000	4.200.000	34.940
São José do Rio Preto	495.000	9.730.000	5.220.000	51.390
Araçatuba	3.530.000	74.780.000	280.000	3.760
Presidente Prudente	3.580.000	70.030.000	745.000	5.100
Marília	9.360.000	144.590.000	285.000	5.635
Vale do Paranapanema	1.230.000	27.610.000	1.480.000	2.280
Barretos	105.000	1.510.000	100.000	195
São Carlos	395.000	5.920.000	14.880.000	158.120
Franca	175.000	3.090.000	1.800.000	15.890
Estado	35.350.000	663.300.000	78.650.000	712.500

3.2. O ambiente animal

O ambiente animal é constituído do efeito combinado, entre outros, dos seguintes elementos: variáveis termodinâmicas do ar ambiente, chuva, luz, som, poluição, densidade de alojamento animal e condições de alimentação. O ambiente térmico animal é função das variáveis termodinâmicas do ar, tais como: temperatura, umidade e velocidade do ar, bem como, da intensidade de radiação solar (BAÊTA *et al.*, 1992). PERDÔMO (1995), citando Baldwin (1979), dividiu os componentes ambientais em físicos (temperatura, umidade, ventilação) e sociais (hierarquia, tamanho e composição do lote) acrescentando a estes o item manejo (dieta e formas de arração). O ambiente físico, por abranger os elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de calor, a regulação e o balanço térmico entre o animal e o meio, exerce forte influência sobre o desempenho e a saúde dos animais (ASHRAE, 1981).

Ao se projetar instalações zootécnicas, em regiões de clima tropical, atenção especial deve ser dada ao ambiente térmico animal, de modo a propiciar condições de conforto térmico que levem a maior produtividade, cujos principais fatores de desconforto são condições térmicas inadequadas e alta taxa de aves por metro quadrado (NÄÄS, 1995).

A alta temperatura associada tanto à alta quanto à baixa umidade relativa do ar, a altos níveis de radiação solar e a baixos níveis de velocidade do ar, ocasiona condições estressantes, sendo fator limitante da produtividade animal.

O ambiente interno da instalação é afetado de maneira intensa pela presença das aves, podendo estas serem consideradas como fator modificador do ambiente. A grande quantidade de calor e de umidade, gerada no processo de termorregulação das aves, ocasiona condições de temperatura e umidade relativa interna com valores superiores aos externos (RODRIGUES e ARAUJO, 1995).

3.3. O ambiente térmico

O conhecimento das variáveis climáticas ambientais é de importância fundamental para o desenvolvimento de projetos de instalações agrícolas, quanto ao aspecto do conforto ambiental. Os processos de transmissão de calor, que ocorrem entre os animais homeotérmicos e o ambiente, são função da temperatura, umidade e velocidade do ar, bem como da intensidade de radiação solar, no entanto, a temperatura tem papel preponderante no estabelecimento das condições de conforto térmico.

Dados recolhidos de estações meteorológicas têm sido sistematizados em termos de valores máximos, mínimos e médios. No entanto, devido à natureza tipicamente inconstante das variáveis meteorológicas (MATTOS *et al.*, 1989), tanto no aspecto diário quanto no anual, tais dados, embora sejam uma boa referência para anteprojetos, não correspondem à

Ao se projetar instalações zootécnicas, em regiões de clima tropical, atenção especial deve ser dada ao ambiente térmico animal, de modo a propiciar condições de conforto térmico que levem a maior produtividade, cujos principais fatores de desconforto são condições térmicas inadequadas e alta taxa de aves por metro quadrado (NÄÄS, 1995).

A alta temperatura associada tanto à alta quanto à baixa umidade relativa do ar, a altos níveis de radiação solar e a baixos níveis de velocidade do ar, ocasiona condições estressantes, sendo fator limitante da produtividade animal.

O ambiente interno da instalação é afetado de maneira intensa pela presença das aves, podendo estas serem consideradas como fator modificador do ambiente. A grande quantidade de calor e de umidade, gerada no processo de termorregulação das aves, ocasiona condições de temperatura e umidade relativa interna com valores superiores aos externos (RODRIGUES e ARAUJO, 1995).

3.3. O ambiente térmico

O conhecimento das variáveis climáticas ambientais é de importância fundamental para o desenvolvimento de projetos de instalações agrícolas, quanto ao aspecto do conforto ambiental. Os processos de transmissão de calor, que ocorrem entre os animais homeotérmicos e o ambiente, são função da temperatura, umidade e velocidade do ar, bem como da intensidade de radiação solar, no entanto, a temperatura tem papel preponderante no estabelecimento das condições de conforto térmico.

Dados recolhidos de estações meteorológicas têm sido sistematizados em termos de valores máximos, mínimos e médios. No entanto, devido à natureza tipicamente inconstante das variáveis meteorológicas (MATTOS *et al.*, 1989), tanto no aspecto diário quanto no anual, tais dados, embora sejam uma boa referência para anteprojetos, não correspondem à

realidade dos fenômenos de transmissão de calor, que ocorrem entre uma edificação, seus ocupantes e o ambiente interno e externo. Na realidade, a transmissão de calor entre o ambiente e a edificação ocorre em regime transiente. Fenômenos, tais como, calor armazenado pelas paredes e coberturas, amortecimento e retardo térmico, só podem ser analisados com o conhecimento das variações climáticas diárias.

Existe no Brasil uma carência de dados meteorológicos horários, que dificulta a realização de trabalhos de conforto ambiental que levem em consideração todas as variações climáticas ocorridas durante o dia. Comumente têm se tentado contornar esse problema, através da simulação em computadores, com o uso de modelos matemáticos ajustados aos dados climatológicos disponíveis.

A variação sazonal dessas variáveis condiciona que soluções arquitetônicas diferenciadas sejam adotadas, de modo a resolver problemas de conforto térmico, tanto no verão quanto no inverno, o que torna importante o conhecimento da variação das grandezas climáticas ao longo dos meses do ano.

A variação diária da temperatura do ar é função da variação da temperatura do solo que, por sua vez, depende da intensidade da radiação solar ao longo do dia. A temperatura máxima do ar em contato com o solo ocorre simultaneamente com a temperatura máxima da superfície do solo. À medida que se afasta do solo, a temperatura máxima se atrasa continuamente, indo ocorrer, a dois metros de altura, cerca de duas horas depois. Após atingir a temperatura máxima, a temperatura do ar diminui como consequência da diminuição da temperatura do solo. Quando o balanço de radiação torna-se negativo, estabelece-se um fluxo de calor por convecção do ar para a superfície, passando o ar a se resfriar. O processo intensifica-se continuamente durante a noite até ocorrer, quando do nascer do sol, nova inversão no balanço de radiação (TUBELIS e NASCIMENTO, 1986).

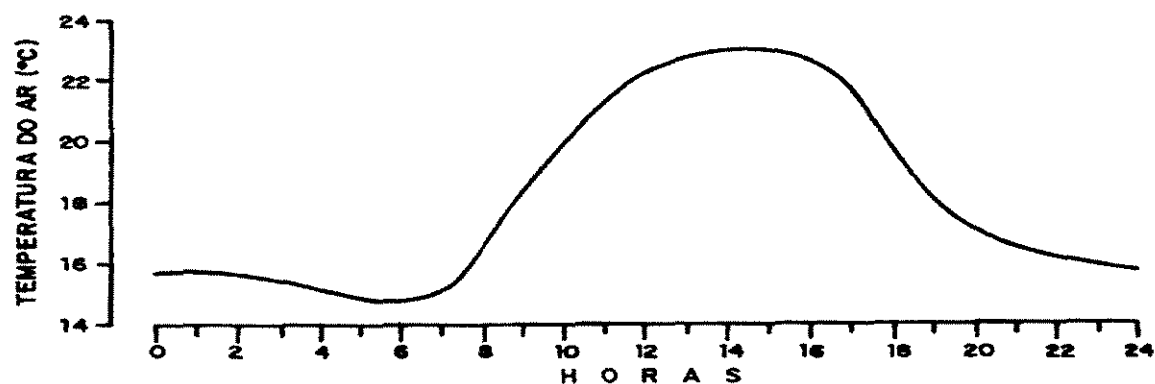
Ao meio dia, a energia solar incidente no solo é máxima, mas devido aos processos de transmissão de calor e, pelo fato de os instrumentos que medem a temperatura estarem no interior do abrigo meteorológico, a 1,50 m da superfície do solo, o valor máximo da temperatura do ar ocorre entre 14 e as 15 h. Durante a noite o solo se esfria, encontrando-se, pouco antes do nascer do sol, com a menor energia possível, ou seja com a temperatura mínima. Dessa maneira, no decorso de um dia a temperatura mínima do ar ocorre pouco antes do nascer do sol, e a máxima, duas a três horas após o meio dia (OMETTO, 1981).

A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a chegada de energia solar e o conseqüente aquecimento do solo. Existe uma defasagem entre a máxima temperatura na superfície do solo e no ar, tal defasagem aumenta com o afastamento da superfície, sendo, em média, de cerca de duas horas para o nível de dois metros de altura. À noite os processos radiantes provocam um contínuo resfriamento do solo, chegando à inversão de fluxos, ou seja, a atmosfera mais aquecida passa a transferir energia para o solo (VIANELLO e ALVES, 1991). O ar é diatérmico, ou seja, transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual sua temperatura não é consequência da ação direta dos raios solares, e se explica por processos indiretos. A radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Eleva-se, assim, sua temperatura e somente então, por convecção, aquece o ar (RIVERO, 1986).

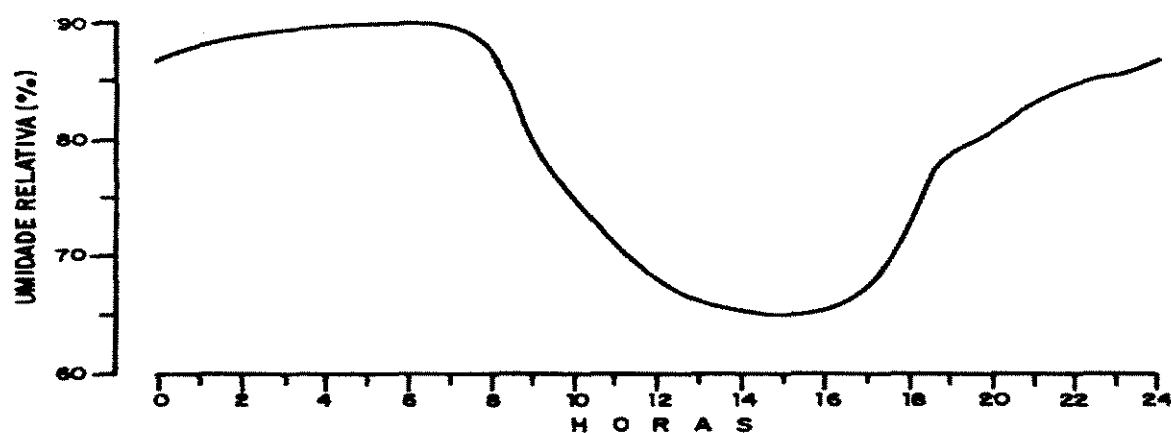
Na ausência de nuvens ou chuva, a variação da temperatura diária mostra-se com comportamento previsível, podendo, teoricamente, ser representada por uma série trigonométrica de senos e co-senos. A figura 3.1.(a) mostra a variação diária da temperatura do ar e a figura 3.1.(b) a da umidade relativa. A variação anual da temperatura do ar é determinada basicamente pelo curso anual da radiação solar. Fatores como latitude, altitude, cobertura vegetal e presença de grandes massas de água também influem na

variação sazonal da temperatura. A marcha anual da temperatura do ar reflete o predomínio das duas estações mais contrastantes (verão e inverno), como pode ser visto na figura 3.2..

O vapor d' água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico, estando presente em até 4% em volume. Esse volume é determinado pela temperatura ambiente, pois a capacidade de retenção de vapor d'água pelo ar é função de sua temperatura (OMETTO, 1981). As variações da umidade relativa do ar estão relacionadas com as variações de temperatura, verificando-se uma periodicidade semelhante, porém com uma defasagem de 180° , isto é, quando a temperatura é máxima a umidade relativa é mínima.



(a)



(b)

Figura 3.1. - Variação diária da temperatura (a) e da umidade (b) do ar (TUBELLIS e NASCIMENTO, 1986).

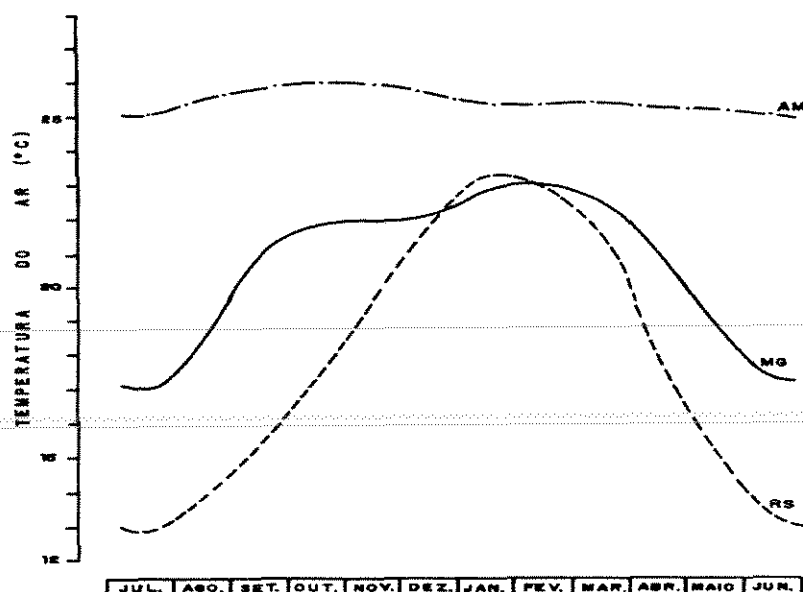


Figura 3.2. - Curso médio anual da temperatura do ar (TUBELLIS e NASCIMENTO, 1986).

Segundo RIVERO (1986), clima é o conjunto de fenômenos meteorológicos que define a atmosfera de um determinado lugar. Os agentes térmicos que intervêm, preponderantemente no conforto ambiental são: radiação solar, temperatura, umidade e velocidade do ar. Essas grandezas são, em geral, apresentadas pelos seus valores médios ou por frequências. A tendência atual é organizá-las dentro do chamado dia típico de projeto ou de cálculo.

Ao se dimensionar os dispositivos de controle ambiental de uma instalação agrícola, sejam ativos ou passivos, deve ser analisada a relação custo/benefício. Muitas vezes não é economicamente viável projetar uma instalação de modo que ela esteja 100% dos dias na zona de conforto animal. Isto só seria possível com uso de equipamentos mecânicos de ventilação, refrigeração e aquecimento, que levariam a custos anuais que não compensariam os benefícios (CURTIS, 1983).

Condições de projeto ou de cálculo são definidas baseadas em dados ambientais externos e internos. Os dados externos são aqueles coletados pelos climatologistas em

estações meteorológicas, enquanto os dados internos devem ser prescritos pelos técnicos em conforto ambiental. Distribuição de frequência das variáveis climáticas, tais como, temperatura e umidade do ar, podem ser realizadas de modo a se fixar valores de projeto para as variáveis climáticas, que cubram a maior parte dos valores ocorridos, mas desconsiderem os valores extremos.

Como as condições climáticas variam de ano para ano, o retorno do investimento com modificações ambientais é uma variável aleatória de difícil previsão. HAHN e McQUIGG (1970) estudaram a aplicação de funções de frequência ao projeto de instalações zootécnicas. Basicamente, o enfoque relaciona a probabilidade de ocorrência de determinada condição ambiental com a resposta da performance animal. HAHN e OSBORNE (1970) determinaram isolinhas de rentabilidade que justificam o uso ou não do sistema de resfriamento evaporativo para vacas leiteiras, baseado no preço do leite, da ração, do sistema de resfriamento evaporativo, custo do isolamento da construção e gastos com energia.

3.4. A instalação avícola

Em se tratando do projeto de uma instalação zootécnica pode-se partir de duas premissas. A primeira é que condições fora da zona de conforto afetam de forma negativa o animal, ocasionando queda do nível de bem estar, problemas de saúde e declínio do desempenho. A segunda premissa é que o manejo ambiental pode reduzir ou eliminar os efeitos adversos e incrementar a lucratividade da instalação zootécnica, através da seleção de raças e linhagens, nutrição com níveis energéticos e protéicos adequados, projeto arquitetônico que considere de forma conveniente as variáveis bioclimáticas e operação racional de instalação e equipamentos. Isto requer compreensão adequada do impacto dos

estressores ambientais sobre os animais, bem como avaliação das práticas de manejo ambiental (quais são as tecnologias e práticas disponíveis para proteger os animais e melhorar seu desempenho) e dos benefícios potenciais (HAHN, 1993).

Na intenção de limitar a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da instalação a valores dentro da região de conforto térmico animal, diversas soluções têm sido adotadas, dentre as quais pode-se citar: a) sombreamento, com arborização, em sistemas de criação extensivos, ou uso de coberturas adequadamente projetadas, em sistemas de criação intensivos; b) utilização de ventilação natural, com dimensionamento de aberturas que permitam entrada e saída do ar, bem como o uso de lanternim na cobertura, de modo a promover a circulação vertical, por efeito de termossifão; c) sistemas de aspersão na cobertura ou no interior da instalação; d) ventilação artificial que, por meio de insuflação ou exaustão do ar, ocasione a remoção do calor corporal animal por convecção; e) redução da temperatura do ar, utilizando sistemas de resfriamento evaporativo; f) resfriamento do ar por meio de equipamentos eletromecânicos, operando em ciclo de compressão de vapor.

Aberturas para a entrada e saída do ar só funcionam, satisfatoriamente, quando o vento tem velocidade apreciável (CELIS e JARA, 1990) e, quanto ao uso de lanternim na cobertura, só ocorre a formação do termossifão quando a temperatura do telhado é inferior à temperatura ao nível do piso (INCROPERA e DeWITT, 1983), fato que, normalmente, não ocorre quando a temperatura das telhas chega a valores da ordem de 40 °C. HASHIGUCHI (1986) realizou experimento com sistema de aspersão no telhado, em galinheiros abertos, cobertos com telhas de cimento-amianto, para frangos de corte, com densidade de 11 aves/m², não observando diferenças significativas quanto ao ganho de peso e conversão alimentar, entre os tratamentos com aspersão e a testemunha. A ventilação artificial é um meio muito usado de remoção do calor corporal animal, no entanto, só

funciona, efetivamente, quando a temperatura do ar for inferior a do animal (HELLICKSON e WALKER, 1983).

A redução da temperatura do ar por sistemas de resfriamento evaporativo é um dos processos mais econômicos de resfriamento do ar. ZOLNIER *et al.*, (1993) verificaram as temperaturas do ar em que o sistema de resfriamento evaporativo deve ser acionado, para instalações de gado de leite da raça Holstein. Concluíram que, para os animais de alta produtividade, os quais são mais sensíveis ao estresse calórico, o sistema deve ser acionado a temperaturas mais baixas e que, por depender da depressão psicrométrica do ar, o sistema não pode eliminar todo o estresse calórico do animal, mesmo atuando em toda a sua potencialidade.

O resfriamento do ar por meio de equipamentos eletromecânicos, operando em ciclo de compressão, apresenta alto custo de implantação e operação, só se justificando em instalações zootécnicas para animais de alto potencial genético e de produção, onde são usados estreitos limites de condições de conforto (ALBRIGHT, 1990).

3.4.1. Influência dos elementos da construção

Durante a elaboração do projeto de uma instalação zootécnica diversos elementos constituintes da construção devem ser avaliados de modo a serem maximizados seus efeitos positivos, buscando-se a melhor relação custo-benefício possível.

3.4.1.1. Materiais

Os materiais e elementos construtivos componentes da construção exercem controle sobre o ambiente interno devido às suas propriedades térmicas e mecânicas. Fenômenos tais

como condução e inércia térmica são quantificados por meio das grandezas físicas condutibilidade, amortecimento e retardo térmico, bem como massa e calor específico dos materiais constituintes dos elementos construtivos (CROISET, 1976; KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; RIVERO, 1986; OLGAYAY, 1992; FROTA e SCHIFFER, 1995).

3.4.1.2. Geometria

A geometria da construção exerce influência sobre o conforto ambiental no interior da instalação, principalmente pelo controle da radiação solar incidente nos diversos planos da edificação (paredes e coberturas), bem como aberturas (portas e janelas). A forma, o pé-direito (altura piso-teto), a inclinação do telhado, as dimensões dos beirais, o uso de protetores solares nas aberturas (*brise-soleil*, cortinas, persianas e venezianas) devem ser analisados cuidadosamente de modo a possibilitar um controle efetivo do ambiente por meios passivos (RIVERO, 1986; OLGAYAY, 1992).

Os critérios para estabelecimento da melhor forma da construção são aqueles que consideram uma maximização dos ganhos solares no inverno e a menor captação de radiação solar no verão (OLGAYAY, 1992). LEAL (1981) estudou o microclima dentro de oito protótipos com diferentes formas geométricas, todos com 1 m³ de volume interno, concluindo que aquele em forma de paralelepípedo, com orientação do eixo maior na direção leste-oeste foi o que apresentou melhor conforto térmico interno em relação aos demais testados. ALUCCI *et al.* (1986), considerando a orientação e o sistema construtivo empregado na instalação, para condições climáticas típicas de uma região quente e úmida do Estado de São Paulo, no período de verão, concluíram que, para determinada área de piso, o aumento do volume do prédio reduz a temperatura do ar interior.

GARRET *et al.* (1967) verificaram que, em locais de céu descoberto, com altas temperaturas e baixa umidade relativa, os valores da carga térmica radiante (CTR) foram menores em instalações com cobertura de 4 m de pé-direito do que em coberturas com 2 m. ESMAY (1982) verificou que, em instalações com cobertura de 1,83 m de pé-direito, foi verificada redução da carga térmica, devido à cobertura, em 9%, quando comparadas a instalações sem cobertura. Verificou também que, quando o pé-direito era de 3,66 m, houve redução de 15% da carga térmica.

LOPES e HARDOIM (1993), em estudos sobre dimensões de beirais, concluíram que, para instalações com pé-direito de 3 m, fachadas com orientação norte com beiral de 1,80 m não apresentam problemas de insolação em seu interior, enquanto que, fachadas sul poderiam ter seus balanços variando de 1 a 1,40 m, conforme a latitude varie de 18 a 34° S. RODRIGUES e ARAUJO (1996) estudaram o efeito da dimensão do beiral e inclinação da cobertura em instalações avícolas orientadas na direção leste-oeste, para a área de Itaguaí-RJ (latitude = 22° 47' S), concluindo que: o uso de coberturas com inclinações mais acentuadas (20 a 30%) ocasiona melhores condições de conforto térmico no interior da instalação e que o beiral é um elemento arquitetônico que, devidamente projetado, permite controle eficiente da incidência da radiação solar nas paredes. A relação entre o índice de conforto e a dimensão do beiral, não sendo linear, sugere o uso de beirais em torno de 2 m, dimensão a partir da qual a melhoria da condição de conforto torna-se pouco significativa.

3.4.1.3. Orientação

Na definição da melhor orientação em edificações destinadas à ocupação pelo homem, principalmente em edifícios, atenção especial é dada à fachada, por ser o plano da edificação normalmente mais exposto à radiação solar, bem como aquele que possui mais

elementos envidraçados, constituindo-se em ponto frágil sob o aspecto da transmissão de calor (RIVERO, 1986). As construções zootécnicas utilizadas na avicultura tecnificada, normalmente são galpões de um pavimento, com vãos de 10 a 15 m e comprimentos de cerca de 100 m, cobertos com telhados de duas águas. Neste tipo de construção, evidentemente, não se deve considerar quando do estudo da melhor orientação um único plano, mas todas as superfícies exteriores, sendo o total de radiação incidente na edificação função da orientação adotada, da latitude do local, da hora do dia e da época do ano.

GARCIA-VAQUERO (1981) afirma que a correta orientação da instalação deve estar relacionada com o clima local, dependendo da incidência de radiação solar e da direção dos ventos predominantes. Uma boa orientação tem maior importância em ambientes abertos, onde no verão deve oferecer sombreamento e, no inverno, máxima insolação, bem como proteção contra ventos frios dominantes. KELLY *et al.* (1954) já haviam verificado que a temperatura do solo, sob uma instalação com a orientação leste-oeste, é menor devido ao fato de o piso da instalação encontrar-se sombreado na maior parte do dia. GHELFI FILHO *et al.* (1988) estudaram a melhor orientação para a geometria comumente utilizada para instalações zootécnicas nas latitudes de 0 a 30° S, chegando à conclusão que a menor carga térmica incidente no interior da instalação ocorre quando a cumeeira da cobertura estiver posicionada na direção leste-oeste. TEETER e BELAY (1993) sugeriram que as instalações deveriam possuir a orientação leste-oeste de forma a impedir a incidência de radiação solar diretamente sobre os animais.

RODRIGUES e ARAUJO (1995) estudaram o efeito da orientação de instalações para frango de corte, para condições de verão, na região de Itaguaí-RJ, concluindo que: a) a localização da cumeeira na direção leste-oeste foi a que levou a menores temperaturas e a melhores índices de conforto no interior da instalação, tanto para a instalação vazia quanto para uma taxa de ocupação de 10 frangos/m²; b) principalmente nas primeiras horas do dia

(6 às 10 h) e ao final da tarde (15 às 18 h), verificou-se melhor efeito protetor da direção leste-oeste em relação às demais direções testadas; c) as menores condições de temperatura interna deveram-se, principalmente, ao fato de que, para a orientação leste-oeste, ocorreu menor penetração de radiação solar no interior da instalação pelas paredes onde estão localizados os telados (norte e sul).

No entanto, RODRIGUES *et al.* (1995) verificaram que, quando a instalação está com a cumeeira localizada na direção norte-sul, a quantidade de radiação solar total diária, em $W.h/m^2$, incidente em todos os planos da instalação avícola, é menor que para as demais orientações testadas. Concluíram então que: a) a indicação indiscriminada da orientação leste-oeste de forma padronizada, pode não levar à melhor solução sob o ponto de vista térmico; b) a orientação norte-sul pode ser uma boa solução desde que as paredes teladas voltadas para leste e para oeste recebam proteção de elementos sombreadores que impeçam a incidência da radiação solar no interior da instalação; c) as diversas fachadas da construção exigem soluções arquitetônicas diferenciadas quando analisadas sob o ponto de vista térmico.

3.4.1.4 Cobertura

O telhado é, sem nenhuma dúvida, o elemento construtivo mais importante da envoltória que constitui uma instalação avícola, quanto ao controle da radiação solar incidente. Tal fato deve-se à grande área de interceptação de radiação, bem como que, para instalações situadas nas regiões tropicais, a incidência da radiação solar ocorre numa direção próxima à perpendicular aos planos que compõem a cobertura, principalmente para o verão e para as horas de maior intensidade de radiação (COSTA *et al.*, 1995; RODRIGUES e ARAUJO, 1996). TOLEDO (1970), estudando causas de desconforto

térmico em construções residenciais em São Paulo, concluiu que o fluxo de calor através das coberturas, juntamente com as elevadas temperaturas na face inferior das telhas, é a causa principal do desconforto no interior da residência.

O telhado influi no ambiente térmico interno por meio do material constituinte das telhas, da natureza superficial da telha, da existência ou não de isolamento térmico, da existência ou não de forro e da ventilação do forro.

LEAL (1981), utilizando protótipos em modelo reduzido, testou telhas cerâmica, de alumínio e de cimento-amianto, concluindo que a telha cerâmica apresentou melhor condição de conforto térmico do que a de alumínio e do que a de cimento-amianto, ordenadamente. ROSA (1984) estudou a influência de três materiais de cobertura sobre o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU), em instalações para frangos de corte, para condições de verão de Viçosa-MG, concluindo que, para dias típicos de céu descoberto, a maior eficiência em redução da carga térmica radiante e as melhores condições de conforto térmico foram obtidas com a telha cerâmica, de alumínio e de cimento-amianto, ordenadamente. Estudos desenvolvidos em casas populares no Rio de Janeiro, para condições de clima quente e úmido, mostraram desempenho superior das telhas cerâmicas capa e canal sobre as demais testadas. Considerando a temperatura do ar interno no período de ocupação e a temperatura efetiva máxima ocorrida durante o dia, as telhas que obtiveram os melhores resultados foram, em ordem decrescente, a telha cerâmica capa/canal, a mista de alumínio e madeirit, a cerâmica francesa, telha de concreto, a mista de alumínio isolada com poliuretano e a de alumínio (KRAUSE, 1990). OLIVEIRA *et al.* (1995) testaram em instalações para frangos de corte da Sadia Agroavícola S/A, em Cuiabá-MT, para condições de clima quente e úmido, sete tipos de telhas (telha cerâmica, telha de cimento-amianto, telha de fibrocimento isolada com fibra de vidro, telha de alumínio, telha de *madeirit* aluminizada, telha de aço galvanizado e telha de aço galvanizado

pré-pintada). Foram medidas as temperaturas do ar e a temperatura do termômetro de globo negro ao nível das aves e as temperaturas superior e inferior das telhas. O desempenho dos frangos foi avaliado pelo ganho de peso, consumo de ração e mortalidade. Os diferentes tipos de telha não causaram diferenças significativas, ao nível de 5%, no desempenho produtivo das aves, no entanto, causaram variações nos parâmetros ambientais e na mortalidade. Os melhores desempenhos, quanto ao ITGU, ocorreram, ordenadamente, para as telhas cerâmicas, de aço galvanizado pré-pintada, de alumínio, de cimento-amianto, de *madeirit* aluminizada, de cimento-amianto isolada e de aço galvanizado. GHELFI FILHO *et al.* (1992), MOURA *et al.* (1992), HARDOIM e LOPES (1993) e SEVEGNANI *et al.* (1994) estudaram materiais de cobertura e concluíram que a telha cerâmica apresentou melhores resultados do que a de cimento-amianto, sob o ponto de vista térmico.

A cobertura executada com telhas onduladas de cimento-amianto apresenta custo de construção inferior àquela executada com telhas cerâmicas, devido, principalmente, à estrutura de suporte ser mais leve e a menor quantidade de mão-de-obra empregada (TCPO 7, 1980). Entre os tratamentos que podem ser aplicados às telhas de cimento-amianto, visando melhorar seu desempenho térmico, um dos mais simples é a melhoria da sua refletividade superficial, obtida por meio de uma pintura com pigmentos metálicos ou de cor branca. O uso de pintura branca nas telhas de fibrocimento promove uma reflexão dos raios solares de cerca de 70 a 88%, dependendo da natureza da tinta (CROISET, 1976; CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT-CSTB, 1977; RIVERO, 1986; FROTA e SCHIFFER, 1995). Casas com telhas de fibrocimento pintadas de branco apresentaram, em estudo realizado pelo IPT, na região de São Paulo, médias diárias de temperatura efetiva interna menores que as registradas em casas com telha cerâmica em cor natural (ETERNIT, 1981). KRAUSE (1990), em experimento no Rio de Janeiro, verificou melhoria significativa no desempenho térmico de telhas de cimento-amianto pintadas de cal,

aproximando-se o seu desempenho daquele de coberturas com telhas cerâmicas capa/canal. Trabalhos desenvolvidos por BOND *et al.* (1954); CZARICK (1989) e MORGAN (1990), também mostraram as melhorias de desempenho térmico com o uso de pinturas refletivas no telhado.

CAMPOS (1986), analisando índices de conforto térmico e a carga térmica radiante em galpões cobertos com telhas cerâmicas e de cimento-amianto (com e sem forro), verificou que o uso de forro reduziu significativamente o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR) nos galpões cobertos com telha de cimento-amianto com forro, quando comparados com os sem forro. Trabalhos conduzidos no IPT, em São Paulo, mostraram que as temperaturas efetivas em casas cobertas com telhas onduladas de cimento-amianto, com áticos ventilados, foram menores do que em telhados com telhas cerâmicas sem forro. O uso de um forro de madeira prensada com 6 mm de espessura foi responsável pela redução da temperatura efetiva em 2 °C, no momento de máxima insolação (ETERNIT, 1981; ETERNIT-IPT, 1978-1987).

3.5. Modelos reduzidos

O desenvolvimento de pesquisas de instalações zootécnicas, em escala natural, é muito oneroso, por serem as construções de grandes dimensões, os materiais de construção apresentarem, muitas vezes, custo elevado, os resultados serem imprevisíveis, bem como a necessidade de realizarem-se repetições de natureza estatística ficar impraticável. O uso de modelos reduzidos tem se mostrado uma boa solução para se contornar os problemas citados, quando se deseja controlar as variáveis ambientais. Diversos autores, tais como PATTIE e MILNE (1966), DYBWAD *et al.* (1974), TIMMONS e BAUGHMAN (1981), BOTTCHEER *et al.* (1986) e CELIS e JARA (1990), têm empregado a técnica de modelos

reduzidos, para reproduzir e avaliar condições arquitetônicas e ambientais em instalações zootécnicas.

Segundo MURPHY (1950), existem três classes de modelo: o dissimilar, em que não existe semelhança entre o modelo reduzido e a instalação original; o geometricamente similar, em que o protótipo é uma reprodução em escala da instalação; e o distorcido, em que o protótipo é uma reprodução do modelo real, usando-se, porém, mais de uma escala, normalmente uma escala para as dimensões horizontais e outra para as verticais.

Em instalações zootécnicas, nas quais as dimensões horizontais (comprimento e largura) são muito maiores que as verticais (pé-direito), o uso dos modelos em escala distorcida tem se mostrado de emprego conveniente, possibilitando o acesso ao seu interior para realização das medidas, sem que, no entanto, o protótipo fique com dimensões avantajadas.

HAHN *et al.* (1961), estudando modelos, observaram o comportamento térmico de uma instalação a fim de determinar a independência da escala dos modelos às respostas térmicas apresentadas. Os autores não encontraram diferenças significativas na carga térmica radiante entre os modelos testados. Concluíram que, com ventilação totalmente natural, as respostas obtidas de temperatura interna nos modelos eram independentes do tipo de escala utilizada. Segundo FORELICH *et al.* (1975), foi encontrada uma relação linear entre o aumento da velocidade do vento e o decréscimo no diferencial de temperatura em modelos em escala.

TIMMONS *et al.* (1978) descreveram os efeitos do uso de modelos distorcidos no comportamento térmico das construções. O efeito da não manutenção da similitude foi analisado para diferentes formas, e fatores de escala foram recomendados para o projeto e a operação dos modelos.

LEAL (1981) estudou protótipos dissimilares de diferentes formas geométricas, todos com volume interno de um metro cúbico, analisando o efeito de suas geometrias, do material do telhado e da orientação em relação ao sol, tendo concluído que a melhor forma geométrica é a do paralelepípedo com duas águas, e que a telha cerâmica tipo capa e canal se mostrou superior a de cimento-amianto e a de alumínio. SYDENSTRICKER (1993) avaliou o efeito de lanternins em instalações para suínos utilizando modelos em escala distorcida, enquanto que, MOURA (1994), utilizando o mesmo tipo de modelo, desenvolveu índices de conforto animal (índice de produção de calor e índice de ganho de peso), e definiu faixas dos índices para zona de termoneutralidade. Equações para avaliação da vazão de ar em lanternins, em instalações avícolas, foram determinadas por BAÊTA *et al.* (1995), para construções utilizando telhas cerâmicas e de cimento-amianto, utilizando a técnica da similitude e da análise dimensional.

3.6. Sistemas de controle ambiental

O uso de ventilação em instalações zootécnicas permite o controle das condições internas, atuando sobre as seguintes características ambientais: temperatura do ar, umidade relativa do ar, uniformidade de temperatura e umidade, velocidade do ar nos animais, concentração de gases, odores e poeiras, concentração de microrganismos em suspensão e concentração de produtos de combustão.

Segundo o MIDWEST PLAN SERVICE (1989) os sistemas de ventilação usados em instalações avícolas podem ser mecânicos, naturais ou a combinação de ambos. Os sistemas mecânicos forçam, por meio de ventiladores elétricos, o ar através da instalação, enquanto que, a ventilação natural utiliza o efeito dinâmico do vento ou gradientes de temperatura (efeito chaminé).

3.6.1. Sistemas naturais

Segundo TIMMONS (1990), o estigma associado à ventilação natural é que as condições ambientais internas são inconstantes e sujeitas a alterações conforme as condições externas. Embora isto possa ser verdade, STRØM e MORSING (1982) mostraram por meio de extensivo estudo que, se o projeto é feito convenientemente, e se as entradas e saídas de ar são controladas, a variação diária da temperatura interna seria mantida dentro dos limites de $\pm 1,8^{\circ}\text{F}$ em 99% do tempo. Este tipo de variação é comparável ao obtido com os sistemas de ventilação mecânica.

Condições naturais de ventilação com formação de termossifão, através da utilização de lanternins, são amplamente utilizadas em instalações zootécnicas. Ventilação natural por efeito do termossifão pode, a princípio, garantir taxas de ventilação mínimas. Isto é altamente desejável pois minimiza os riscos de doenças respiratórias e limita o acréscimo de temperatura no interior das instalações (BRUCE, 1982).

Embora a ventilação natural seja uma das formas mais antigas de renovação do ar em instalações zootécnicas, a maior parte das pesquisas em ventilação tem ocorrido com sistemas que utilizam dispositivos mecânicos. Para remover o ar dos ambientes confinados, a ventilação natural depende basicamente dos efeitos produzidos pelo vento e dos gradientes de temperatura. Quando o vento apresenta velocidades razoáveis, as instalações são ventiladas suficientemente bem, no entanto, quando o vento cessa, a ventilação deve continuar a apresentar taxas que garantam o seu bom funcionamento, deve-se, portanto, considerar no projeto velocidades do ar próximas de zero (CELIS e JARA, 1990). KAMMEL (1974) adverte que, embora a ação do vento seja expressiva, sua consideração nos cálculos de dimensionamento é impraticável, devido as suas constantes variações.

Estando o ar no interior de uma instalação mais quente do que no exterior, o ar penetra na edificação através de aberturas inferiores e sai pelas aberturas localizadas nos pontos mais altos. Se um fluido incompressível, não viscoso, sai por uma abertura, sua velocidade pode ser calculada pela equação de Bernouilli (SHEPHERD, 1965).

$$v = (2.g.h.(\rho_0 - \rho_i) / \rho_i)^{1/2} \dots\dots\dots \text{eq. (3.1.)}$$

onde:

v = velocidade do fluido, em m/s;
 g = aceleração da gravidade, em m/s^2 ;
 h = distância entre a entrada e a saída, em mm;
 ρ_0 = densidade do fluido na entrada, em kg/m^3 ;
 ρ_i = densidade do fluido na saída, em kg/m^3 .

Como o ar que flui é viscoso, produzem-se perdas de energia. O fator de correção (c) considera todas as perdas ocorridas entre a entrada e a saída do ar, portanto.

$$v = c.(2.g.h.(\rho_0 - \rho_i) / \rho_i)^{1/2} \dots\dots\dots \text{eq. (3.2.)}$$

onde:

c = fator de correção, adimensional.

BRUCE (1982) desenvolveu equações objetivando simulação do processo usando $c = 0,5$.

ALBRIGHT (1978) estudou o comportamento do fluxo de ar através de aberturas e encontrou valores de $c = 0,2$. OWER e PANKHURST (1966) encontraram fatores de correção na faixa de 0,6 a 0,7, enquanto que SHEPHERD (1965) considerou um fator de 0,98 para aberturas bem desenhadas. Do exposto conclui-se que o fluxo de ar calculado pode variar consideravelmente, dependendo do valor de (c) que se adotar.

HARDOIM (1989) estudou o uso de lanternins em instalações para aves, utilizando o conceito de plano neutro. O plano neutro é definido como sendo a altura ($\bar{H}$) onde não há diferença de pressão entre interior e exterior da instalação (figura 3.3.).

BRUCE (1982), considerando um número fixo de aberturas na instalação, sendo a densidade do ar interno menor que a do externo, mostra que a diferença de pressão na altura (H) é dada por:

$$\Delta P_{(H)} = g(\rho_s - \rho_b)(\bar{H} - H) \dots \text{eq. (3.3.)}$$

onde:

$\Delta P_{(H)}$ = diferença de pressão entre as aberturas, em Pa;
 g = aceleração da gravidade, em m/s^2 ;
 ρ_s = densidade do ar na altura da abertura superior, em kg/m^3 ;
 ρ_b = densidade do ar na altura da abertura inferior, em kg/m^3 ;
 $\bar{H}$ = altura do plano neutro, em m;
 H = altura da abertura, em m.

A velocidade do ar a uma altura (H) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$v = \frac{|\bar{H} - H|}{\bar{H} - H} \left\{ 2 \cdot g \frac{\rho_0 - \rho_i}{\rho_0} |\bar{H} - H| / (fL/D + \xi) \right\}^{1/2} \dots \text{eq. (3.4.)}$$

onde:

f = fator de fricção no duto;
 L = comprimento do duto, em m;
 D = diâmetro do duto, em m;
 ξ = coeficiente de resistência;
 v = velocidade do ar na abertura, à altura H, em m/s.

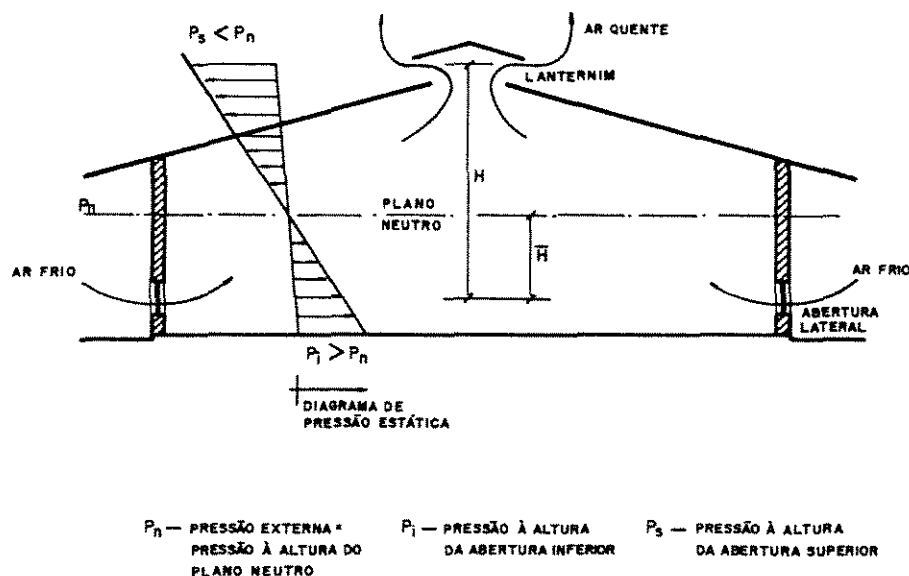


Figura 3.3. - Ventilação por termossifão. Plano neutro e diagrama de pressões estáticas.

3.6.2. Sistemas artificiais

3.6.2.1. Ventilação forçada

A ventilação é um processo que, por meio da movimentação do ar, no interior da instalação, controla diversas variáveis ambientais, tais como: temperatura, umidade e velocidade do ar, concentração de gases, poeiras e microrganismos patogênicos.

A figura 3.4., adaptada de MIDWEST PLAN SERVICE (1989), mostra um processo de ventilação em que o ar fresco é introduzido no interior da instalação pelas aberturas laterais. Mistura-se posteriormente ao ar interno, removendo calor e umidade dos animais e do ambiente interno. Diminui a temperatura e nível de umidade interna, diluindo o nível de gases e microrganismos contaminantes; e expulsando o ar quente, úmido e contaminado, do interior da instalação.

O balanço de umidade e de calor é regido pelas expressões dadas nas equações 3.5. (a, b) e 3.6. (a, b, c), respectivamente, sendo usado para determinação da taxa de ventilação a ser utilizada na instalação. No verão, a taxa de ventilação é calculada considerando-se o balanço de calor, sendo removido o excesso de calor interno de modo a manter a temperatura dentro de valores aceitáveis. No inverno, o cálculo da taxa de ventilação é realizado por meio do balanço de umidade, de modo a se obter condições ambientais internas aceitáveis em relação à umidade relativa do ar e aos níveis de oxigênio, gás carbônico, amônia e poeiras (MIDWEST PLAN SERVICE, 1980; HELICKSON e WALKER, 1983; C.I.G.R., 1984; ALBRIGHT, 1990; C.I.G.R., 1994).

$$m_s = m_e + m_p \dots\dots\dots \text{eq. (3.5.a)}$$

sendo:

m_s , m_e , e m_p = massa de água que sai, que entra e que é produzida na instalação, em kg/s.

logo:

$$\rho_s \cdot V \cdot (UA)_s = \rho_e \cdot V \cdot (UA)_e + m_p \dots \text{eq. (3.5.b)}$$

em que:

ρ_s e ρ_e = massa específica do ar que sai e que entra na instalação, respectivamente, em kg/m³, [$\rho \cong 1,2$ kg/m³ ($T \cong 20$ °C)], sendo ρ função da temperatura do ar (MONTHEITH e UNSWORTH, 1990);

V = taxa de renovação do ar, em m³/s;

$(UA)_s$ e $(UA)_e$ = umidade absoluta do ar que sai e que entra na instalação;

m_p = massa de vapor d'água produzido por aves, fezes, etc. obtida de trabalhos experimentais (ALBRIGHT, 1990; NORTH e BELL, 1990). Quando a umidade produzida for dada em termos de calor latente, pode-se usar como calor de vaporização da água o valor $c_{vap} \cong 2454$ kJ/kg ($T \cong 20$ °C).

O balanço de energia considera que, para a temperatura do ar permanecer constante, os ganhos de calor devem ser iguais às perdas. Considerando-se a transmissão de calor em regime permanente, o que pode ser feito de maneira aproximada para construções de baixa inércia térmica, como é o caso das instalações zootécnicas normalmente utilizadas no Brasil, vem:

$$q_{\text{ganho}} = q_{\text{perdido}} \dots \text{eq. (3.6.a)}$$

$$q_s + q_{aq} + q_m + q_{il} + q_{sol} + q_{vi} = q_{mat} + q_{ev} + q_{vs} \dots \text{eq. (3.6.b)}$$

sendo:

q_s = calor sensível produzido pelas aves;

q_{aq} = calor produzido por fonte suplementar (aquecedor);

q_m = calor produzido por equipamento mecânico;

q_{il} = calor produzido por iluminação;

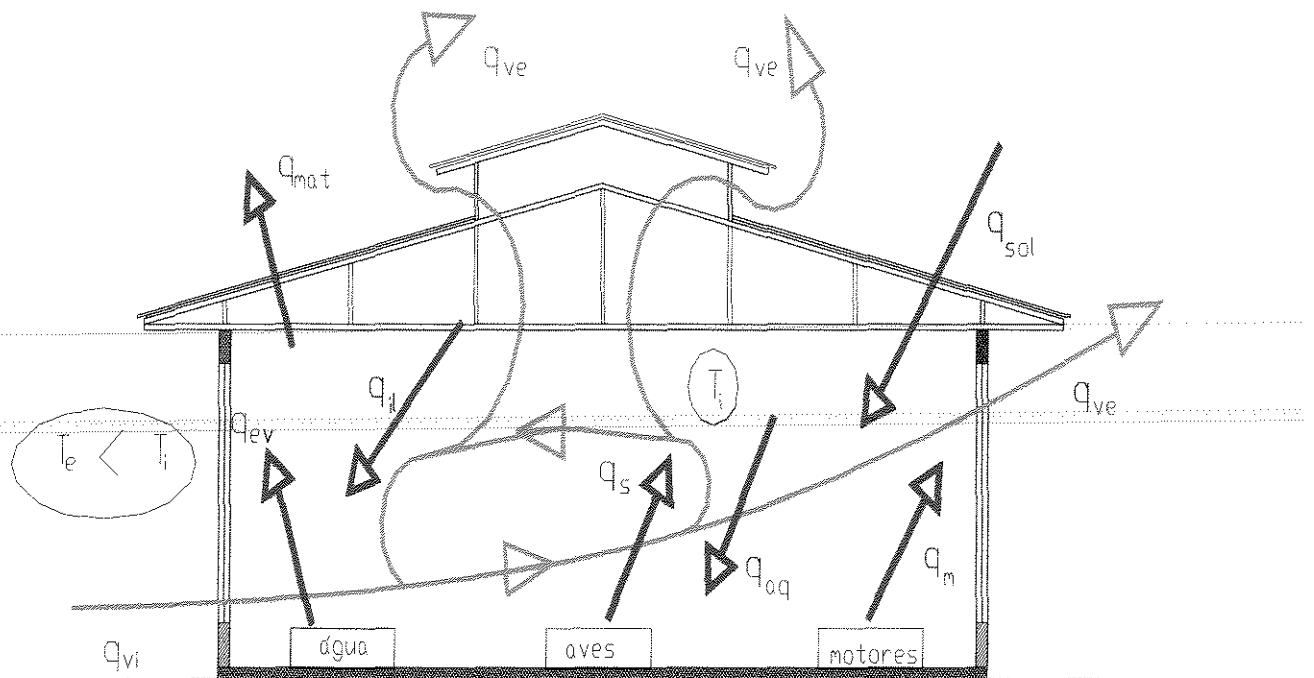
q_{sol} = calor produzido por radiação solar;

q_{vi} = calor introduzido pelo ar insuflado do exterior;

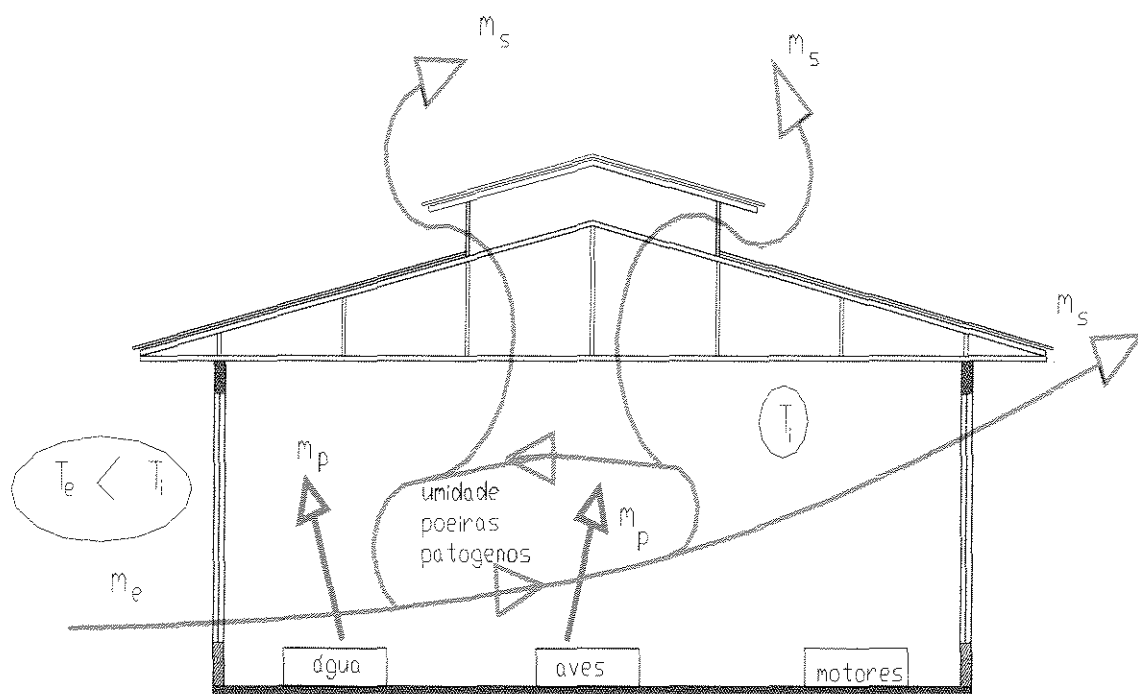
q_{mat} = calor perdido através dos materiais constituintes da envoltória da instalação;

q_{ev} = calor perdido devido à evaporação da água;

q_{vs} = calor perdido retirado do interior da instalação pela ventilação.



(a)



(b)

Figura 3.4. - Processo de ventilação mostrando o balanço de energia (a) e de massa (b).

Os termos de calor ligados à ventilação devem ser analisados em conjunto. A variação do calor sensível contido no ar transferido do interior para o exterior depende da temperatura externa e interna.

$$(q_{vs}-q_{vi}) = c_{ar} \cdot \rho \cdot V \cdot (t_i - t_e) \dots\dots\dots \text{eq. (3.6.c)}$$

em que:

c_{ar} = calor específico do ar, sendo $c_{ar} \cong 1006 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ($T \cong 20^\circ\text{C}$);

ρ = massa específica do ar, em kg/m^3 ;

V = taxa de ventilação, em m^3/s ;

$t_i - t_e$ = diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo, em $^\circ\text{C}$.

Existem dois tipos de ventilação mecânica: exaustão ou pressão negativa, em que os ventiladores succionam o ar para fora, criando um vácuo parcial no interior da instalação e insuflação ou pressão positiva, no qual os ventiladores forçam o ar externo para dentro da instalação. Nos processos citados se estabelecem gradientes de pressão entre o interior e o exterior da instalação, que move o ar, através das aberturas, para o exterior ou para o interior, respectivamente.

Os ventiladores utilizados para criar o gradiente de pressão podem ser do tipo centrífugos ou axiais. Os centrífugos são capazes de propiciar maiores vazões, porém os axiais são de funcionamento mais silencioso.

A tabela 3.5. (CURTIS, 1983) fornece características de ventiladores axiais funcionando contra pressão estática de 25 mm de Hg.

Segundo o MIDWEST PLAN SERVICE (1980), a taxa de ventilação requerida para frangos de corte depende da idade, tamanho, manejo da cama, características construtivas e das condições de temperatura e umidade do ar interno. Quando a temperatura do ar exterior não exceder 5°C , deve-se utilizar $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ por ave, de 0 a 4 semanas. Para condições de verão e para aves de corte adultas são necessárias taxas de 9

m³/h por ave. Para galinhas poedeiras é recomendado, para inverno, uma taxa de ventilação mínima de 0,5 m³/h por kg de ave.

Tabela 3.5. - Características de ventiladores axiais.

Ventilador			
Velocidade (rpm)	Diâmetro (cm)	Potência (hp)	Vazão(m ³ /min)
1725	36	1/6	40
1140	46	1/6	56
1725	46	1/6	54
1725	46	1/3	95
1140	61	¼	122
1725	61	1/3	145
794	76	1/3	165
906	76	½	195
613	91	1/3	214
695	91	½	256
538	107	½	300

3.6.2.2 O resfriamento evaporativo

3.6.2.2.1 Princípio de funcionamento

O sistema de resfriamento evaporativo tem sido aplicado com economia e eficiência em regiões de clima quente e seco, para promover a redução da temperatura em residências e construções agrícolas (WIERSMA *et al.*, 1972). Nas regiões de clima seco dos Estados Unidos (USA), o resfriamento evaporativo tem sido o sistema utilizado para controle ambiental no verão em instalações zootécnicas, tendo este tipo de instalação mostrado aumento de produção, com aumento do rendimento alimentar e diminuição da mortalidade (WIERSMA e SHORT, 1983). Mesmo em regiões de clima úmido é possível, nos horários de mais alta temperatura, que são acompanhados dos menores valores de umidade relativa

do ar, utilizar o sistema de resfriamento evaporativo, de modo a reduzir o estresse calórico nas horas em que ocorre o pico de desconforto animal (CANTON *et al.*, 1983).

No sistema de resfriamento evaporativo o ar é forçado a passar por material poroso, continuamente umedecido. O ar não saturado, em contato com a água, promove a troca simultânea de massa e calor. Como a pressão de vapor da água é maior que a do ar insaturado, ocorre vaporização da água. O calor necessário para a mudança de fase, de água líquida para vapor d'água, é cedido pelo ar que apresenta, então, decréscimo em sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode, dentro de certas condições, ser considerado um processo adiabático, envolvendo o umedecimento do ar sem interferência de calor externo. O calor requerido para a vaporização da água é fornecido pelo ar, com redução do calor sensível do mesmo e aumento do calor latente da água, sendo mantida constante a entalpia do sistema, conforme mostrado na figura 3.5. (FEHR *et al.*, 1982).

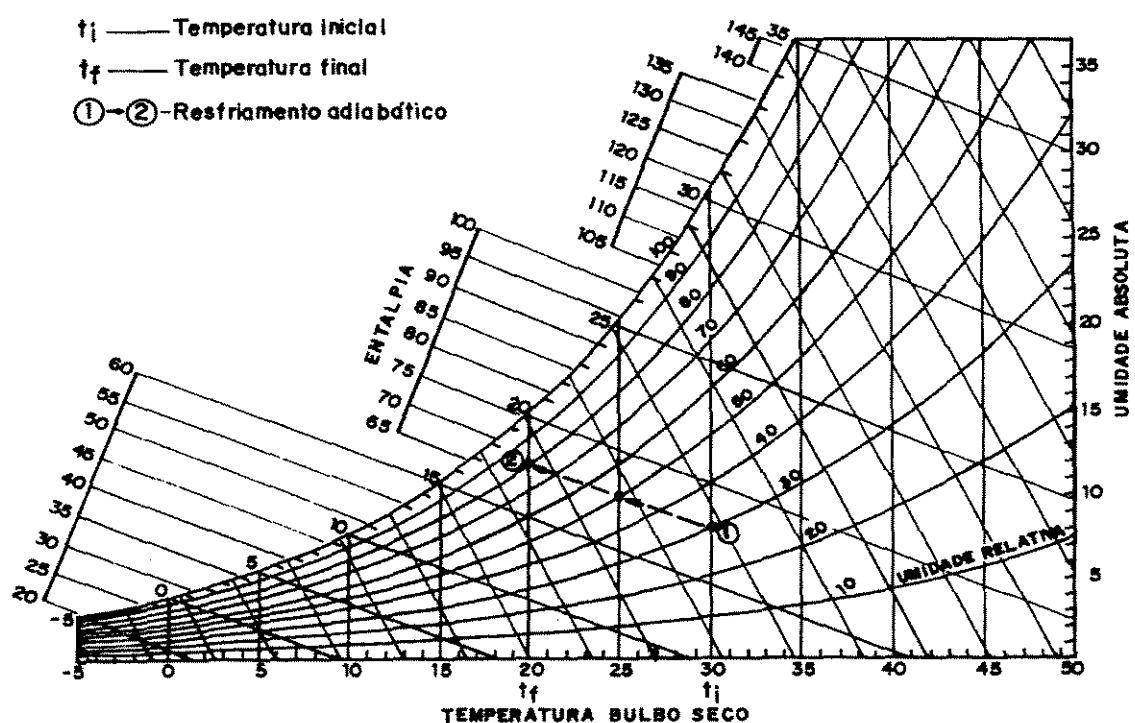


Figura 3.5. - Gráfico psicrométrico mostrando o processo adiabático de resfriamento evaporativo.

A eficiência de aplicação do sistema de resfriamento evaporativo depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido (depressão psicrométrica) observada na região. Em regiões com depressão psicrométrica variando de 7 a 9 °C, foram observadas quedas de temperatura de 4 a 7 °C, enquanto que, para depressões de 14 a 17 °C, as quedas de temperatura variaram de 8 a 11 °C (WHITAKER, 1979).

3.6.2.2.2. Equipamento e material utilizado no resfriamento evaporativo

Os resfriadores de ar ambiente baseados no sistema de resfriamento evaporativo, são constituídos de uma caixa com um ventilador que força o ar a passar por um material poroso constantemente umedecido, sendo o ar resfriado insuflado no interior da instalação diretamente ou por meio de dutos de distribuição (figura 3.6.). Outro sistema, muito empregado em instalações zootécnicas e estufas, consiste na utilização de paredes porosas e umedecidas, colocadas na extremidade do galpão, através das quais o ar é succionado para dentro da instalação formando um túnel ventilado (figura 3.7.). Uma terceira opção é obtida pela combinação de um sistema de ventilação convencional, normalmente em túnel, associado com aspersão de água no interior do galpão (figura 3.8.).

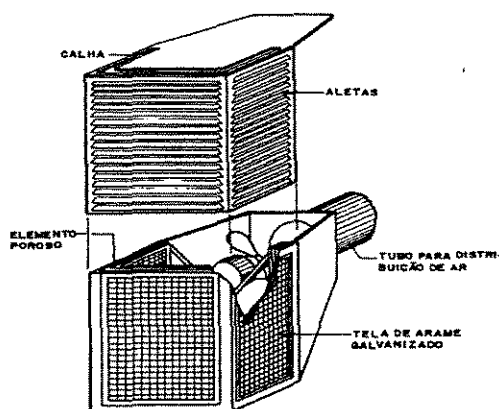
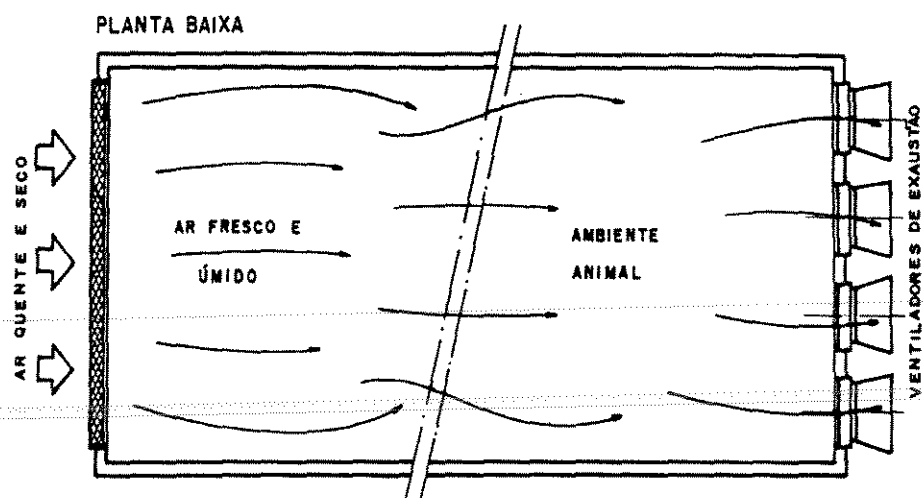
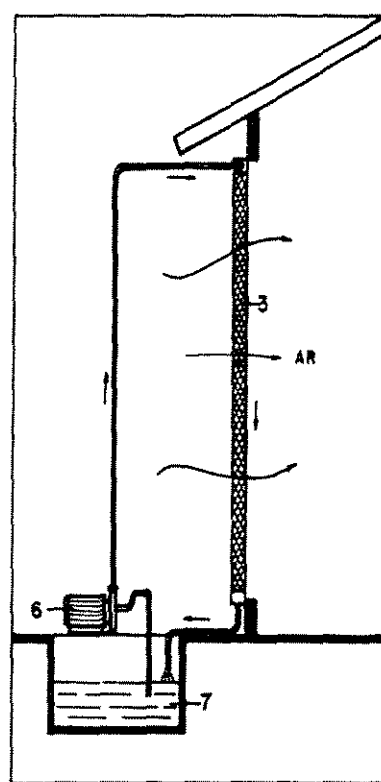


Figura 3.6. – Equipamento individual utilizado em resfriamento evaporativo.

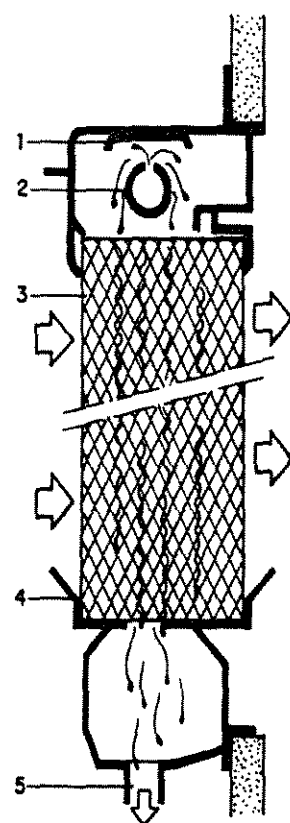


LEGENDA:

- 1- SPRAY DEFLETOR
- 2- TUBO DISTRIBUIDOR
- 3- PANEL EVAPORATIVO
- 4- CAIXILHO
- 5- DRENO
- 6- BOMBA
- 7- RESERVATÓRIO



DETALHE CIRCUITO HIDRÁULICO



DETALHE DO ELEMENTO POROSO

Figura 3.7. – Sistema de resfriamento evaporativo com parede porosa.

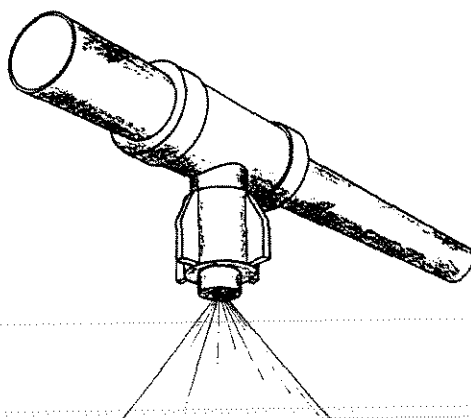


Figura 3.8. - Sistema de resfriamento evaporativo utilizando aspersão.

Os fabricantes de resfriadores evaporativos têm utilizado, como material poroso, a madeira (maravalha), a celulose, lã mineral, lã de vidro, plásticos (tiras de polietileno e polipropileno) e argamassas porosas de cimento (WIERSMA e SHORT, 1983).

Segundo RODRIGUES *et al.* (1994), as argamassa porosas têm potencial de uso no sistema de resfriamento evaporativo por suas características de alta absorção de água e de baixa densidade. Dentre as argamassas porosas que têm se mostrado com características de aplicabilidade no sistema de resfriamento evaporativo, pode-se citar as com aditivos espumosos, as com incorporação de fibras vegetais (bagaço de cana, sisal, celulose) e as com incorporação de minerais expandidos (vermiculita). BERALDO *et al.* (1991) citam que fibras naturais de juta, sisal, ramí, cânhamo, coco, e piaçava, vêm sendo usadas como reforço de matrizes cimentantes, produzindo compósitos de baixo custo. No Brasil, a intensificação do cultivo da cana de açúcar com o fim de produzir álcool carburante, trouxe à tona o problema causado pelo destino dos resíduos agrícolas das usinas, sendo que os principais resíduos desta agroindústria são a vinhaça e o bagaço de cana (CERRI *et al.*, 1988). A vermiculita, tradicionalmente, tem sido usada como componente das argamassas e concretos leves. A vermiculita ocorre em partículas de tamanho diminuto como constituinte da argila, mas também se encontra em grandes lâminas cristalinas, principalmente quando é

uma alteração da biotita. O fenômeno da expansão dá-se quando as vermiculitas são aquecidas rapidamente até cerca de 300 °C, e ocorre devido à produção rápida de vapor d'água, que dobra e separa as camadas da sua estrutura. A vermiculita no estado natural apresenta pouca aplicação prática, mas depois da expansão fornece um material de baixa densidade com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico (DEER *et al.*, 1966). Segundo ALVES (1986), a vermiculita é um mineral composto dos seguintes óxidos: Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O e água aprisionada. A estrutura da vermiculita é semelhante a da mica e, quando sujeita à elevação de temperatura, perde água intersticial e as lâminas se expandem, transformando-se em flocos sanfonados com ar aprisionado. O ar aprisionado entre os flocos dá à vermiculita a propriedade termo-acústica. O peso específico das argamassas convencionais de cimento e areia quartzoza é da ordem de 210 kN/m³ (NB-5, 1989), enquanto o das argamassas com incorporação de agregados leves varia de 25 a 180 kN/m³ (TEZUCA, 1989^a).

3.7. Processos de transmissão de calor

O comportamento térmico dos componentes de uma construção pode ser estudado em regime permanente ou variável. O regime permanente considera constantes as temperaturas no interior e exterior da construção. Este enfoque é válido, para 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 (ALBRIGHT, 1990). O regime variável considera que a temperatura no exterior da construção é variável ao longo do dia, e que a interior também é variável ou permanece constante, quando se trata de ambientes condicionados artificialmente.

A expressão geral para transmissão de calor por condução, em um sistema de referência cartesiano, sendo a temperatura (T) função da posição (x, y, z) e do tempo (t), para um material homogêneo, é dada pela equação 3.7. (HOLMAN, 1983; INCROPERA e DeWITT, 1985).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_g}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{.....eq. (3.7.)}$$

onde:

T = temperatura;
 $\alpha = k/\rho.c$ (difusibilidade térmica);
 k = condutibilidade térmica;
 ρ = massa específica;
 c = calor específico;
 q_g = calor gerado no interior do material.

Quando da transmissão de calor em regime unidimensional e sem geração de calor interno, que é o caso comumente observado em elementos construtivos, o fenômeno é regido pela equação 3.8..

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{.....eq. (3.8.)}$$

3.7.1 Transmissão de calor em regime permanente

A transferência de calor, entre a construção, seus ocupantes e o ambiente, ocorre por condução, convecção, radiação e evaporação. Em regime estacionário, o fluxo de calor é função de propriedades térmicas do material, tais como: condutibilidade, emissividade, absortividade, do gradiente de temperatura e de coeficientes de proporcionalidade que dependem do fenômeno (RIVERO, 1986; FROTA e SCHIFFER, 1995).

As equações 3.9., 3.10., 3.11. e 3.12. relacionam as grandezas envolvidas na transferência de calor unidimensional em regime permanente.

$$q_{\text{cond}} = k \cdot \frac{T_{\text{se}} - T_{\text{si}}}{L} \dots \text{eq. (3.9.)}$$

$$q_{\text{conv}} = h \cdot (T - T_s) \dots \text{eq. (3.10.)}$$

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \dots \text{eq. (3.11.)}$$

$$q_{\text{evap}} = h_{\text{lv}} \cdot C_{\text{dif}} \cdot (p_s - p_a) \dots \text{eq. (3.12.)}$$

onde:

q_{cond} , q_{conv} , q_{rad} = calor transmitido, respectivamente, por condução, convecção e radiação, em W/m^2 ;

q_{evap} = calor transmitido devido à evaporação, em W/m^2 ;

T_{se} , T_{si} = temperaturas da superfície externa e da superfície interna, em $^{\circ}\text{C}$;

T , T_s = temperatura do ar e temperatura de uma superfície, em $^{\circ}\text{C}$;

k = condutibilidade térmica do material da parede, em $\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

h = coeficiente de transferência de calor por convecção, em $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

ε = emissividade da superfície da parede;

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

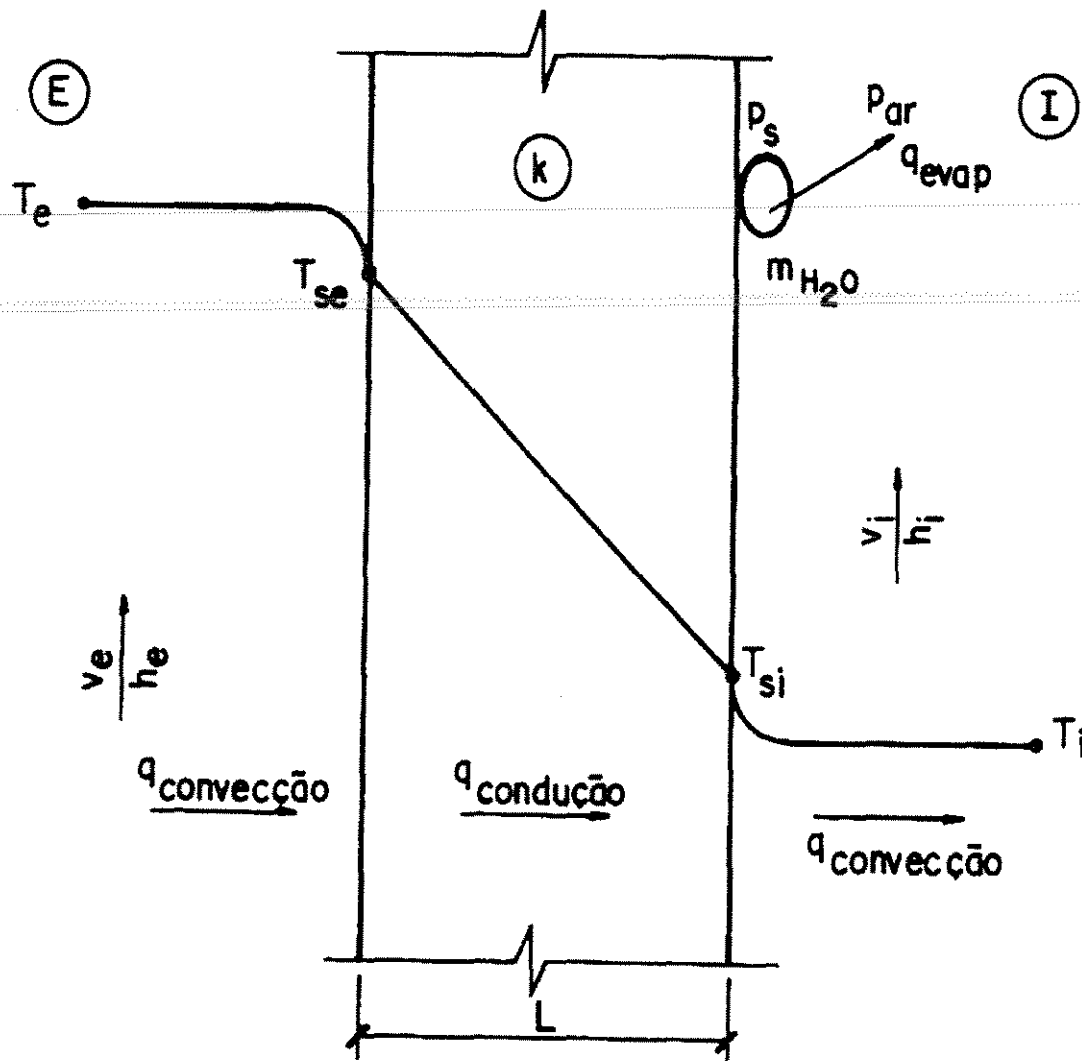
h_{lv} = calor latente de vaporização da água, em J/kg ;

C_{dif} = coeficiente de difusão, em m^2/s ;

p_s , p_a = pressão de saturação da água à temperatura da superfície e pressão parcial de vapor do ar ambiente interno, em Pa.

Na figura 3.9., que representa uma parede opaca sujeita a um perfil de temperatura, são mostrados processos de transferência de calor. A transferência de calor entre o ambiente externo e interno de uma construção, normalmente não ocorre em regime estacionário, mas sim em regime transiente, devido à natureza variável das condições climáticas externas. O estudo desses fenômenos em regime permanente é apenas aproximado, sendo utilizado para se ter uma idéia preliminar do fenômeno e se obter um pré-dimensionamento das condições térmicas ao nível de anteprojeto.

Na tabela 3.6., resumida de STANGENHAUS (1992), são apresentadas algumas características térmicas dos materiais de construção mais comuns.



q = calor transmitido através da parede por unidade de área (taxa de transferência de calor);
 T_e , T_{se} , T_{si} , T_i = temperaturas do ar externo, da superfície externa, da superfície interna e do ar interno;
 k = condutibilidade térmica do material da parede,
 L = espessura da parede;
 v_e , v_i = velocidade do ar externo e interno;
 h_e , h_i = coeficiente de transferência de calor por convecção externo e interno;

Figura 3.9. - Mecanismos de transmissão de calor em regime permanente.

Tabela 3.6. - Propriedades térmicas de alguns materiais de construção.

Material	Massa específica (kg/m ³)	Condutibilidade (W/m.°C)	Calor específico (J/kg.°C)
Argamassa celular	600	0,30	1047
Argamassa cimento e areia	1800	0,85	754
Concreto simples	2200	1,50	1005
Concreto armado	2400	1,75	1005
Concreto celular	1000	0,40	1000
Concreto com vermiculita	600	0,17	963
Cimento-amianto	1700	0,65	800
Ladrilhos cerâmicos	1800	1,15	900
Telha cerâmica	1700	0,85	921
Tijolo maciço cerâmico	1600	0,81	920
Ardósia	2700	2,10	837
Granito	2800	3,35	840
Madeira	600	0,15	1340
Poliestireno expandido	20	0,035	1420
Espuma de poliuretano	24	0,035	1590
Lã de rocha	100	0,03	754
Lã de vidro	64	0,04	754
Alumínio	2700	230	880
Aço	7800	47	460

3.7.2 Transmissão de calor em regime transiente

Segundo CROISET (1976), a resolução da equação 3.8., considerando uma variação senoidal da temperatura, leva às equações 3.13. e 3.14., que permitem calcular o amortecimento (μ) e o retardo térmico (ϕ). Na figura 3.10. está representada a variação da temperatura do ar externo (T_e) e interno (T_i), considerando a transmissão de calor em regime transiente, mostrando o atraso e o amortecimento térmico.

$$\mu = e^{-L\sqrt{\frac{\pi}{\alpha \cdot P}}} \dots\dots\dots \text{eq. (3.13.)}$$

$$\phi = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{\pi \alpha}} \dots\dots\dots \text{eq. (3.14.)}$$

onde:

e = base do logaritmo neperiano ($e = 2,7182818$);

$\pi = 3,1416$

L = espessura do elemento;

P = período da variação senoidal da temperatura ($P = 24$ h);

α = difusibilidade térmica.

A difusibilidade (equação 3.15.) representa a propriedade de um material em propagar uma onda de temperatura, estando ligada à velocidade de variação das temperaturas, isto é, velocidade de aquecimento ou resfriamento, enquanto a efusibilidade ou poder de penetração (equação 3.16.) representa a propriedade que um material tem de absorver ou devolver energia térmica, estando ligada às sensações térmicas que o organismo humano ou animal observa quando está em contato com materiais termicamente diferentes.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \dots \dots \dots \text{eq. (3.15.)}$$

$$\beta = \sqrt{k \cdot \rho \cdot c} \dots \dots \dots \text{eq. (3.16.)}$$

onde:

α = difusibilidade térmica;

β = efusibilidade térmica;

k = condutibilidade térmica;

ρ = massa específica;

c = calor específico.

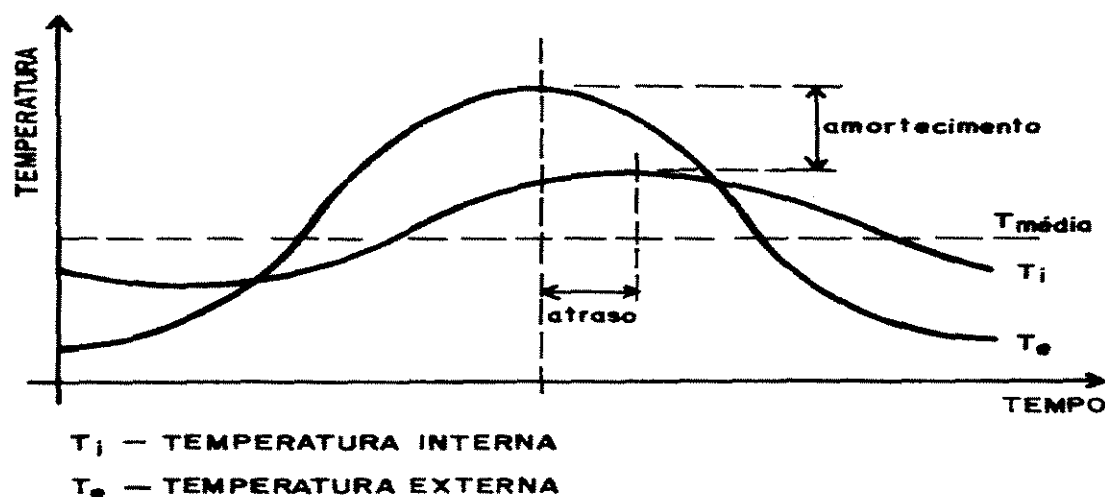


Figura 3.10. - Representação do amortecimento e do atraso térmico.

STANGENHAUS (1992) agrupou os materiais de construção em duas grandes famílias que, quanto à difusividade, mantêm entre si uma relação de 1 para 3 aproximadamente, conforme mostrado na tabela 3.7.. É interessante notar que o desempenho do poliestireno expandido e do concreto é muito parecido, quanto à capacidade de transmitir uma temperatura. No entanto, no decorrer do processo, eles não absorvem a mesma potência térmica, devido as suas diferentes efusividades. A tabela 3.8. gruba os materiais de construção quanto a condutividade e efusividade térmica.

Tabela 3.7. - Difusibilidade de alguns materiais de construção.

Material	Difusividade térmica	
Concreto	$5,5.10^{-7}$	1
Argamassa	$3,9.10^{-7}$	
Concreto celular	$5,0.10^{-7}$	
Tijolo maciço	$5,0.10^{-7}$	
Poliestireno expandido	$4,0.10^{-7}$	
Madeira	$1,5.10^{-7}$ a $1,8.10^{-7}$	3
Fibra de madeira	$1,3.10^{-7}$ a $1,5.10^{-7}$	
Lã mineral	$1,6.10^{-7}$	

Tabela 3.8. - Efusividade de alguns materiais de construção.

Materiais	Condutividade	Efusividade	
		Avaliação	Valor
Metais	Alta	Alta	---
Tijolos cerâmicos	Comum	Comum	1600
Madeiras e aglomerados	Fraca	Média	400
Fibras de madeira com vazios	Fraca	Fraca	100
Isolantes prensados	Muito fraca	Muito fraca	40
Isolantes fibrosos	Muito fraca	Muito fraca	40

3.7.3 Troca de calor por radiação

As aves, sendo criadas em instalações com sistemas de ventilação com as laterais abertas e coberturas com telhados sem forro e sem isolamento térmico, ficam sujeitas ao

efeito da “cobertura quente”, que consiste no efeito da radiação proveniente da alta temperatura em que se encontra a superfície inferior da telha (LOPES e HARDOIM, 1993).

A troca de calor entre a superfície animal e a superfície das telhas depende, além da diferença de temperatura entre as superfícies, de suas emissividades e do fator de forma, o qual representa como a superfície da ave se situa em relação à superfície do telhado e de que forma ocorrem as múltiplas trocas de calor entre elas (HOLMAN, 1983; INCROPERA e DeWITT, 1985; MONTHEITH e UNSWORTH, 1990).

Uma superfície à temperatura (T_s) emite radiação que segundo a lei de Stefan-Boltzman é proporcional à quarta potência da temperatura.

$$E_s = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \dots\dots\dots \text{eq. (3.17.)}$$

onde:

E_s = energia emitida por radiação, em W/m^2 ;
 ε = emissividade da superfície;
 σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);
 T_s = temperatura da superfície, em K.

Para duas superfícies (S_1 e S_2) a diferentes temperaturas ($T_1 > T_2$) ocorre transferência líquida de radiação entre as superfícies ($E_1 - E_2$).

Para duas superfícies infinitas e paralelas, desconsiderando-se as reflexões sucessivas, a troca de radiação entre as superfícies pode ser derivada da equação 3.17., assumindo a expressão seguinte.

$$E_{1,2} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots \text{eq. (3.18.)}$$

onde:

$E_{1,2}$ = energia radiante transferida da superfície 1 para a superfície 2, em W/m^2 ;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = emissividades das superfícies 1 e 2;
 T_1 = temperatura da superfície 1, em K;
 T_2 = temperatura da superfície 2, em K.

Considerando-se as reflexões múltiplas, a equação 3.18. assume a forma seguinte.

$$E_{1-2} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) / (1 - (1 - \varepsilon_1) \cdot (1 - \varepsilon_2)) \dots\dots\dots \text{eq. (3.19.)}$$

Para pequenos objetos de forma definida (S_1) envolvidos numa superfície relativamente grande (S_2), a radiação emitida pelo objeto e sendo refletida pela superfície não se reflete totalmente para o objeto. A transferência de calor, neste caso, pode ser calculada pela modificação introduzida por Christiansen (MONTHEITH e UNSWORTH, 1990), na equação de Stefan-Boltzman.

$$E_{1-2} = \frac{\sigma \cdot A_1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \cdot \frac{A_1}{A_2}} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots \text{eq. (3.20.)}$$

onde:

A_1 = área da superfície do corpo envolvido;

A_2 = área da superfície envolvente.

Uma simplificação da equação anterior é apresentada, a seguir, podendo ser usada com boa aproximação quando as superfícies são difusas e a região envolvente é muito maior que a envolvida.

$$E_{1-2} = \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots \text{eq. (3.21.)}$$

O uso da equação 3.21. é bastante razoável para se quantificar a troca de calor entre um frango (pequena superfície) e a cobertura do aviário (grande superfície).

3.7.4. Determinação das propriedades térmicas dos materiais

3.7.4.1. Condutibilidade, condutância e resistência térmica

A condutibilidade térmica (k) é a característica física relacionada à estrutura atômica e molecular da matéria, apresentada pelos materiais (concreto, argamassas, lã de vidro, aço, alumínio), de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. É calculada a partir das grandezas constantes na equação 3.9. e definidas na figura 3.10.. A condutibilidade térmica varia com algumas propriedades dos materiais, tais como, densidade, porosidade, temperatura e umidade.

A condutância térmica (C_t) é a propriedade apresentada por elementos construtivos (lajes, paredes, telhas, etc.), de determinada espessura, e refere-se a sua capacidade de conduzir mais ou menos calor. A resistência térmica (R_t) de um elemento construtivo é o inverso da sua condutância térmica.

Para a determinação experimental da condutibilidade térmica e, consequentemente, da condutância e da resistência térmica, pode-se usar o método das placas quentes protegidas ou o do fio quente.

3.7.4.2. Calor específico, massa específica e capacidade térmica

Calor específico (c) é a característica de um material correspondente à quantidade de calor necessária para elevar em $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($14,5 - 15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) a temperatura de uma massa de 1 kg . A massa específica (ρ) é a característica do material relacionada à concentração de matéria, sendo igual à relação entre a massa e o volume ocupado. A capacidade térmica (Q_t) relaciona-se a elementos construtivos (paredes, coberturas, etc.), sendo a quantidade de

calor necessária para elevar de 1°C , 1 m^2 de um elemento construtivo de espessura “L”, construído com um material com calor específico “c” e massa específica “p”. A capacidade térmica dá idéia da massa (inércia) térmica do fechamento sendo calculada pelo produto $Q_t = c.p.L$.

O calor específico é determinado experimentalmente por meio de um calorímetro adiabático, sendo a massa específica calculada com uma balança hidrostática.

3.7.4.3. Difusibilidade e efusibilidade

A difusibilidade e a efusibilidade são propriedades térmicas dos materiais aplicadas ao regime transiente de transmissão de calor, estando relacionadas com a velocidade de variação das temperaturas e com a velocidade da onda de calor, dando idéia, desta forma, da inércia térmica do material. A difusibilidade e a efusibilidade podem ser determinadas experimentalmente de forma direta por meio de calorímetros, ou de forma indireta, por meio das expressões dadas nas equações 3.15. e 3.16., após a determinação da condutibilidade, calor específico e massa específica.

3.8. O animal

Avanços fantásticos têm sido alcançados quanto à nutrição e à genética, ocasionando crescimento acelerado das aves, produzindo grande redução no tempo de abate. No entanto, suspeita-se que esta grande taxa de crescimento tenha ocasionado problemas de sanidade, como o aparecimento de doenças de natureza tipicamente ambientais, tais como: ascite, síndrome de morte súbita e coccidiose, bem como, em

condições de estresse de calor, altas taxas de mortalidade, principalmente nas últimas semanas antes do abate (ARBOR ACRES, 1996).

A adequação de um manejo conveniente, que possibilite ao “super frango”, genética e nutricionalmente criado hoje, estar em condições de conforto ambiental, implica no perfeito conhecimento da fisiologia animal, sendo tal fator de fundamental importância para o pleno êxito de uma avicultura tecnificada.

3.8.1. Estressores

Todo fator externo que provoca um estresse é denominado estressor (calor, frio, umidade, vento, fome, sede, infecções, dor, medo, ansiedade, isolamento, endoparasitos, ecoparasitos, poluição sonora e elevada densidade populacional). A interação entre estímulo estressor e resposta ao estímulo, seja motora ou endócrina, manifesta-se na forma de uma síndrome, a síndrome de adaptação geral, com a qual o organismo tenta evitar ou reduzir os efeitos do estressor (ENCARNAÇÃO, 1989).

HAHN (1993) considera que os estressores ambientais podem, na extensão em que excedam as capacidades de defesa e compensação dos animais, afetar adversamente o desempenho, a saúde e o bem estar dos animais.

3.8.2. Homeostase

A homeostase é a manutenção do equilíbrio orgânico, embora as condições ambientais variem. O sistema nervoso é o responsável pela integração dos diferentes sistemas e aparelhos orgânicos, regulando o contato que o animal mantém tanto com o meio externo quanto com o interno. A homeotermia é a homeostase térmica, isto é, a

propriedade que alguns animais (aves e mamíferos) possuem de manter a temperatura corporal constante, ou variando dentro de estreitos limites, enquanto a temperatura externa tem variações apreciáveis. Os mecanismos bioquímicos e fisiológicos são dependentes da temperatura corporal, podendo ser citado como exemplo o metabolismo celular, a frequência cardíaca, a frequência respiratória, os processos digestivos, etc. (MACARI *et al.*, 1994).

O balanço entre os mecanismos de produção e perda de calor faz com que a temperatura corporal permaneça estável, sendo regulada por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais, sempre que o centro termorregulador detecta variações do ambiente térmico, ou seja, da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e da intensidade de radiação solar, conforme consta da figura 3.11..

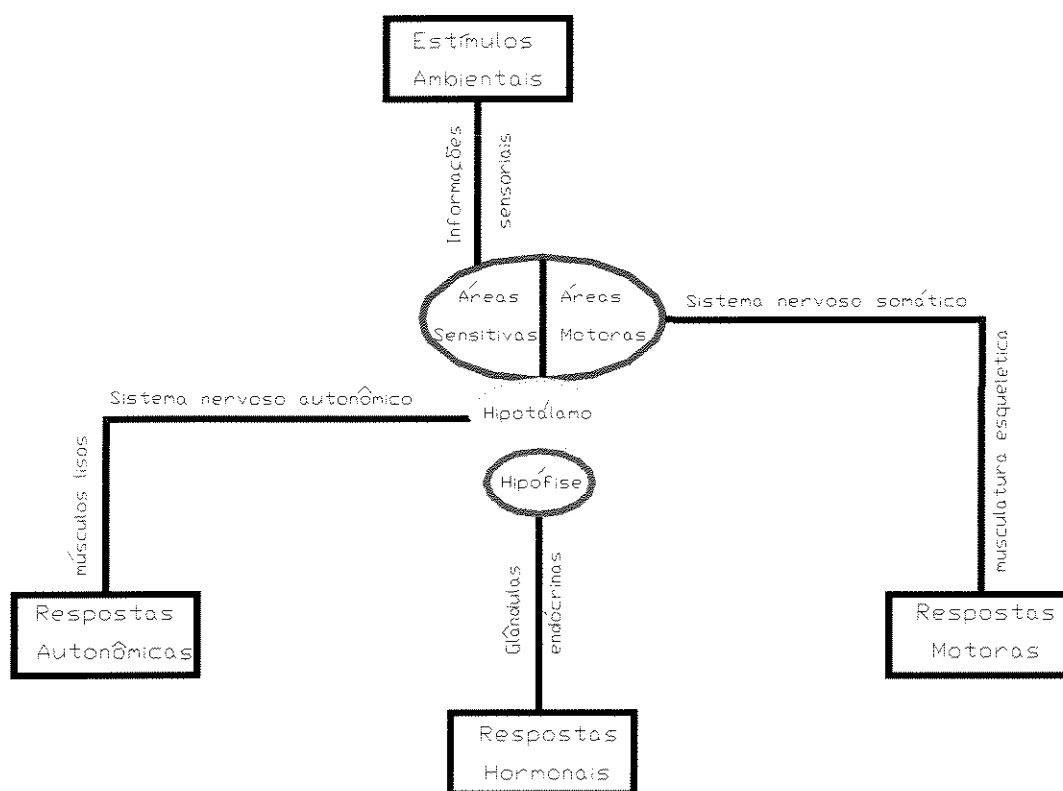


Figura 3.11. - Integração das respostas comportamentais (MACARI *et al.*, 1994).

O cérebro e a medula espinhal formam o sistema nervoso central. Neurônios partem do sistema nervoso central atingindo as diversas partes do corpo animal, constituindo o sistema nervoso periférico. O sistema nervoso periférico é formado pelo sistema somático (motor) e pelo autonômico. O sistema somático é controlado voluntariamente pelo animal sendo responsável pela emissão das respostas comportamentais através da contração dos músculos esqueléticos. O sistema autonômico não tem controle voluntário do animal, sendo composto pelos neurônios que enervam os músculos lisos viscerais, trato intestinal, glândulas e músculo cardíaco. O sistema nervoso central controla ainda as respostas hormonais, por meio do eixo hipotálamo-hipófise-glândulas endócrinas que regula as funções hormonais associadas à concentração de hormônios no sangue. Neurônios aferentes levam ao cérebro informações de natureza elétrica dos receptores, tanto externos quanto internos, espalhados pelo corpo do animal, onde as informações são processadas. O hipotálamo é a parte do cérebro com participação mais ativa no processamento das informações sensoriais e execução de respostas motoras, comportamentais, autonômicas e hormonais. O hipotálamo tem função crucial no funcionamento da glândula pituitária (hipófise), sensação e regulação da temperatura corporal, regulação osmótica, sensações de fome, sede, dor e de certas emoções (ESMAY, 1982; CURTIS, 1983; MACARI *et al.*, 1994).

3.8.3. Homeotermia

Homeotermia é a manutenção, aproximadamente constante, da temperatura interna do corpo, embora a temperatura ambiental varie dentro de limites apreciáveis. A temperatura da maioria dos mamíferos é de cerca de 39 °C, enquanto que a das aves em explorações zootécnicas é de cerca de 41 °C. A temperatura corporal de cada animal

depende de inúmeros fatores, tais como: parte do corpo, raça, idade, nível energético da dieta, atividade animal, nível de produção, ciclo estral, hora do dia e estação do ano (CURTIS, 1983).

A temperatura corporal das aves tradicionalmente é obtida pela inserção de um termômetro na cloaca ou reto. Essa temperatura varia de 41 a 42 °C. No entanto, a temperatura do cérebro é 0,5 a 1 °C menor devido ao sistema arteriovenoso de contracorrente (MACARI *et al.*, 1994).

O controle da temperatura corporal é um exemplo de homeostase, envolvendo respostas e ajustes do sistema nervoso central, autônomo e somático, do sistema hormonal, do sistema muscular e dos aparelhos digestivo e circulatório. A manutenção da homeotermia é obtida por uma série de ajustes fisiológicos, morfológicos e comportamentais, que objetivam equilibrar o calor produzido pelo animal e perdido ou ganho para o ambiente (VANDER *et al.*, 1990).

3.8.3.1. Balanço energético animal

As moléculas dos vegetais clorofilados absorvem a energia solar e, através do processo da fotossíntese, a transformam em energia química, responsável pelo crescimento molecular vegetal. Por intermédio da cadeia alimentar, nos animais as moléculas vegetais são transformadas em carboidratos, lipídios e proteínas, e distribuídas a todo o organismo pela corrente sangüínea. Pelo sistema respiratório o oxigênio do ar ambiente atinge a corrente sangüínea, que conduz o oxigênio às células, provocando a oxidação dos carboidratos e lipídios com conseqüente liberação de energia. Parte dessa energia é consumida na manutenção do metabolismo basal, crescimento celular, produção de

trabalho, produção de carne, ovos, leite e lã e, como o rendimento energético é inferior a 100%, parte é transformada em calor (CURTIS, 1983; RIVERO, 1986).

O total de energia contido no alimento fornecido ao animal é chamado de energia bruta. Parte da energia bruta é perdida na forma de fezes, resultando a energia digestível aparente. Nem toda energia digestível é aproveitada, parte é perdida na urina e outra na forma de metano resultante dos processos de fermentação, restando a energia metabolizável para ser utilizada nos processos de manutenção e de produção. A energia para manutenção é a necessária para manter todas as necessidades vitais do animal, enquanto a energia de produção aquela que será utilizada no crescimento e na geração de carne e ovos, o que caracteriza um processo anabólico. Quando a energia metabolizável não é suficiente para suprir as necessidades de manutenção, o animal irá interromper sua atividade produtiva e até mesmo oxidar suas reservas de gorduras e proteínas, iniciando um processo catabólico. A eficiência bruta de produção é definida como a relação entre a energia bruta contida na dieta e a energia correspondente aos tecidos sintetizados (CLARK, 1981).

3.8.3.2. Balanço térmico animal

O calor produzido pelo animal mais o ganho do ambiente deve ser igual ao calor perdido, para que ocorra o equilíbrio térmico que resulta na homeotermia animal. O calor perdido ou ganho pelo animal ocorre pela forma sensível e latente. O calor sensível, ganho ou perdido, transmite-se por condução através da cobertura e tecido animal, convecção entre o ar e superfície animal e radiação do céu ou superfícies vizinhas para a superfície animal. O calor latente corresponde à evaporação d'água que ocorre na superfície animal (sudorese) e nas vias respiratórias, devido à respiração.

$$M + G = P \dots\dots\dots \text{eq. (3.17.)}$$

sendo:

M = calor metabólico produzido pelo animal;

G = calor ganho pelo animal do ambiente por condução, convecção e radiação;

P = calor perdido pelo animal para o ambiente por via sensível e latente.

Na figura 3.12. é mostrada a variação da temperatura corporal e da produção de calor na forma sensível e latente em função da temperatura ambiental efetiva.

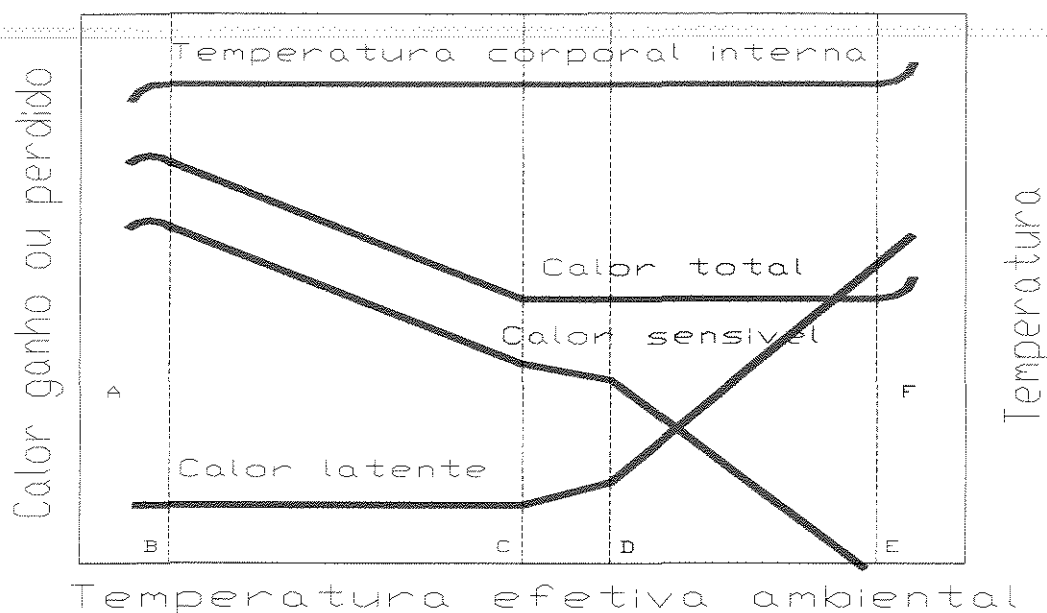


Figura 3.12. - Relação entre produção de calor animal e temperatura ambiental.

A figura 3.12. é a representação gráfica da equação do balanço térmico. A temperatura ambiental, representada no eixo horizontal, incorpora o efeito da radiação, vento e umidade relativa. A zona CD corresponde à faixa de temperatura ambiental onde o animal exerce o menor esforço de termorregulação (maior eficiência térmica), sendo chamada de zona de conforto térmico. A faixa CE é chamada de zona de termoneutralidade correspondendo a um esforço mínimo para que o animal acione os mecanismos de termorregulação. O ponto C, chamado de temperatura crítica inferior, é aquele em que o animal aciona os mecanismos de produção de calor de modo a manter o equilíbrio térmico

interno. Os pontos B e E são os de hipotermia e hipertemia, respectivamente. A e F representam, respectivamente, as regiões onde há óbito, seja pelo frio ou pelo calor.

3.8.3.3. Mecanismos de termorregulação

Para manter a termoneutralidade, os animais se utilizam de diversos mecanismos comportamentais e fisiológicos. Para combater os efeitos do estresse de frio, comportamentalmente, os animais se abrigam de correntes de vento, se aconchegam e aumentam o nível de atividade física. Os principais mecanismos fisiológicos são o aumento da ingestão de alimentos, diminuição da circulação periférica, piloereção, glicogênese por meio de tremor muscular, queima de tecidos adiposos e, em último caso, utilização das próprias proteínas num processo catabólico. Por outro lado, em casos de estresse de calor os animais se prostram, se abrigam da radiação solar sob coberturas que proporcionem sombras, procuram lâminas de água ou terrenos úmidos onde se espojam, diminuem a ingestão de alimentos, aumentam a ingestão de água, bem como aumentam os batimentos cardíacos, a circulação periférica e a taxa de respiração e de sudorese (CLARK, 1981; ESMAY, 1982; CURTIS, 1983; NÄÄS, 1992; MACARI *et al.*, 1994; NÄÄS, 1995).

3.8.3.4. Zona termoneutra para frangos de corte

3.8.3.4.1. Temperatura

As aves produzem calor continuamente devido a sua atividade metabólica e muscular, bem como podem receber calor do ambiente a maior parte do dia. Este calor deve ser eliminado para que não haja elevação da temperatura corporal.

Segundo RUTZ (1994), citando North e Bell (1990), a temperatura do pinto ao nascer é de aproximadamente 39,7 °C. A partir de então, sofre um incremento gradativo até atingir a temperatura da ave adulta com 3 semanas de idade. Em aves adultas, a temperatura pode variar de 41 a 42 °C. As aves de menor peso corporal apresentam temperatura corporal maior que as de maior porte, bem como aves masculinas apresentam temperatura superior às femininas. A atividade aumenta a temperatura corporal sendo a temperatura de aves criadas em cama superior àquelas criadas em gaiolas. A temperatura corporal aumenta após aumentar a temperatura ambiental, bem como após o consumo de alimentos.

MACARI *et al.* (1994) justificam a fixação da temperatura corporal nas aves pela existência, no hipotálamo das aves, de grupos de neurônios que respondem ao frio e outros que respondem ao calor, os quais são acionados por meio dos receptores e sistema nervoso autônomo e mandam respostas aos efetores controlados pelo sistema motor, desencadeando respostas fisiológicas e comportamentais. Os neurônios sensíveis ao calor são acionados quando a temperatura corporal aumenta e induzem respostas periféricas de perda de calor. Os neurônios sensíveis ao frio são ativados quando a temperatura corporal diminui e induzem respostas periféricas associadas à produção de calor. Quando a atividade dos neurônios responsivos ao calor e ao frio se igualam, a produção será igual à perda de calor, e a temperatura corporal será mantida estável. Este ponto de atividade é chamado de “*set-point*” e, para frangos de corte, é de cerca de 41 °C.

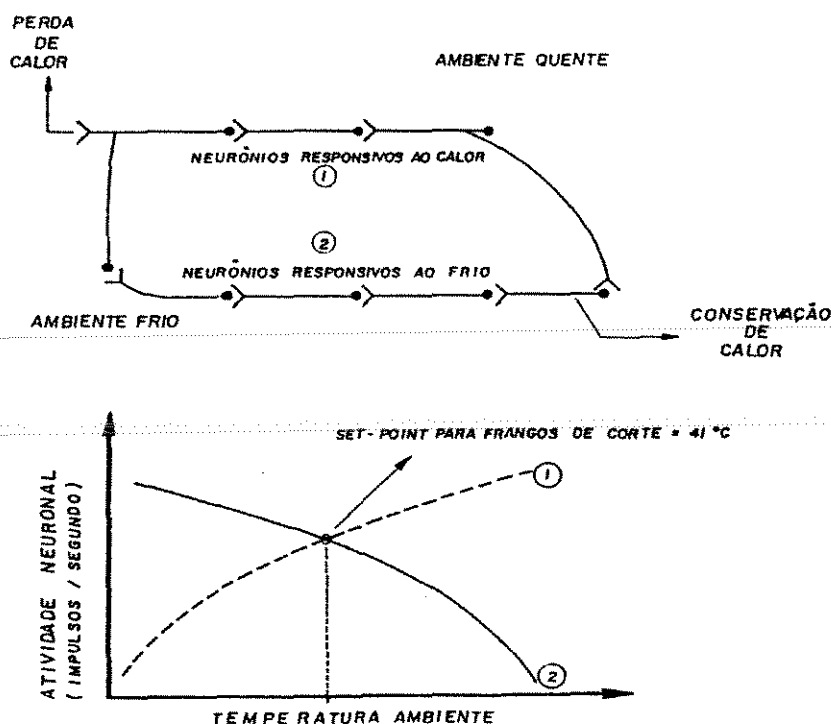


Figura 3.13. - Respostas ao intercâmbio de calor e fixação da temperatura corporal (MACARI *et al.*, 1994).

A fixação das temperaturas limites da zona de conforto é tarefa difícil de ser realizada por depender de diversas variáveis, dentre as quais podem ser citadas: a) as condições de conforto do frango não dependem só da temperatura, mas também das outras variáveis termodinâmicas do ar (umidade relativa, vento), bem como da radiação solar, as quais variam com a região do país, a época do ano e a hora do dia; b) a zona de conforto depende da idade da ave, sendo completamente diferente para pintos e para a ave adulta; c) densidade, linhagem, condições de nutrição (energia da dieta); d) manejo, bem como condições das instalações (piso, telhado, etc.) e equipamentos também influem nas condições de conforto.

No Brasil não existem granjas de frango de corte com ambiente totalmente controlado. Comparando-se o desempenho de frangos de corte mantidos a temperaturas

constantes (21 – 22 °C) e/ou flutuações (17 – 35 °C), a temperatura constante determinou melhores índices produtivos (MACARI *et al.*, 1994).

O pinto de um dia possui temperatura termoneutra alta (35 °C), devido a sua baixa capacidade de produzir calor, associada ao fato de ter grande relação área/volume corporal, o que dificulta a retenção de calor (VAN DER HEL *et al.*, 1991).

RUTZ (1994) considerou, para fixação da zona de conforto da ave adulta, os valores resumidos de vários autores por FREEMAN (1988), que estabeleceram a faixa de termoneutralidade de 21 a 28 °C. MILLIGAN e WINN (1964) sugeriram que a faixa ótima de temperatura, para desempenho de frangos de corte, é de 15,5 a 26,5 °C, e que nessa faixa de temperatura a variação da umidade do ar parece não exercer influência no desempenho dos frangos. Para que as aves de corte atinjam seu potencial genético, são necessárias temperaturas entre 24 e 30 °C, durante as duas primeiras semanas de vida, e entre 15 e 27 °C, a partir desta idade (REECE e LOTT, 1982). Temperaturas para criação de frangos de corte são sugeridas por MONTEIRO *et al.* (1993) e por FABRÍCIO (1994) estando os valores apresentados na tabela 3.9..

Tabela 3.9. - Temperaturas ideais de acordo com a fase de criação.

Monteiro <i>et al.</i> (1993)		Fabrício (1994)	
Idade (dias)	Temperatura (°C)	Idade (dias)	Temperatura (°C)
1-7	35	1-3	31
8-14	32	4-7	28
15-21	29	8-14	26
22-28	27	15-21	24
29-35	24	22-30	23
36-abate	21	31-abate	21

3.8.3.4.2. Umidade relativa

Depois da temperatura ambiente, a variável termodinâmica do ar que mais influencia a termoneutralidade da ave é a umidade relativa. LOPES e HARDOIM (1993) citam que, além de influir nos processos termorregulatórios, a alta umidade relativa do ar provoca a proliferação de microrganismos patogênicos, com o conseqüente aparecimento de doenças nos animais, enquanto a umidade muito baixa provoca ressecamento das vias respiratórias da ave, ocasionando desconforto que reflete em redução do consumo de alimento e do ganho de peso.

A umidade relativa assume importância quando a temperatura ambiental supera 25 °C, não suportando a ave, simultaneamente, alta temperatura e alta umidade relativa do ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, menos umidade, conseqüentemente menos calor latente, é retirado das vias respiratórias do frango, tornando a respiração ofegante, podendo a ave não ter fôlego para manter uma alta taxa respiratória que consiga remover todo o calor corporal produzido, levando o frango à hipertemia, prostração e morte (RUTZ, 1994).

DEATON *et al.* (1977) estudaram o efeito de diversas temperaturas e umidades relativas do ar, verificando que, frangos com oito semanas de idade, criados em ambiente de 26,7 °C e umidade relativa de 76%, tiveram ganho de peso 20% superior aos criados a 35 °C e umidade de 38%. MILLIGAN e WINN (1964) sugeriram que a faixa ótima de temperatura para desempenho de frangos de corte é de 15,5 a 26,5 °C, e que nessa faixa de temperatura a variação da umidade do ar parece não exercer influência no desempenho dos frangos.

Quando o ar está seco, a perda de calor por via latente é um processo bastante eficiente de dissipação de calor pela ave. Quando a umidade relativa e a temperatura do ar são altas, a ave não pode ofegar com rapidez suficiente para remover todo o calor que

precisa dissipar, sendo, pois, a alta umidade relativa associada a altas temperaturas, fator limitante à produtividade das aves. Para temperatura de 24 °C e umidade relativa de 40%, o frango pode dissipar 50% de seu calor corporal por via latente, enquanto que para a mesma temperatura e umidade relativa de 85% (ar úmido), somente 22% do calor total consegue ser eliminado por via latente (COSTA e HUNTON, 1979).

FABRÍCIO (1994), observando o comportamento da mortalidade semanal e acumulada, em frangos com idade de 49 dias, verificou um aumento significativo de mortalidade a partir dos 35 dias, quando a temperatura máxima do dia ultrapassava 31 °C associada à umidade relativa do ar maior que 70%. Segundo a ASHRAE (1981), a faixa de umidade considerada como satisfatória para a criação de frangos de corte está entre 50 e 80%.

3.8.3.4.3. Combinação de variáveis ambientais

Os efeitos das variáveis termodinâmicas do ar não devem ser analisados isoladamente, pois existe uma inter-relação entre os efeitos de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e intensidade de radiação solar. ESMAY (1982) desenvolveu o conceito de temperatura ambiental efetiva, que considera a temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido, o movimento do ar, a radiação e a temperatura da circunvizinhança. Os diversos índices de conforto de natureza biofísica, descritos posteriormente [item (3.9)], também de alguma forma consideram o efeito conjunto de duas ou mais variáveis termodinâmicas do ar.

3.8.3.5. Produção de calor por frangos de corte

Dados referentes à produção de calor são muito variados, pois dependem de fatores, como: tipo de ave, atividade, nutrição, temperatura, entre outros (TASAKI e SASA, 1970).

Um dos fatores que mais influencia a produção de calor pela ave é a temperatura ambiental.

A taxa metabólica das aves é maior no inverno que no verão (TASAKI e SAKURAI, 1969).

RUTZ (1994) afirma que uma ave pesando 1,8 kg produzirá uma quantidade de calor em torno de 5 kcal. O calor produzido pelos frangos de corte é utilizado para manutenção e produção. Dentro da zona termoneutra, o calor total produzido pelos animais pode ser considerado praticamente constante. PEDERSEN (1977), STRØM (1978), ERIKSSON (1982) e C.I.G.R. (1984) sugerem as equações apresentadas na tabela 3.10., para cálculo do calor total dissipado por frangos de corte na zona de termoneutralidade.

Tabela 3.10. - Calor dissipado por frangos de corte para a zona termoneutra ($T = 20^{\circ}\text{C}$).

Equações	I) Pedersen - $C_t=9,87.m^{0,73}$ II) Eriksson - $C_t=10,88.m^{0,70}$ III) Strøm - $C_t=10,00.m^{0,50}$ IV) C.I.G.R. - $C_t=10,00.m^{0,75}$										
	Massa (kg)	0,05	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
	I	1,11	1,84	3,59	5,95	8,00	9,87	11,62	13,27	14,85	16,37
	II	1,34	2,17	4,12	6,70	8,40	10,88	12,72	14,45	16,10	17,68
	III	2,23	3,16	5,00	7,07	8,66	10,00	11,18	12,25	13,23	14,14
IV	1,06	1,78	3,54	5,95	8,06	10,00	11,82	13,55	15,22	16,82	

Observação:

C_t = calor total, em W;

m = massa corporal do frango, em kg.

Os valores dados na tabela anterior podem ser corrigidos em função da temperatura pela equação 3.18., apresentando variação de $\pm 4\%$, enquanto a temperatura varia de $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ (STRØM, 1978).

$$F = 4.10^{-5} \cdot (20-t)^3 + 1 \dots\dots\dots \text{eq. (3.18.)}$$

onde:

F = fator de correção do calor total;
t = temperatura ambiente, em °C.

O calor total produzido pelas aves se compõe de calor sensível e latente, dependendo a relação entre eles da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, do tipo e condições da cama, alimentação, etc. STRØM (1978) sugere a equação seguinte para relacionar calor sensível e latente, considerando temperaturas superiores a 10 °C e assumindo, para calor latente da água, o valor 2448 kJ/kg_{água}.

$$C_s = C_t [0,8 - 1,85 \cdot 10^{-7} \cdot (t + 10)^4] \dots \dots \dots \text{eq. (3.19)}$$

onde:

C_s = calor sensível, em W;
C_t = calor total, em W;
t = temperatura ambiente, em °C.

Na figura 3.14. é mostrada a variação do calor total, sensível e latente, produzidos por frangos de corte, em época de abate (m ≈ 2 kg), em função da temperatura ambiente, devido à atividade metabólica, considerando a equação do C.I.G.R. (1984) e correções sugeridas por STRØM (1978).

Grande parte do calor latente gerado no interior da instalação deve-se, no entanto, à água expelida pelas aves nas fezes e urina, que é parcialmente absorvida pela cama e parte evaporada, contribuindo para aumento da umidade relativa do ar no interior da instalação.

Na tabela 3.11., adaptada de NORTH e BELL (1990), são apresentados dados sobre a ingestão e excreção de alimentos e água, para aves Leghorn com peso corporal médio de 1,8 kg.

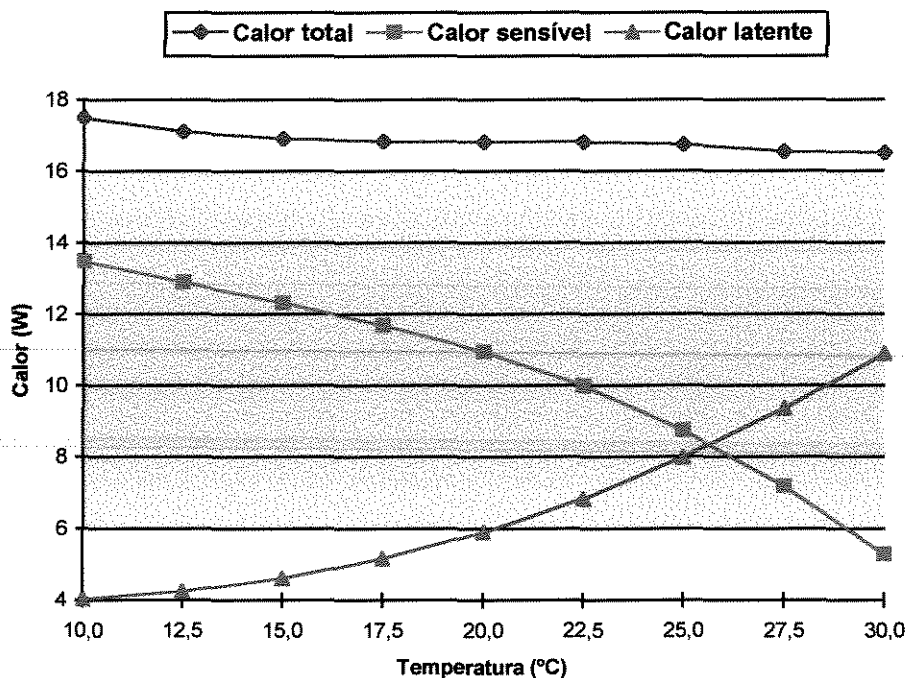


Figura 3.14. - Produção de calor total, sensível e latente por frangos de corte.

Tabela 3.11. - Ingestão e excreção de alimento e água em função da temperatura.

	Temperatura ambiente (°C)					
	10	16	21	27	32	38
Consumo de ração (g/ave.dia)	116	110	100	87	70	48
Consumo de água (ml/ave.dia)	163	178	201	254	337	409
Excreta produzida (kg/ave.dia)	162	153	140	121	97	67
Conteúdo aquoso Fecal (ml/ave.dia)	130	124	115	101	82	57

A umidade de equilíbrio da cama é função da umidade relativa do ar ambiente, bem como do tipo de material da cama e das suas condições de reutilização. Segundo MACARI (1996), em ambientes secos ($UR < 50\%$) a umidade da cama varia entre 5 e 10%. No entanto, em ambientes úmidos ($UR > 70\%$) a umidade da cama pode elevar-se para valores de até 80%. O valor ótimo para frangos de corte está entre 10 e 40%. Para uma cama com

umidade acima daquela de equilíbrio e para um aviário bem ventilado pode-se supor que todo conteúdo aquoso fecal irá se evaporar.

Na figura 3.15. é apresentada a curva de regressão do calor latente correspondente à água evaporada das fezes e urina, para uma ave na fase de abate, em função da temperatura no interior do aviário, considerando, como calor latente da água, o valor de 2448 kJ/kg_{água}.

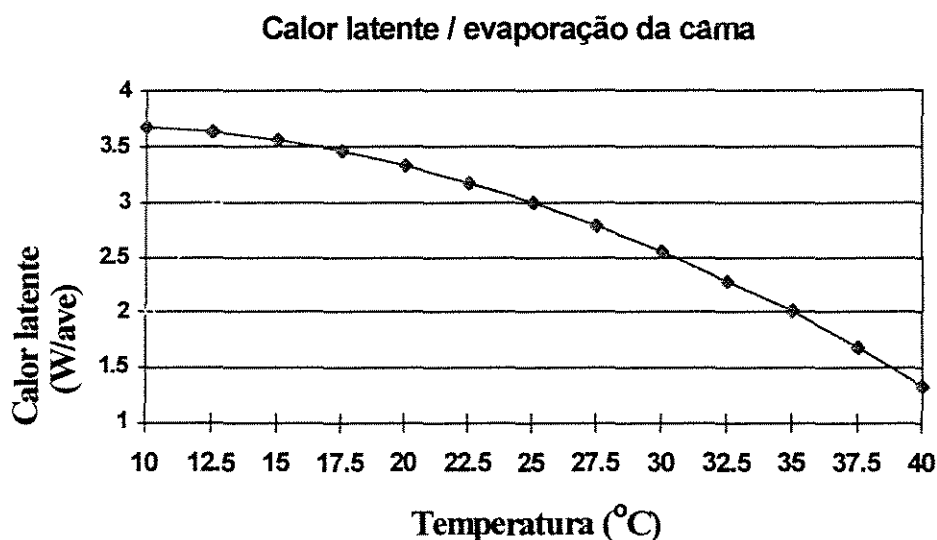


Figura 3.15. - Calor latente devido à água evaporada da cama.

Os valores de energia calorífica, sob a forma de calor sensível, calor latente, calor total e vapor d'água dissipados por frangos de corte, constantes da tabela 3.12., são os sugeridos por ALBRIGHT (1990) e os da tabela 3.13., pelo C.I.G.R. (1984).

Tabela 3.12. - Calor sensível, total e vapor d'água dissipado por frangos de corte (ALBRIGHT; 1990).

Peso (kg)	Temperatura (°C)	Calor sensível (W/kg)	Calor total (W/kg)	Vapor d'água (g _{água} /h.kg)
0,1	29	4,5	19,5	22,0
0,4	24	6,5	15,0	12,5
0,7	16	6,0	13,0	10,5
0,7	27	3,0	10,0	10,5
1,0	16	5,0	10,5	8,0
1,0	27	3,0	9,5	9,5
1,5	16	4,5	9,5	7,5
1,5	27	3,0	9,0	9,0
2,0	17	4,0	8,5	6,5

Tabela 3.13. - Calor sensível, total e vapor d'água dissipado por frangos de corte (C.I.G.R.; 1984).

Peso (kg)	Temperatura (°C)	Calor sensível (W)	Calor total (W)	Vapor d'água (g _{água} /h.kg)
0,05	30	6,6	22,0	20,0
0,3	30	4,3	13,0	13,0
0,5	30	3,8	11,4	11,4
1,0	30	3,1	9,6	9,5
1,5	30	2,9	8,7	8,6

3.9. Índices de conforto térmico

Índice de conforto é um avaliador das condições de conforto térmico, em relação às condições ambientais, que leva em consideração, além da temperatura, outras variáveis psicrométricas do ar. Segundo CLARK (1981), o objetivo do uso de índices de conforto, desenvolvidos tanto para humanos quanto para animais, é o de apresentar, em uma única variável, fatores que caracterizem o ambiente térmico e o estresse que o mesmo possa estar causando. NÄÄS (1989) classificou os índices de conforto térmico conforme a base para o seu desenvolvimento. Os índices biofísicos são baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor e as variáveis

ambientais. Os índices fisiológicos são os que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições físicas ambientais. Os índices subjetivos são os que se baseiam em sensações subjetivas de conforto experimentadas em função da variação dos elementos térmicos.

Diversos autores têm desenvolvido índices de conforto, tanto para uso humano, quanto para explorações zootécnicas. FANGER (1970), durante os anos 60, estudou, para humanos, os fatores intervenientes no conforto térmico e a aplicabilidade de diversos índices de conforto. CLARK (1981) relata diversos índices térmicos aplicados a animais. DESHAZER e BECK (1988) desenvolveram um índice de conforto para poedeiras através de dez combinações de ambientes sob estresse térmico que envolveram temperaturas e umidades relativas variando de 30 a 38 °C e 50% a 90%.

Três índices, no entanto, têm tido grande aplicação na avaliação do conforto térmico animal: o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR).

3.9.1. Índice de temperatura e umidade

O índice de temperatura e umidade (ITU), desenvolvido por THOM (1958), baseia-se na temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e na umidade relativa do ar (UR), avaliada a partir da temperatura do ponto de orvalho (T_{po}). O Índice de temperatura e umidade é determinado pela equação 3.20..

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} - 330,08 \dots\dots\dots \text{eq. (3.20.)}$$

Em que:

ITU = Índice de temperatura e umidade;

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, em K;

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho, em K.

3.9.2. Índice de temperatura do globo negro e umidade

De acordo com BOND *et al.* (1976), o animal exposto à radiação solar recebe uma carga térmica de radiação que resulta em alto nível de desconforto. Neste caso, o ITU não reflete o desconforto animal e a subsequente perda de produtividade. Um índice mais preciso que o ITU para avaliar o conforto térmico nestas condições é o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU). Segundo BUFFINGTON *et al.* (1977), que desenvolveram este índice, ele incorpora a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar e a intensidade de radiação solar em um único valor. O índice de temperatura do globo e umidade é calculado pela equação 3.21..

$$\text{ITGU} = T_{\text{gn}} + 0,36 T_{\text{po}} - 330,08 \dots\dots\dots \text{eq. (3.21.)}$$

Em que:

ITGU = Índice de temperatura do globo negro e umidade;

T_{gn} = temperatura do globo negro, em K;

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho, em K.

Em pesquisas conduzidas com frangos de corte, em condições tropicais, OLIVEIRA e ESMAY (1981) concluíram que, em regiões de clima quente, o ITGU é melhor indicador de conforto térmico que o ITU. A diferença entre a temperatura do globo negro (T_{gn}) e a do ar (T_{bs}) reflete o efeito da radiação solar sobre o animal.

3.9.3. Carga térmica radiante

Para determinação da carga térmica radiante (CTR), em W/m^2 , de acordo com ESMAY (1982), foi empregada a equação 3.22..

$$\text{CTR} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (\text{TRM})^4 \dots\dots\dots \text{eq. (3.22.)}$$

em que:

$$TRM = \{[2,51 \cdot V^{0,5} \cdot (T_{gn} - T_{bs}) + (T_{gn} / 100)^4]^{0,25}\} / 100$$

TRM = temperatura radiante média;

T_{gn} = temperatura do globo negro, em K;

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, em K;

V = velocidade do ar, em m/s.

3.9.4. Índices de produtividade animal

MALAVAZZI (1992) sugere os seguintes índices de produtividade zootécnica para avaliar o desempenho produtivo de um lote de aves:

a) peso vivo médio:

Avaliado periodicamente ou no final da produção. É obtido pela divisão do peso total de parte ou da totalidade do lote pelo número de frangos considerados. O peso vivo médio desejável é de 2 kg, para machos e fêmeas juntos, aos 42 dias.

b) conversão alimentar média:

Corresponde à relação entre o consumo de ração e o peso adquirido pelo lote ou parte dele, no intervalo de tempo considerado. A conversão alimentar média não deve exceder 2,2:1.

c) mortalidade:

É a relação entre o número de animais mortos e o número de animais do plantel, num determinado período de tempo, cujo valor aceitável deve ser menor que 2%, até a sexta semana de idade dos frangos.

Aves submetidas a temperaturas ambientais elevadas respondem com redução do consumo de ração, numa tentativa de ter reduzido o calor gerado pela combustão de alimento, comprometendo o ganho de peso e a conversão alimentar (COWAN e MICHIE, 1978; HOWLIDER e ROSE, 1987).

O considerável progresso observado na obtenção de linhagens cada vez mais precoces, tem coincidido com maior mortalidade dos frangos de corte em consequência da alta temperatura. Embora não existam dados precisos, no Brasil, do percentual em que ela ocorre, GONZALES *et al.* (1990) constataram que 35% da mortalidade dos casos examinados num determinado período foi atribuído ao calor. Nos Estados Unidos, no Estado da Geórgia, em um mês de verão de 1986, um milhão de aves morreram em virtude do calor (Brown, 1986, citado por LOTT, 1991).

3.9.5. Índices fisiológicos animal

Índices de estresse ambiental têm sido utilizados em animais considerando a taxa respiratória, batimento cardíaco, o volume respiratório, a pulsação, a temperatura corporal (interna, retal, superficial, etc.), níveis de hormônios, o nível de atividade, o tipo de cobertura corporal e outras características fisiológicas. A temperatura corporal, a taxa respiratória e o volume respiratório são as respostas ao estresse térmico mais utilizadas, isoladamente ou em combinação, para o desenvolvimento de índices de conforto térmico animal (FERH *et al.*, 1982). BAÊTA *et al.* (1987) afirmaram que as respostas dos animais ao estresse térmico são fisiológicas e comportamentais, variando de espécie para espécie, e que os índices desenvolvidos para humanos não são diretamente aplicados para animais.

Por ser a temperatura corporal influenciada pela temperatura ambiente, a medição da temperatura retal é, por vários pesquisadores, utilizada como variável relacionada ao conforto térmico (ARIELI *et al.*, 1980; SYKES e FATAFTAH, 1986; TEETER *et al.*, 1992; CURVELLO *et al.*, 1994).

Em episódios de calor, ocorre uma rápida elevação de epinefrina (EDENS e SIEGEL, 1976; STURKIE, 1976) e, com essa substância, a glicogenólise hepática e

muscular, com conseqüente liberação de glicose para a corrente sangüínea (FREEMAN, 1969). A determinação desse metabólito pode, indiretamente, servir como indicador de estresse térmico (CURVELLO *et al.*, 1994).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um sistema de resfriamento no telhado de instalações destinadas à avicultura, composto de uma telha com características de absorção e retenção de água e uma rede de micro-aspersores com função de irrigação intermitente do telhado (figura 4.1.). A telha com características absorventes objetiva reter água, que ao sofrer posterior evaporação, promoverá um resfriamento evaporativo do telhado. O uso dos micro-aspersores visa minimizar o consumo d'água, enquanto a intermitência da aspersão permitir que as trocas térmicas entre a água e a telha sejam preferencialmente evaporativas e não por condução ou convecção. A telha absorvente desenvolvida, e que foi testada neste trabalho, se compõe de uma chapa de cimento-amianto de 4 mm de espessura coberta por uma camada de 5 mm de argamassa de cimento e vermiculita no traço 1:4 (figura 4.2.).



Figura 4.1. - Modelo em escala reduzida e distorcida com cobertura de telhas absorventes e rede de micro-aspersores.

4.1. Características da argamassa absorvente

Em testes preliminares, foram observados materiais que se mostravam com potencial de serem utilizados como materiais incorporadores de água quando misturados ao cimento Portland, bem como apresentassem características de leveza. Foram testados o sabugo de milho triturado, o bagaço de cana moído, a vermiculita e a celulose. As argamassas de sabugo de milho e de bagaço de cana se mostraram de difícil trabalhabilidade para confecção da capa das telhas em pequenas espessuras, além de apresentarem baixa resistência quando comparadas com as de vermiculita e celulose, razão pela qual foram descartadas do plano desta pesquisa. As argamassas de cimento Portland com celulose têm sido objeto de diversas pesquisas (SOROUSHIAN *et al.*, 1994), no entanto, seu uso foi descartado devido ao ataque alcalino ocasionado à fibra de celulose pelo cimento. Com o desenvolvimento de cimentos menos alcalinos, do tipo escória de alto forno e de microssílicas, a confecção de argamassas de cimento e celulose tornar-se-ia de potencial aplicação (TEZUCA, 1989^b; JOHN e AGOPYAN, 1993).

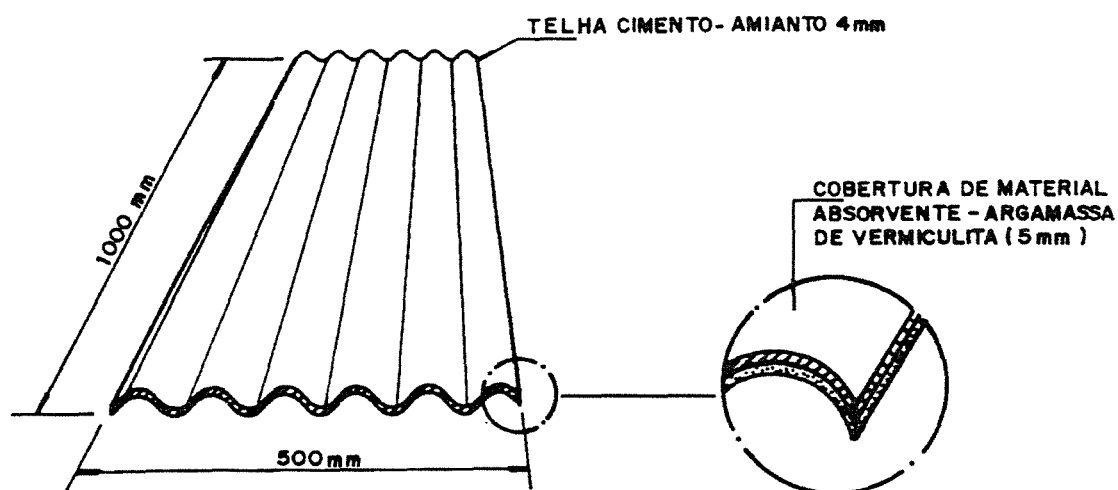


Figura 4.2. - Detalhe da telha absorvente.

4.1.1. Características mecânicas das argamassa

A argamassa de cimento-vermiculita foi confeccionada com cimento Portland, tipo CP II E 32, marca Votoran e vermiculita expandida, de granulometria média, marca Plantmax, fabricada pela Eucatex Mineral Ltda, cujas características granulométricas são apresentadas no apêndice 10.

Foram determinadas a massa específica aparente seca, o índice de vazios, a absorção d'água e a resistência à compressão de argamassas de cimento e vermiculita. A massa específica aparente seca, o índice de vazios e a absorção de água foram realizadas em corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, em balança hidrostáticas com resolução de décimo de grama, conforme a norma NBR-9778 (1987). A resistência à compressão foi realizada pela ruptura axial dos mesmos corpos-de-prova, em máquina universal de ensaios, segundo a norma NBR-7215 (1982). Para cada teste foram realizadas três repetições.

Foram testados os seguintes traços para as argamassas.

Tabela 4.1. - Traços testados, em volume, para as argamassas absorventes.

Traços em volume		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
Cimento	volume	1	1	1	1	1	1
	massa (g)	235	235	235	235	235	235
Vermiculita	volume	1	2	3	4	5	6
	massa (g)	30	60	90	120	150	180
Água	massa (g)	125	150	200	350	400	500

4.1.2. Características térmicas das argamassa

As características térmicas das argamassas de cimento-vermiculita foram calculadas a partir da massa específica aparente, determinada nos ensaios mecânicos descritos no item anterior. Segundo CROISET (1976), para materiais homogêneos e do mesmo tipo, a

condutibilidade térmica (k) é proporcional a densidade do material. Foi feita uma análise de regressão, relacionando a variável condutibilidade térmica (k) à massa específica aparente (ρ), a partir de valores constantes da tabela 4.2., selecionados por STANGENHAUS (1992), tendo como fonte Centre d' Energétique – Casamo Clim (1988). Visando a análise dos fenômenos térmicos de transferência de calor em regime variável, foram calculadas a condutibilidade térmica (k), o calor específico (c), a difusibilidade (α) e a efusibilidade (β). Para obtenção da resistência térmica do conjunto (cimento-amianto / argamassa absorvente) foram consideradas as características do cimento-amianto disponíveis na literatura (CENTRE SCIENTIFQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT-CSTB, 1977; KOENIGSBERGER *et al.*, 1977; RIVERO, 1986, FROTA e SCHIFFER, 1995).

Tabela 4.2. - Características térmicas de argamassas de cimento-vermiculita.

Material	ρ (kg/m ³)	k (W/m.°C)	c (J/kg. °C)
Argamassa Cimento-vermiculita	400	0,15	963
	600	0,17	963
	650	0,25	963
	1000	0,33	963
	1400	0,50	963
Equação de regressão	$k = 0,0003545 \cdot \rho - 0,007146$ ($R^2 = 0,967$)		

Tabela 4.3. - Características térmicas de telhas de cimento-amianto.

Material	ρ (kg/m ³)	k (W/m.°C)	c (J/kg. °C)
Cimento-amianto	1700	0,65	800

4.2. Características da rede hidráulica

As características geométricas do sistema de aspersão constam da figura 4.3., sendo na figura 4.4. apresentada uma seqüência de fotos com detalhes dos componentes hidráulicos utilizados.

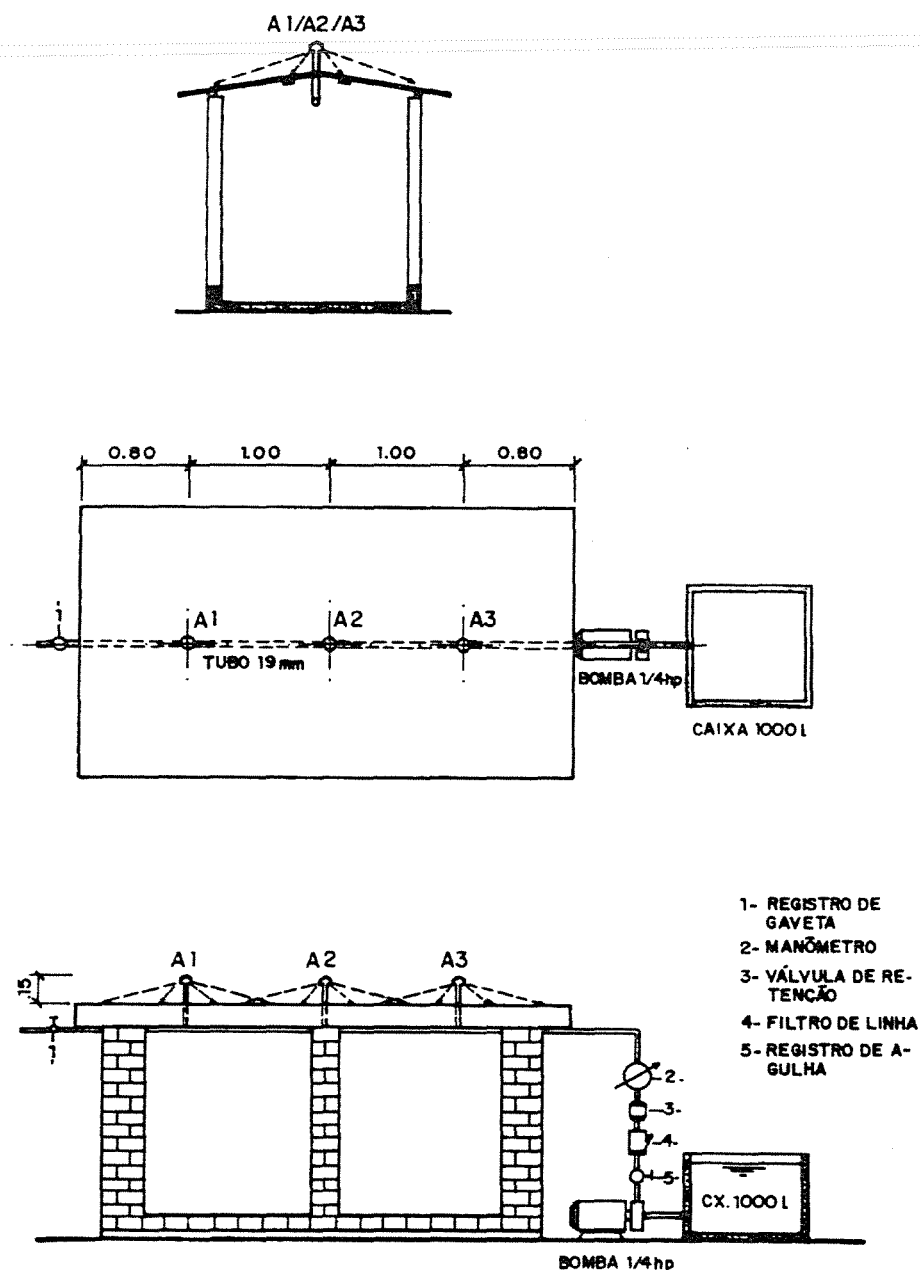
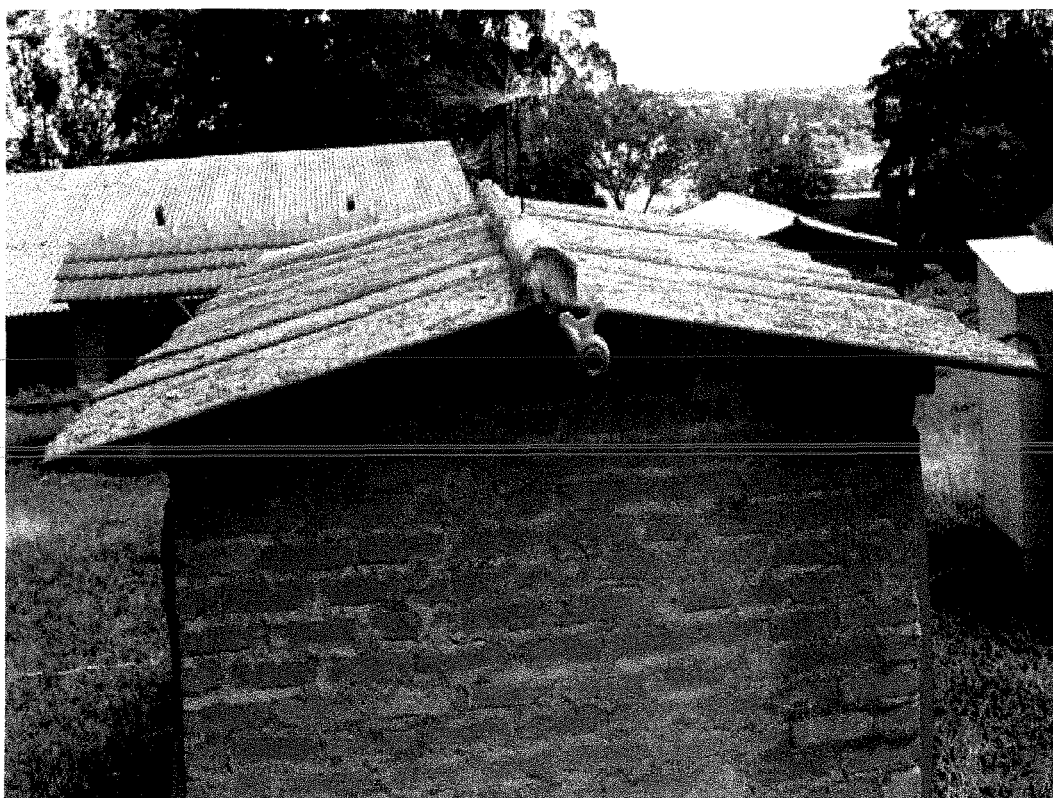
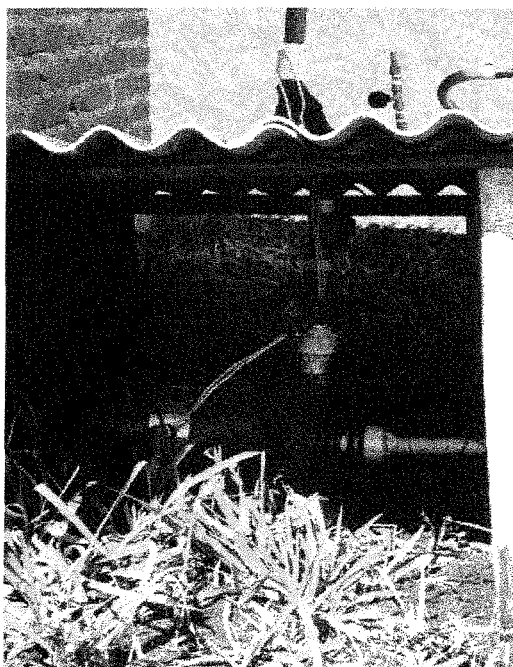


Figura 4.3. - Croqui dos aspersores e da rede hidráulica.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.4. - Fotos com os componentes da rede hidráulica. Tubulação sob o telhado e micro-aspersores (a), bomba d'água registro de agulha, válvula de retenção, filtro de linha e manômetro (b), caixa d' água, filtro de linha e manômetro (c).

Foram realizados testes preliminares nos modelos reduzidos que receberiam os tratamentos com aspersão, de modo a se conseguir boa uniformidade de molhamento sobre as telhas. Por meio de um registro de agulha ($\phi = 19 \text{ mm}$) instalado logo após uma bomba que se tinha disponível ($P = 3/4 \text{ hp}$), variou-se a vazão de modo a obter-se a melhor uniformidade de irrigação possível, para os seis micro-aspersores instalados nos dois modelos reduzidos sujeitos aos tratamentos por aspersão. Verificou-se, então, que com uma vazão total livre de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, obtinha-se a uniformidade de aspersão desejada, sendo o cálculo e escolha da bomba d'água feitos para este valor de vazão e condições hidráulicas e geométricas da tubulação. Na tabela 4.4. são apresentadas as características hidráulicas da bomba d'água de $1/4 \text{ hp}$, marca Dancor, modelo (CAM W-4 1/4m) utilizada no experimento.

Tabela 4.4. - Características técnicas da bomba hidráulica usada no experimento.

Potência	Tubulação		AMT Max.	AMT (m) / Vazão (m^3/h)							
	Sucção	Elevação		4	6	8	10	12	14	16	18
$1/4 \text{ hp}$	25 mm	19 mm	20	9,10	8,42	7,20	5,88	4,83	3,66	2,54	1,10

Na figura 4.5. é mostrado o micro-aspersor, marca Jatíssimo, fabricado pela Simab Agrícola S/A, que usualmente é utilizado em sistemas de irrigação localizada de fruticultura por micro-aspersão. O micro-aspersor utilizado, fabricado em plástico, tem raio de ação de 360° . O catálogo do fabricante informa que o micro-aspersor trabalha em faixas de pressão que vão desde 5 até 35 mca (como nebulizador), atingindo um raio de molhamento de 1,0 a 1,5 m. A pressão ótima de serviço varia entre 15 e 20 mca quando o raio atingido é de 1,5 m. A equação 4.1, determinada experimentalmente em laboratório, permite calcular a vazão dos micro-aspersores, e na tabela 4.5. são apresentados os diâmetros de molhamento em função da pressão de trabalho.

$$q = 8,58 \cdot H^{0,4786} \dots\dots\dots \text{eq. (4.1.)}$$

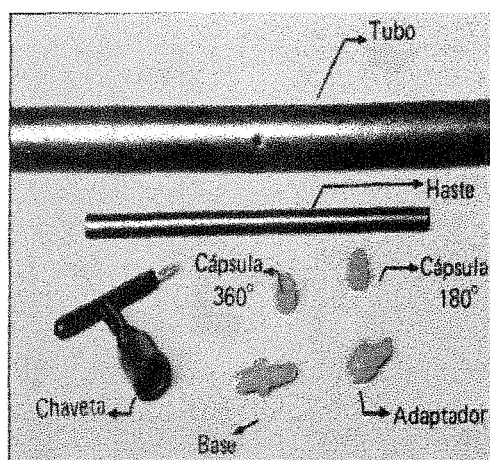
onde:

q = vazão do micro-aspersor, em l/h;

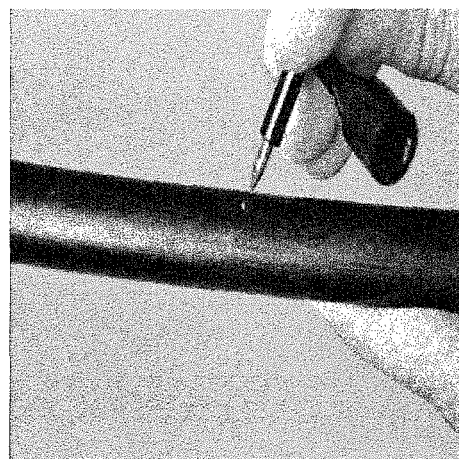
H = pressão manométrica, em metro de coluna d'água (mca)

Tabela 4.5. - Diâmetro máximo de molhamento do micro-aspersor utilizado no experimento.

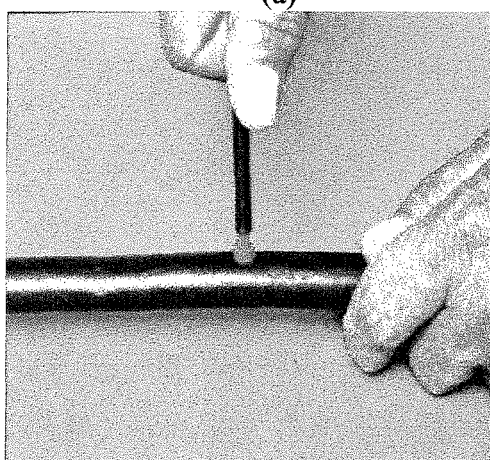
Pressão (mca)	Altura sobre o solo (m)				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
5	2,80	3,80	4,30	4,40	4,50
10	3,00	4,00	4,70	5,00	5,20
15	3,50	4,20	5,00	5,40	5,50
20	3,60	4,40	5,50	5,70	5,80
25	3,80	4,60	5,75	6,10	6,10
30	3,85	4,70	5,80	6,30	6,30



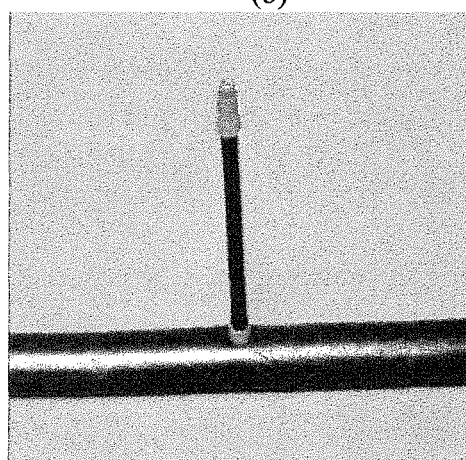
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.5. - Micro-aspersor utilizado no experimento. Componentes do micro-aspersor (a), furação do tubo (b), colocação da base (c), conjunto montado (d).

4.3. Avaliação das condições ambientais

4.3.1. Modelo reduzido

O experimento foi realizado na Área Experimental de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, situada à latitude de 22° 53'S, altitude de 695 m, tipo climático Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente. Os modelos reduzidos em escala distorcida, que reproduzem as instalações avícolas, foram construídos na direção leste-oeste, sendo o seu entorno constituído de área plana coberta de grama. A figura 4.6. mostra a foto de um dos modelos reduzidos em escala distorcida utilizado no experimento, enquanto na figura 4.7. são mostradas a planta baixa e o corte transversal dos modelos. As escalas utilizadas são 1:10 nas dimensões horizontais e 1:2 nas dimensões verticais. Na tabela 4.6. são apresentadas as dimensões dos modelos em escala distorcida utilizados no experimento.

Tabela 4.6. - Dimensões dos modelos em escala natural e distorcidos.

Escala	1:1 (natural)	1:10 (horizontal)	1:2 (vertical)
Largura	14,00 m	1,40 m	—
Comprimento	30,00 m	3,00 m	—
Pé direito	3,00 m	—	1,50 m
Altura mureta	0,20 m	—	0,10 m

4.3.2. Delineamento do experimento

As variáveis ambientais avaliadas foram analisadas considerando-se um delineamento estatístico em blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições. As repetições foram consideradas nas horas do dia e os blocos foram os dias de análise.

Considerou-se como repetição os cinco valores obtidos em torno de cada hora, medidos com um minuto de defasagem entre cada medida.

4.3.2.1. Tratamentos considerados

Para avaliação das condições ambientais no interior dos modelos reduzidos foram testados os seguintes tratamentos:

- a) Tratamento 1 (T1) - cobertura com telha de cimento-amianto + capeamento de vermiculita + micro-aspersão intermitente;
- b) Tratamento 2 (T2) - cobertura com telha de cimento-amianto + micro-aspersão intermitente;
- c) Tratamento 3 (T3) - cobertura com telha de cimento-amianto + capeamento de vermiculita;
- d) Tratamento 4 (T4) - cobertura com telha de cimento-amianto (testemunha).

A figura 4.8. mostra a disposição dos tratamentos.

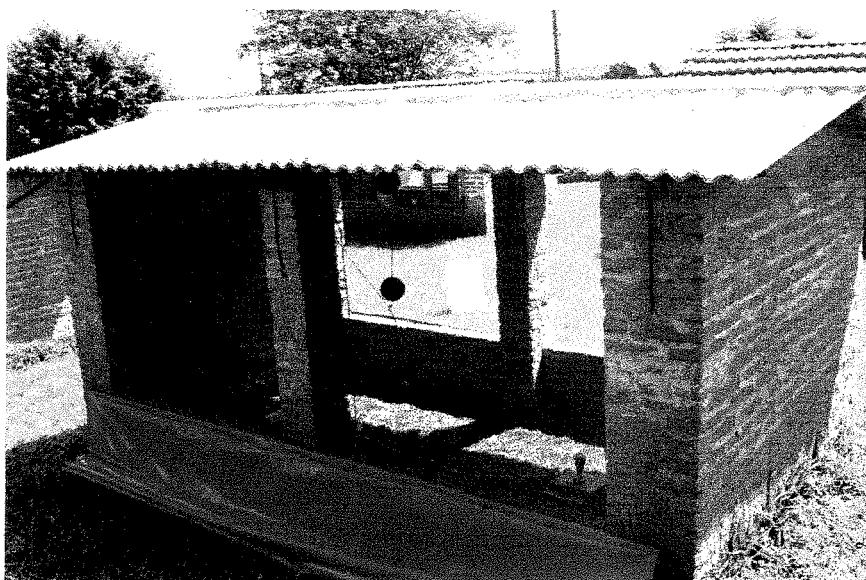


Figura 4.6. - Foto do modelo reduzido em escala distorcida.

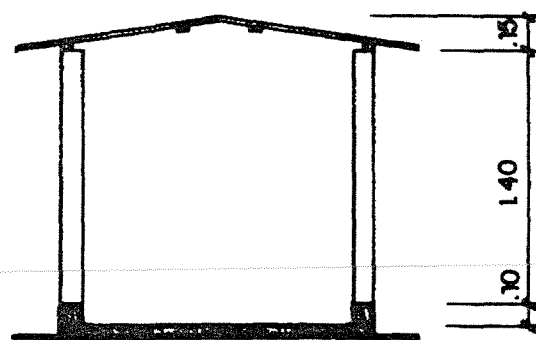
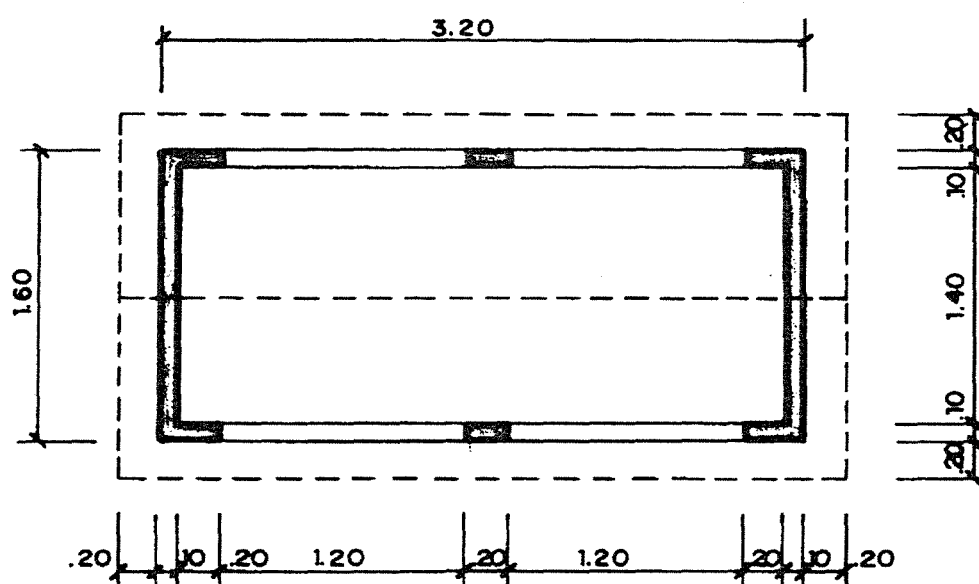
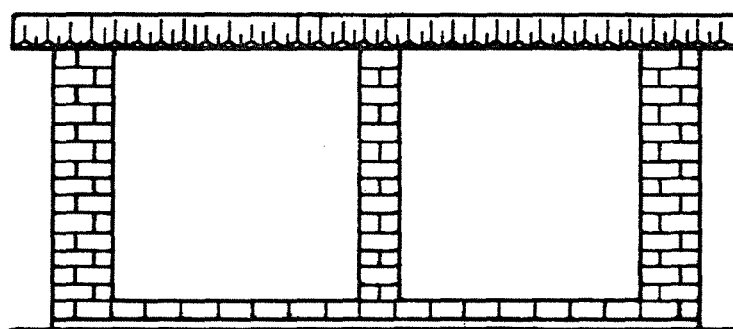
**CORTE TRANSVERSAL****PLANTA BAIXA****FACHADA LATERAL**

Figura 4.7. - Planta baixa, corte transversal e fachada dos modelos reduzidos.

O calor gerado pelos frangos foi simulado por meio de duas resistências elétricas, de níquel-cromo, de 200 W / 220 V. A geração de vapor d'água foi simulada por meio de umedecimento diário da cama de maravalha com dois litros da água e da instalação de dois recipientes d'água com 0,30 m de diâmetro, correspondendo a um espelho d'água total de 0,57 m², no interior do qual foram colocadas duas lajetas cerâmicas de laje pré-moldada (6x20x20 cm³), de modo a reproduzir os valores citados no item 3.8.3.5. (tabela 3.13.), considerando uma densidade aproximada de 10 aves/m². A figura 4.9. mostra fotos com os dispositivos utilizados para simular a geração de calor e umidade devido às aves.

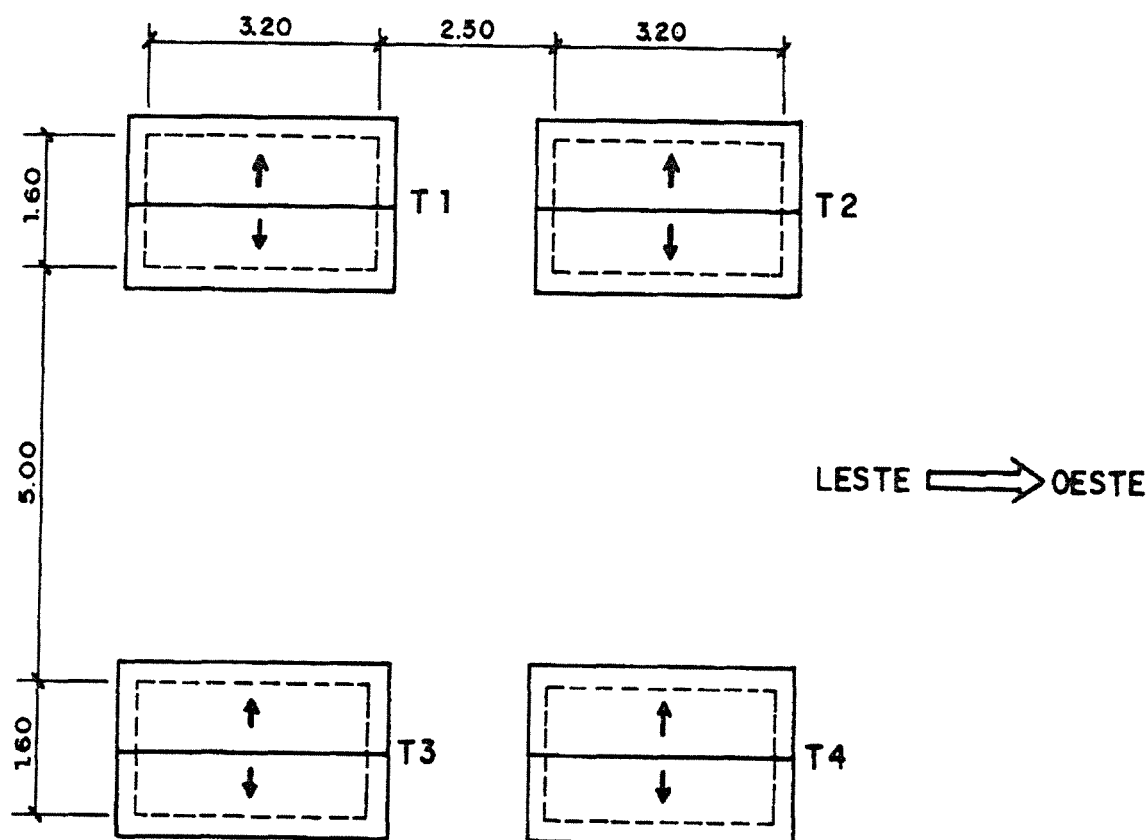
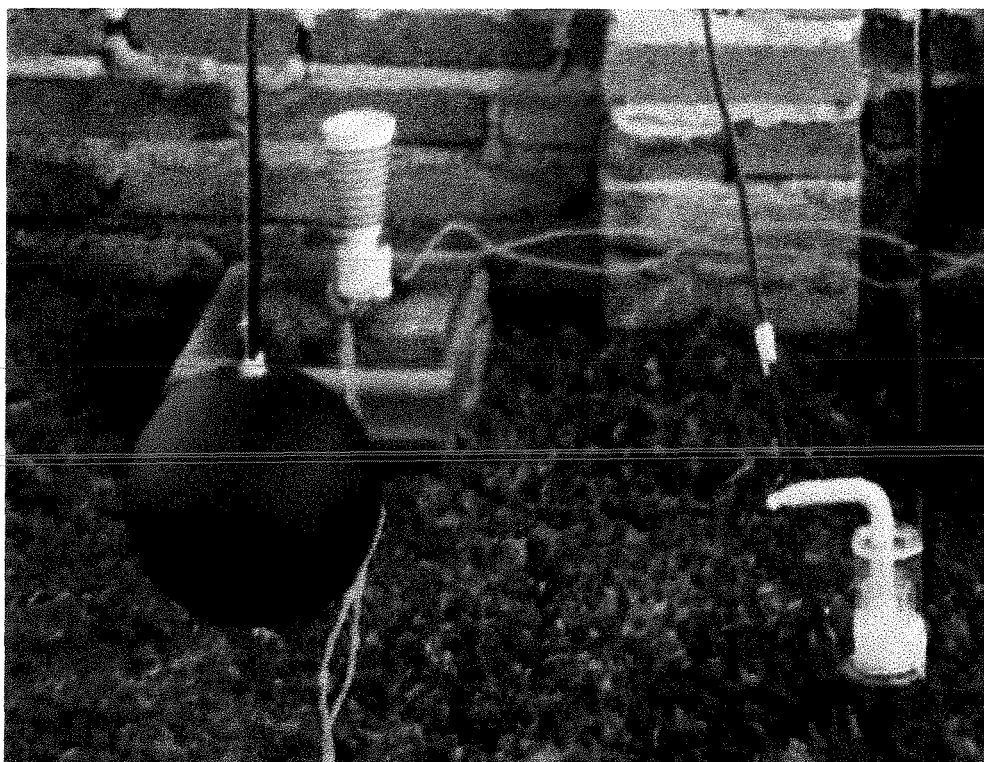


Figura 4.8. - Localização relativa dos tratamentos experimentais.



(a)



(b)

Figura 4.9. - Fotos com esquema da simulação da geração de calor (a) e de umidade (b).

4.3.2.2. Variáveis ambientais avaliadas

As condições ambientais externas foram avaliadas por meio da temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e da umidade relativa (UR), medidas a cada um minuto, no interior de um abrigo meteorológico, por meio de sistema de aquisição de dados (figura 4.10.). O sensor de temperatura foi do tipo termistor (NTC), com precisão de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ a 25°C , resolução de $0,4^{\circ}\text{C}$ a 25°C e melhor que 1°C , entre 25 e 70°C , atuando de -40 a 70°C . O sensor de umidade relativa, do tipo capacitivo, possui precisão de $\pm 4\%$ e resolução de $0,4\%$ RH, a 25°C , realizando as medições de umidade relativa no intervalo de 10 a 90%. A velocidade do ar foi medida por anemômetro de fio quente, a cada 30 minutos, atuando no intervalo de 0,1 a 25 m/s, com precisão de $\pm 3\%$ do valor lido (figura 4.11.).

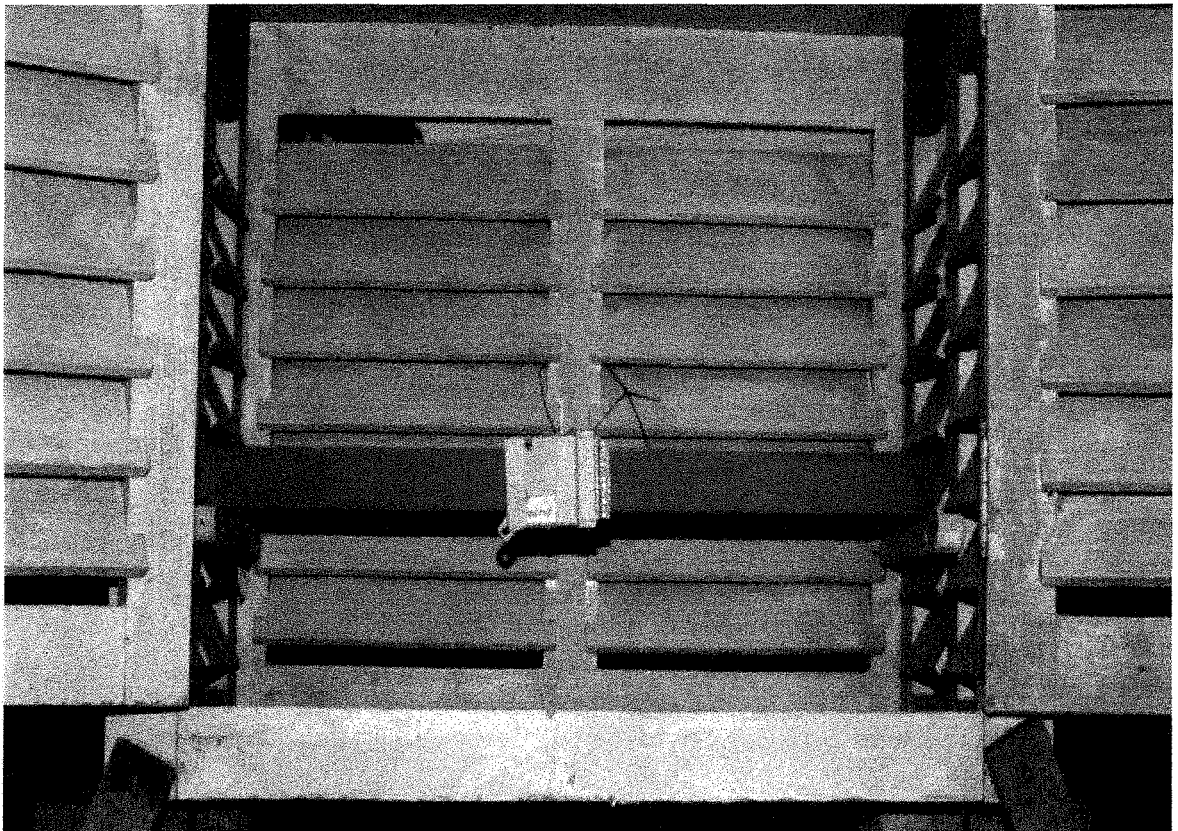


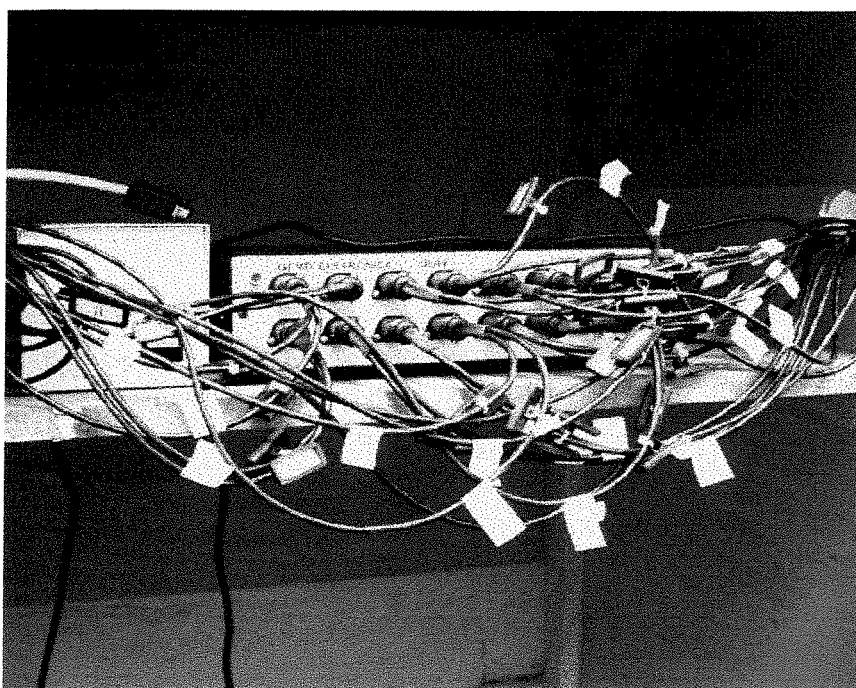
Figura 4.10. - Interior do abrigo meteorológico com sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa.



Figura 4.11. - Anemômetros de fio quente para medida da velocidade do ar externo e interno.



(a)



(b)

Figura 4.12. - Sistema de aquisição de dados com 32 canais. Vista geral (a), interface e conexões (b).

O conforto no interior dos modelos reduzidos foi avaliados por meio da temperatura de globo negro (T_{gn}), do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica radiante (CTR). Para obtenção do ITGU e da CTR foram medidas as temperaturas de bulbo seco (T_{bs}), bulbo úmido (T_{bu}) e do globo negro (T_{gn}), por meio sistema de aquisição de dados de 32 canais, com sensor de temperatura do tipo termistor (NTC), com precisão de $\pm 0,1$ °C a 25 °C (figura 4.12.). A velocidade do ar foi obtida com um anemômetro de fio quente (figura 4.11.). As grandezas termodinâmicas, representativas do ambiente interno do aviário, foram medidas a 15 cm do piso, considerado como centro de gravidade das aves (figura 4.13.). As variáveis termodinâmicas do ar interno foram medidas das 09 às 17 h, com intervalo de 60 s.

4.3.2.3. Perfil de temperatura de globo negro

O perfil de temperatura de globo negro, ao longo da altura do protótipo, foi monitorado pelo sistema de aquisição de dados nas mesmas condições que o ambiente interno (figuras 4.13. e 4.14.).

4.3.2.4. Temperatura das telhas, paredes, cortina e cama

A temperatura na face superior e inferior das telhas foram monitoradas a cada minuto, no período de 10 às 16 h. A temperaturas das telhas foram monitoradas pelo sistema de aquisição de dados de 32 canais descrito anteriormente (figura 4.12.). As temperaturas superficiais internas das paredes dos oitões (faces leste e oeste), das muretas e das cortinas laterais (faces norte e sul), bem como da cama de maravalha foram medidas, a

cada hora, por meio de um termômetro digital de 12 canais, com termopares de ferro-constantan (tipo J) com resolução de décimo de grau (figura 4.15.).

Considerou-se como temperatura das telhas, superior ou inferior, a temperatura média de quatro sensores, colocados no canal e no topo da onda da telha de cimento-amianto, estando dois deles na face norte e os dois outros na face sul do telhado (figura 4.13.).

Com o objetivo de garantir a transmissão do efeito da temperatura da telha para o sensor, o contato entre ambos foi feito por meio de uma pasta térmica de baixa condutividade (figura 4.16.).

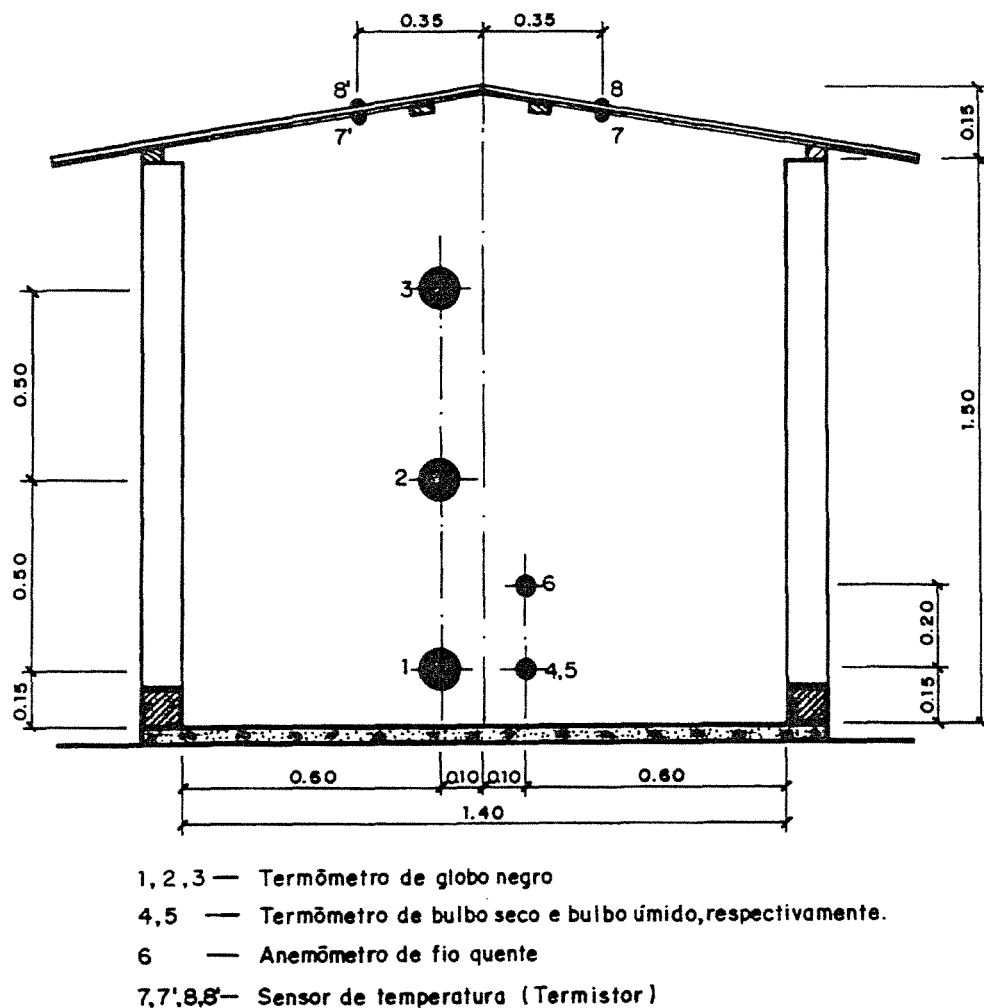


Figura 4.13. - Pontos de tomada de temperatura nas telhas e no ar interno.

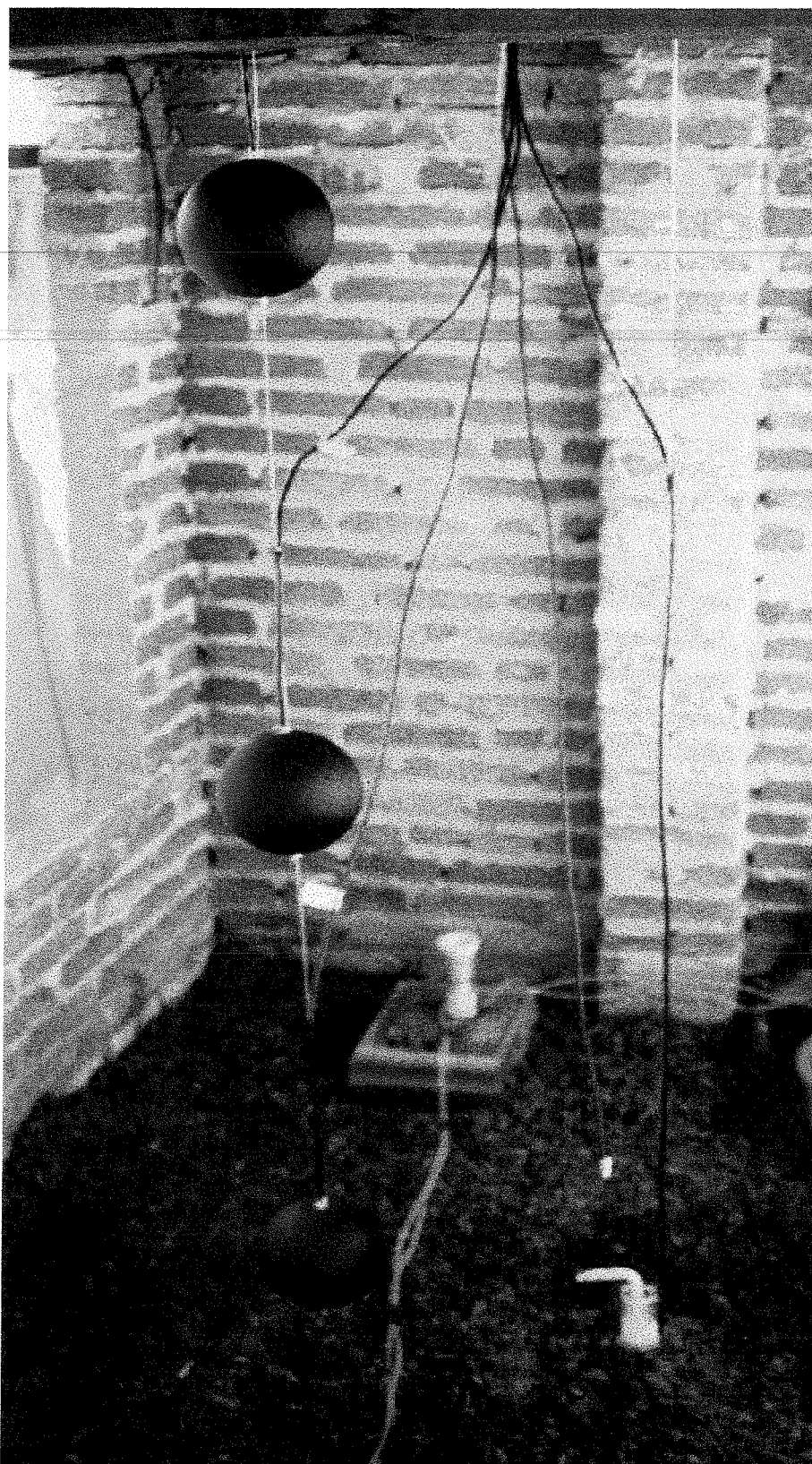
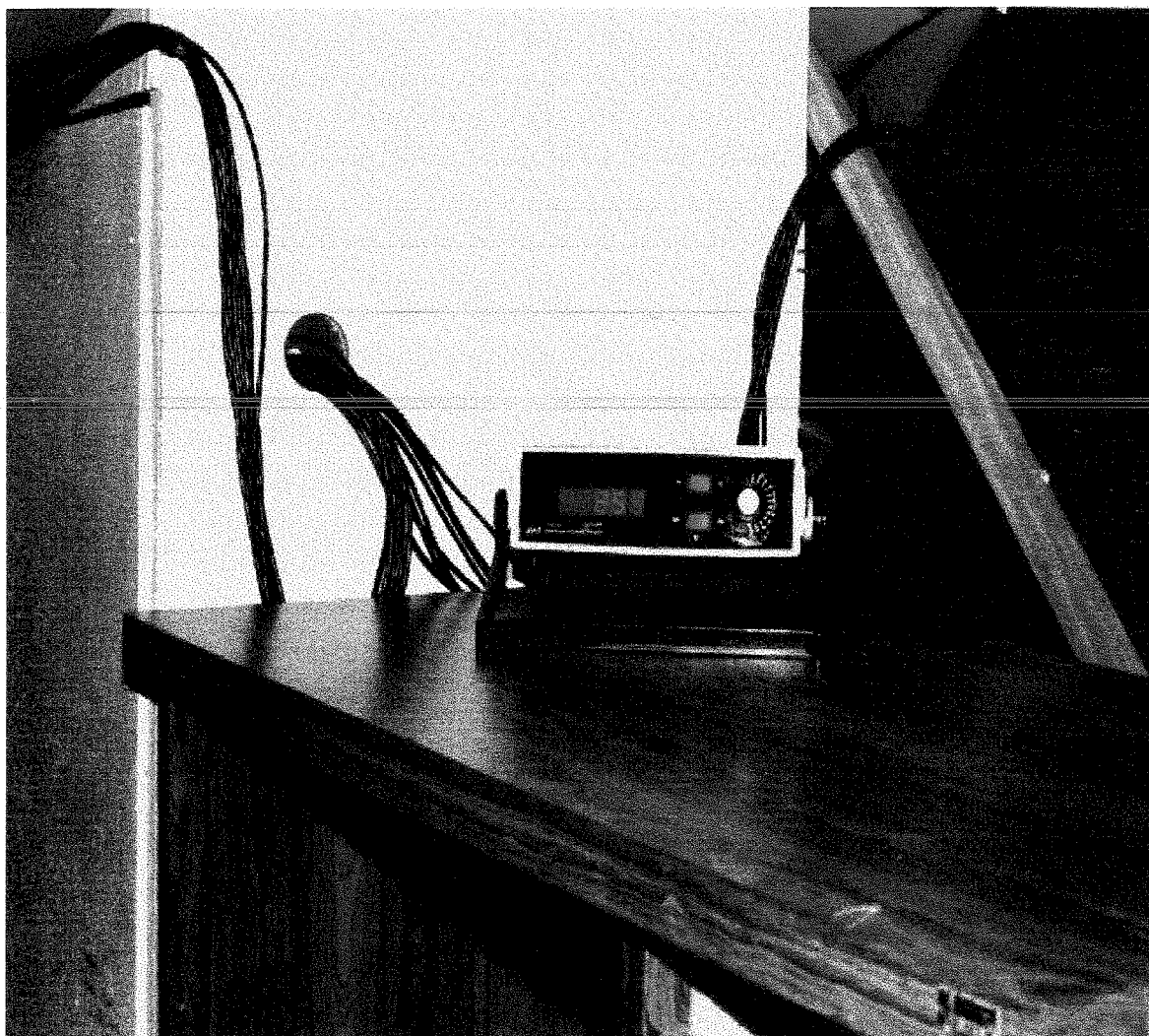


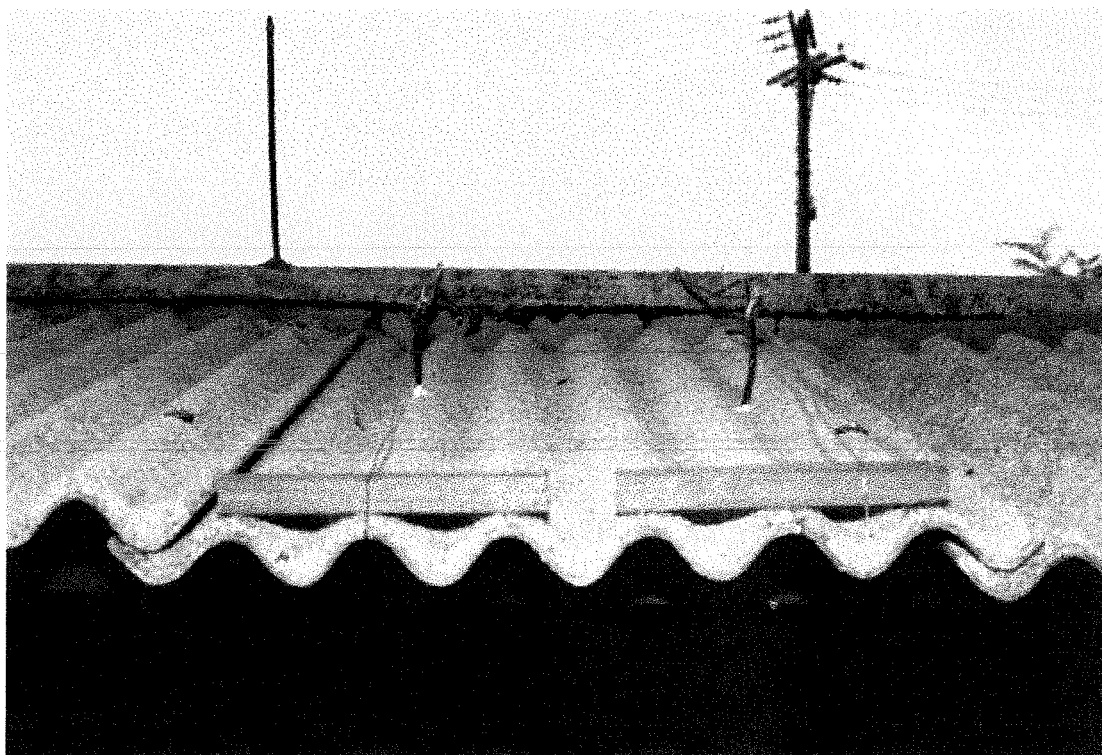
Figura 4.14. - Termômetros de globo negro colocados ao longo da altura dos modelos reduzidos.



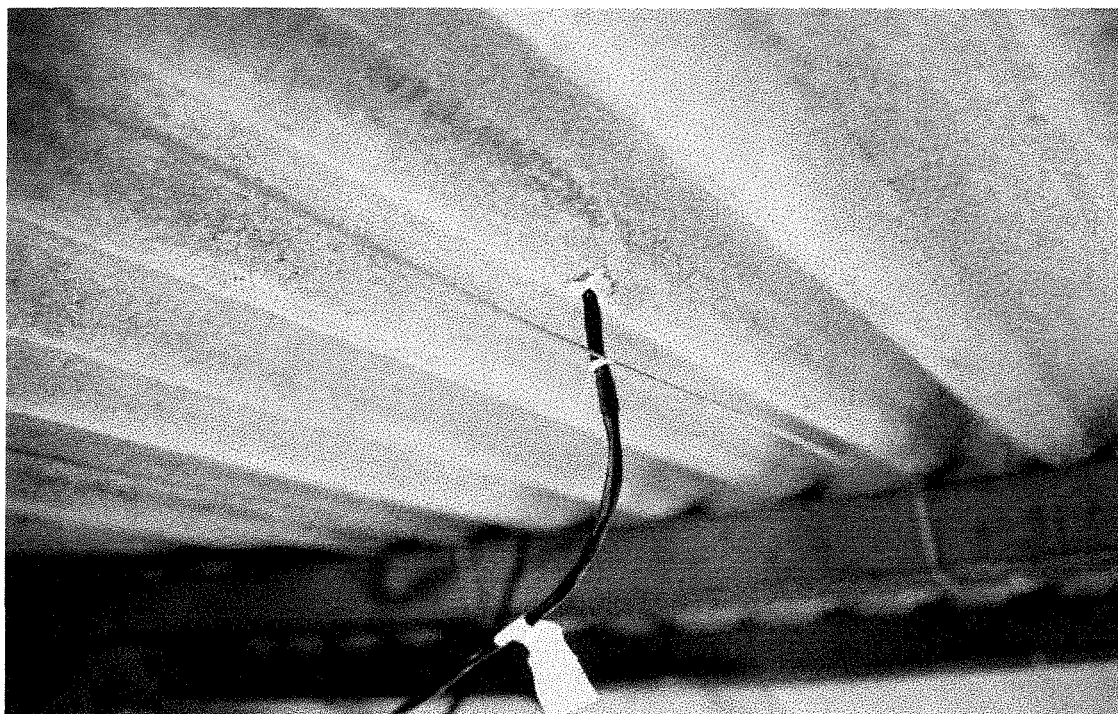
4.15. - Termômetro de 12 canais com termopar de ferro-constantan.

4.3.2.5. Manejo do sistema de aspersão

A bomba d'água de $\frac{1}{4}$ hp, funcionando à pressão de 100 kPa, aproximadamente 10 mca, supriu cada um dos micro-aspersores com uma vazão de cerca de 25 l/h, de modo a se obter uma aspersão uniforme de toda cobertura. O sistema da aspersão, comandado por um temporizador de tempo combinado (figura 4.17.) que acionava a bomba hidráulica, funcionava durante 5 minutos ligado, molhando a cobertura, e durante 10 minutos desligado, ocasionando as condições de resfriamento evaporativo.



(a)



(b)

Figura 4.16. - Detalhe do uso da pasta térmica para contato do sensor de temperatura (termistor) com a telha de cimento-amianto. Vista superior (a), vista inferior (b).

4.3.2.6. Condições de manejo da instalação

Duas condições de manejo ambiental que ocorrem na prática, correspondem às condições de ventilação natural por efeito de termossifão e a provocada por vento. Estas condições foram simuladas com o uso de cortinas. Para a condição de ventilação natural por efeito de termossifão, utilizaram-se cortinas nas duas laterais dos modelos, deixando uma abertura de 0,20 m na parte superior por onde ocorria a exaustão do ar interior. Para a condição de ventilação natural por vento, a cortina da fachada sul foi totalmente aberta e a da fachada norte foi mantida fechada com abertura superior de 0,20 m, de modo a barrar a incidência de radiação solar direta no interior da instalação (figura 4.18.).

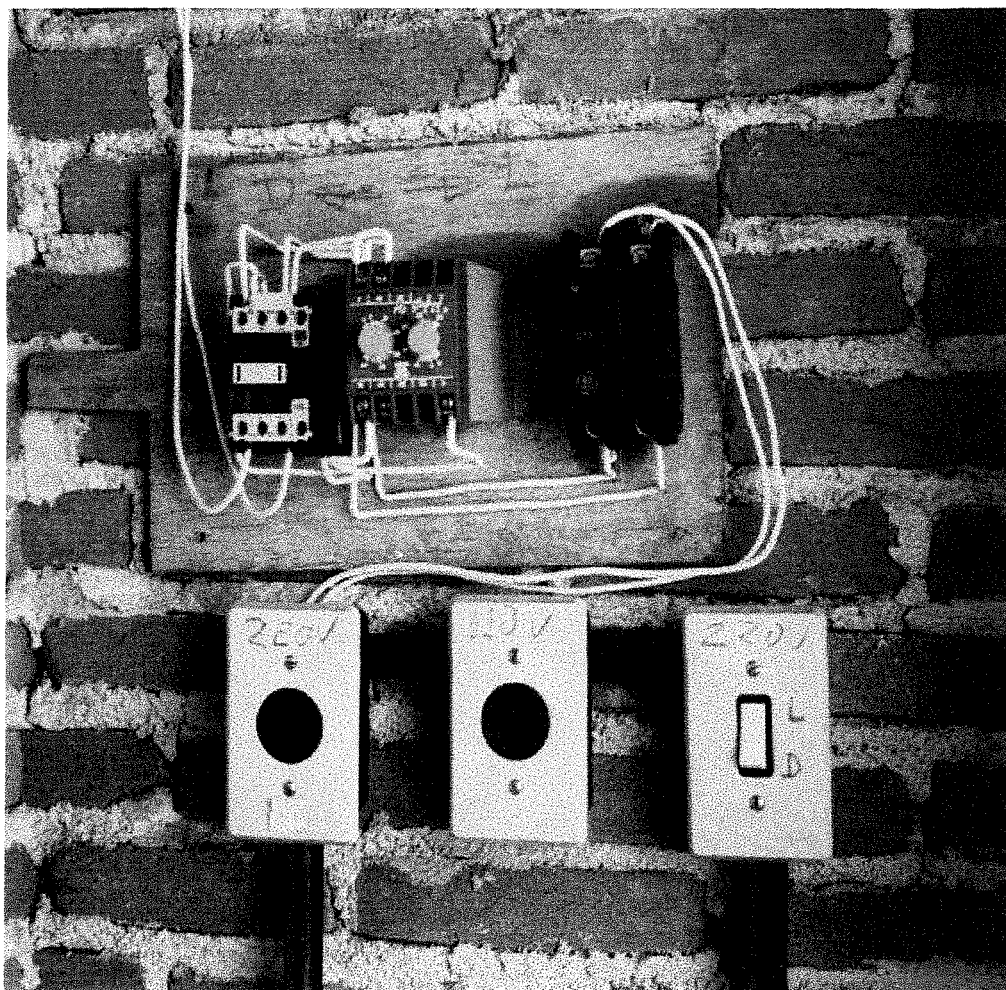


Figura 4.17: Detalhe do temporizador de tempo combinado.

4.3.2.7. Período da tomada de dados

A tomada de dados foi realizada no mês de abril e início de maio (01/04 a 05/05/1997), sendo um período caracterizado por temperatura elevada associada à alta radiação solar e baixa umidade relativa do ar. Os dados foram medidos entre 09 e 17 h, conforme metodologia já descrita. As condições ambientais de clima seco faziam-se necessárias para teste do sistema de resfriamento com características nitidamente evaporativas.



Figura 4.18. - Detalhe de manejo das cortinas.

4.4. Avaliação da produtividade

Após a obtenção dos dados ambientais, a avaliação do ganho de produtividade, pelo uso do sistema de resfriamento testado, foi realizada pelo *software* Pro-Frango (NÄÄS e AMARAL, 1989).

Os parâmetros de entrada no programa são: os dados do ambiente interno (temperatura de bulbo seco), do ambiente externo (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação solar), da geometria da construção (largura, comprimento, pé-direito, inclinação do telhado, área de paredes fechadas e áreas de aberturas); orientação da construção (em relação à trajetória solar e aos ventos dominantes); das características térmicas dos materiais constituintes da construção (condutibilidade térmica); das cargas térmicas internas (animais e fontes de calor); do uso de equipamentos de ventilação; bem como manejo de cortinas.

O programa computacional Pro-Frango avalia a produtividade animal, em função da temperatura, por meio das variáveis ganho de peso diário, consumo de ração e conversão alimentar. A avaliação da produtividade foi realizada para a última semana de produção, por ser a mais crítica em termos de estresse por calor.

O manejo adotado considerou que, para a última semana de criação (7ª semana), o lote aos 42 dias de idade estava com 2,1 kg de peso, sujeito a uma dieta com energia de 3200 kcal/kg, com previsão de abate aos 49 dias, tendo os frangos cerca de 2,6 kg de peso vivo (ARBOR ACRES, 1996).

Considerou-se que a instalação que abrigou os frangos, tinha as dimensões em escala natural correspondente aos modelos reduzidos testados, ou seja 14 m de vão, 30 m de comprimento e pé-direito de 3 m, contendo 4200 aves, numa taxa de 10 aves/m². Foram analisadas as condições de produtividade (ganho de peso) para as situações de ventilação

natural por termossifão e ventilação natural devido ao efeito combinado do vento externo e de termossifão.

4.5. Análise da viabilidade econômica

Os custos de implantação do sistema (bomba hidráulica, filtro, aspersores, rede distribuidora, mão de obra), de consumo (energia elétrica) e de manutenção (reparos e conservação), bem como período de retorno foram avaliados para serem comparados com o possível aumento de produtividade por lote de 4200 frangos abrigados em fase de abate.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características da telha absorvente

5.1.1. Características mecânicas da argamassa de capeamento das telhas

Na tabela 5.1. são apresentadas as características mecânicas das argamassas de cimento e vermiculita, testadas para constituírem o capeamento absorvente da telha de cimento-amianto.

Tabela 5.1. - Características mecânicas de argamassas de cimento e vermiculita.

Traço (em volume)	Tensão de ruptura à compressão (MPa)	Massa específica aparente (kg/m ³)	Absorção (%)	Índice de Vazios
1:1	8,88	1249	35,5	44,2
1:2	2,90	928	65,0	60,3
1:3	1,78	795	83,0	65,9
1:4	1,49	585	122,9	71,8
1:5	1,10	531	135,3	71,9
1:6	1,02	497	150,2	74,6

Para confecção das telhas absorventes foi adotado o traço volumétrico 1:4 (cimento:vermiculita), por ser aquele que, dentre os testados, reuniu características de leveza, absorção e resistência, associada à trabalhabilidade compatível com as condições artesanais em que a telha absorvente foi fabricada.

5.1.2. Características térmicas da argamassa de capeamento das telhas

Na tabela 5.2. são apresentadas as características térmicas das argamassas de cimento e vermiculita testadas.

Tabela 5.2. - Massa específica aparente (ρ), condutibilidade térmica (k), difusibilidade (α) e efusibilidade (β) de argamassas de cimento e vermiculita, em função do traço.

Traço	Massa específica aparente (kg/m^3)	Condutibilidade térmica ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) $k = 0,0003545 \cdot \rho - 0,007146$	Calor específico ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)	Difusibilidade (m^2/s) $\alpha = k/\rho \cdot c$	Efusibilidade ($\text{J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$) $\beta = (k \cdot \rho \cdot c)^{1/2}$
1:1	1249	0,44	963	$3,6 \cdot 10^{-07}$	724
1:2	928	0,32	963	$3,6 \cdot 10^{-07}$	536
1:3	795	0,27	963	$3,6 \cdot 10^{-07}$	459
1:4	585	0,20	963	$3,6 \cdot 10^{-07}$	336
1:5	531	0,18	963	$3,5 \cdot 10^{-07}$	304
1:6	497	0,17	963	$3,5 \cdot 10^{-07}$	284

A argamassa de cimento-vermiculita, para o traço utilizado (1:4), apresenta características de leveza ($\rho = 585 \text{ kg/m}^3$), associada a valores de propriedades térmicas, que recomendam o uso do material para controle ambiental, ou sejam, uma mediana condutibilidade térmica ($k = 0,20 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), da ordem de 9 vezes menor que a do concreto e cerca de 3 vezes menor que a do cimento-amianto, bem como valores de difusibilidade ($\alpha = 3,6 \cdot 10^{-7}$), capazes de levar à inércia e à retardo térmico com características superiores as do cimento-amianto.

5.1.3. Características térmicas do cimento-amianto e da telha desenvolvida

Na tabela 5.3. são calculadas as características térmicas do material cimento-amianto, necessárias ao cálculo da resistência térmica das telhas compostas de chapas de cimento-amianto com cobertura de argamassa de cimento-vermiculita. As características

térmicas da telha como do elemento construtivo são apresentadas na tabela 5.4, para as diversas espessuras de telhas de cimento-amianto encontradas no mercado e para a espessura de argamassa de cimento-vermiculita utilizada na pesquisa (5 mm).

Tabela 5.3. - Massa específica aparente (ρ), condutibilidade térmica (k), difusibilidade (α) e efusibilidade (β) do cimento-amianto.

Material	Massa específica aparente (kg/m^3)	Condutibilidade térmica ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)	Calor específico ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)	Difusibilidade (m^2/s) $\alpha = k/\rho \cdot c$	Efusibilidade ($\text{J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$) $\beta = (k \cdot \rho \cdot c)^{1/2}$
Cimento-amianto	1700	0,65	800	$4,8 \cdot 10^{-07}$	940

Tabela 5.4. - Resistência, amortecimento e retardo térmico para telhas comerciais de cimento-amianto e para telhas compostas de chapas de cimento-amianto cobertas com argamassa de cimento-vermiculita, no traço 1:4.

Espessura (L)	k ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)	α (m^2/s)	R_t ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	μ (%)	ϕ (s)
c.a.(4mm)	0,65	$4,8 \cdot 10^{-7}$	0,006	0,97	480
c.a.(6mm)	0,65	$4,8 \cdot 10^{-7}$	0,009	0,95	720
c.a.(8mm)	0,65	$4,8 \cdot 10^{-7}$	0,012	0,93	960
c.v.(5mm)	0,20	$3,6 \cdot 10^{-7}$	0,025	0,95	695
c.a.(4mm)+c.v.(5mm)	---	---	0,031	0,92	1175
c.a.(6mm)+c.v.(5mm)	---	---	0,034	0,90	1415
c.a.(8mm)+c.v.(5mm)	---	---	0,037	0,88	1665

Observações:

- 1) c.a. = cimento-amianto (telha);
- 2) c.v. = cimento-vermiculita (capeamento);
- 3) k = condutibilidade térmica;
- 4) α = difusibilidade térmica $\Rightarrow \alpha = k/\rho \cdot c$;
- 5) R_t = resistência térmica $\Rightarrow R_t = L/k$;

$$6) \mu = \text{amortecimento térmico} \Rightarrow \mu = e^{-L \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \cdot P}}};$$

$$7) \phi = \text{retardo térmico} \Rightarrow \phi = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{\pi \alpha}};$$

$$8) P = 24 \text{ h} = 84600 \text{ s.}$$

5.1.4. Características de consumo da telha desenvolvida

Na tabela 5.5. são apresentadas as características de consumo de materiais para a telha de cimento-amianto com camada de argamassa de cimento-vermiculita, no traço 1:4.

Tabela 5.5. - Consumo de materiais, por m^2 , da telha desenvolvida.

Carga/ m^2		Consumo de argamassa de capeamento Traço (1:4)	
Seco ao ar	Saturado	Cimento	Vermiculita
13 kg/m^2	17 kg/m^2	3,5 kg/m^2	1,5 kg/m^2

Os valores constantes da tabela anterior podem ser utilizados para cálculo do carregamento da estrutura de suporte das telhas e para cálculo de consumo e orçamento das telhas absorventes. Considerando que o cimento custa R\$ 0,14/kg e a vermiculita R\$ 0,70/kg (em 13/03/1998), o custo de material para executar o capeamento absorvente foi de R\$ 0,84/ m^2 de telha.

5.2. Variáveis ambientais internas

5.2.1. Tratamentos sujeitos à ventilação por termossifão

Na figura 5.1. são apresentadas as condições ambientais externas, correspondente ao período de 09 à 15 de abril de 1997, para as quais o experimento foi realizado. Os valores observados de temperatura e umidade relativa caracterizam condições de alta temperatura associados à baixa umidade relativa. Intensa nebulosidade, no período de 12 às 15 h, limitou a observação de valores maiores de temperatura nesse intervalo.

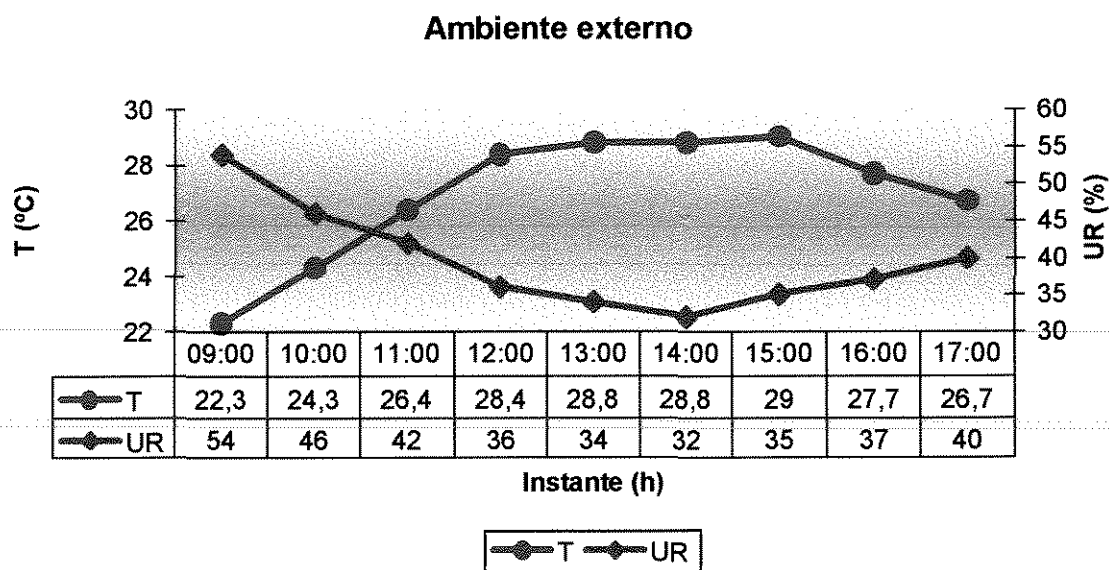


Figura 5.1. - Condições ambientais externas no período de 09 à 15 de abril de 1997.

5.2.1.1. Temperatura de globo negro

Na figura 5.2. e na tabela 5.6. são apresentados os resultados da temperatura de globo negro (T_{gn}) para os tratamentos testados. Para todos os tratamentos testados, observa-se que a temperatura de globo negro registrou valores superiores à temperatura do ar externo, fato ocasionado pela grande geração de calor interno, que simulou a carga térmica animal, e pela baixa intensidade da renovação de ar, característica da ventilação natural por termossifão. Os valores da temperatura de globo negro, observados para cada tratamento ao longo do dia, permitem concluir que:

- a) nos dois tratamentos que utilizaram micro-aspersão intermitente d'água na cobertura (T1 e T2) foram observadas condições ambientais bem mais confortáveis do que os dois que não utilizaram (T3 e T4), sendo tal situação verificada ao longo de todo período de observação. Para os instantes mais desconfortáveis do dia (15 h), observou-se diferenças de 4 °C, para os tratamentos com capeamento nas telhas, a 2,4 °C para os tratamentos sem capeamento;

- b) os altos valores de temperatura de globo negro observados, para o tratamento com a telha com capeamento e sem o uso de aspersão (T3), que corresponde a uma situação de melhor isolamento térmico do telhado, permite concluir que, quando ocorre grande produção de calor interno, e esse calor não é eliminado por uma renovação de ar conveniente, o isolamento térmico da construção é um fator desfavorável;
- c) quando se compara os dois tratamentos com aspersão (T1 e T2), verifica-se que no início e no final do período de observação (9 às 13 h e 16 às 17 h), o tratamento 1 apresenta condições mais confortáveis que o tratamento 2 em cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$, enquanto no período intermediário do dia, o tratamento 2 foi que apresenta melhores condições de conforto, com a temperatura de globo negro se apresentando cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$ inferior no período de 14 às 15 h.

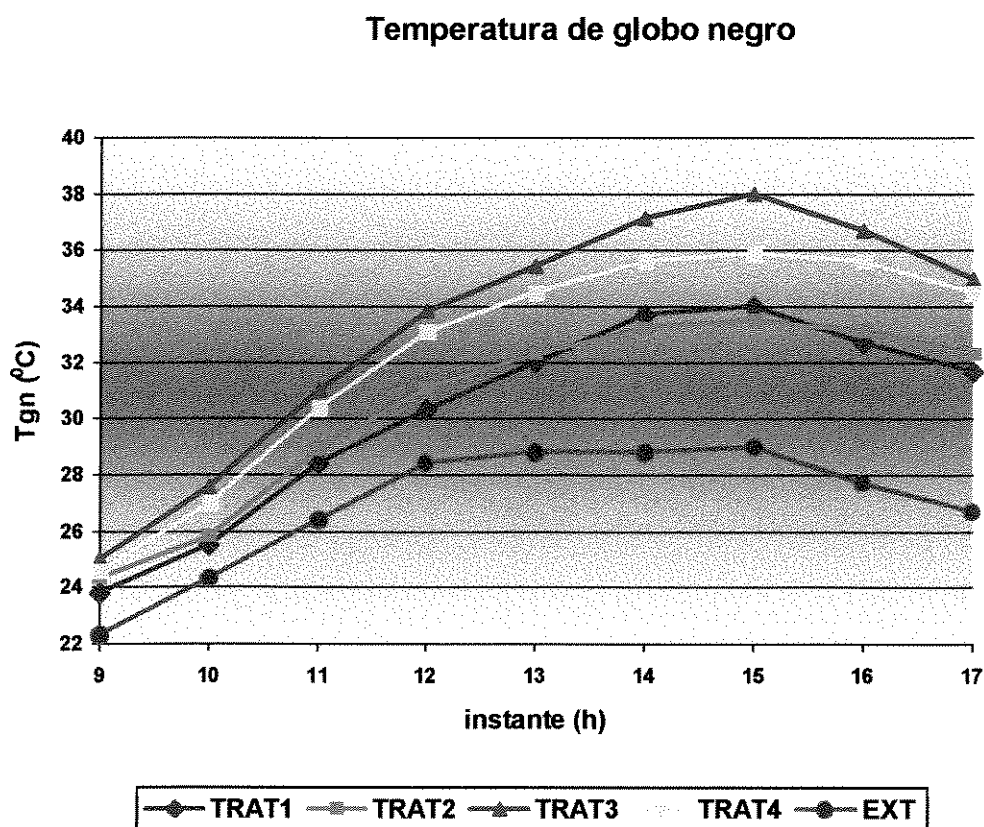


Figura 5.2. – Variação da temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Tabela 5.6. - Temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Instante (h)	Temperatura (°C)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	23,8 ^d	25,5 ^c	28,4 ^d	30,3 ^d	32,0 ^c	33,7 ^c	34,0 ^c	32,7 ^c	31,7 ^d
Tratamento 2	24,3 ^c	25,8 ^c	28,9 ^c	31,1 ^c	32,3 ^c	33,2 ^d	33,5 ^d	33,1 ^c	32,3 ^c
Tratamento 3	25,0 ^a	27,6 ^a	31,0 ^a	33,8 ^a	35,4 ^a	37,1 ^a	38,0 ^a	36,7 ^a	35,0 ^a
Tratamento 4	24,6 ^b	27,0 ^b	30,4 ^b	33,1 ^b	34,5 ^b	35,6 ^b	35,9 ^b	35,6 ^b	34,5 ^b

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.1.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade

Na figura 5.3. e na tabela 5.7. são apresentados os resultados do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos testados. Os valores obtidos para o ITGU mostram a mesma tendência observada para a temperatura de globo negro, discutida no item anterior. Uma grande diferença no valor do ITGU foi observada entre os tratamentos com e sem aspersão ao longo de todo período de observação. Quanto aos tratamentos com aspersão, na fase intermediária do dia, o tratamento sem capeamento apresenta melhores condições de conforto, enquanto no período inicial e final do dia foi o tratamento com capeamento que apresentou menores valores de ITGU.

Índice de temperatura de globo negro e umidade

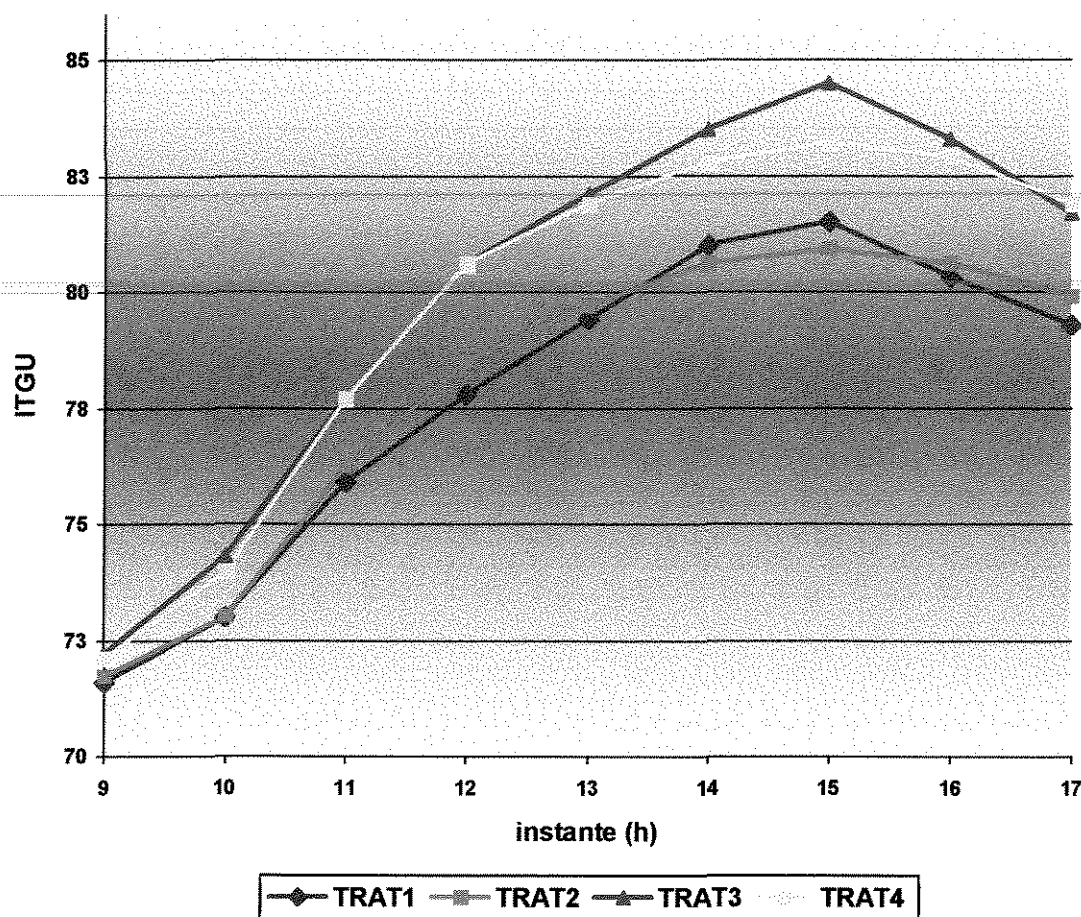


Figura 5.3. - Variação do índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Tabela 5.7. – Índice de temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Instante (h)	ITGU								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	71,6 ^b	73,0 ^b	75,9 ^b	77,8 ^c	79,4 ^b	81,0 ^c	81,5 ^c	80,3 ^b	79,3 ^c
Tratamento 2	71,7 ^b	73,0 ^b	76,2 ^b	78,5 ^b	79,7 ^b	80,6 ^c	80,9 ^d	80,6 ^b	79,9 ^b
Tratamento 3	72,2 ^a	74,3 ^a	77,7 ^a	80,6 ^a	82,1 ^a	83,5 ^a	84,5 ^a	83,3 ^a	81,7 ^a
Tratamento 4	72,1 ^a	74,0 ^a	77,7 ^a	80,6 ^a	81,9 ^a	82,8 ^b	83,2 ^b	82,9 ^a	81,9

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.1.3. Carga térmica radiante

Na figura 5.4. e na tabela 5.8. são apresentados os resultados da carga térmica radiante (CTR) para os tratamentos testados. Os valores obtidos para a carga térmica radiante mostram a mesma tendência observada para a temperatura de globo negro e para o índice de temperatura de globo negro e umidade, discutida nos itens anteriores. Uma grande diferença no valor da CTR foi observada entre os tratamentos com e sem aspersão ao longo de todo período de observação. Quanto aos tratamentos com aspersão, na fase intermediária do dia, o tratamento sem capeamento apresentou melhores condições de conforto, enquanto no período inicial e final do dia, foi o tratamento com capeamento que apresentou os menores valores de CTR.

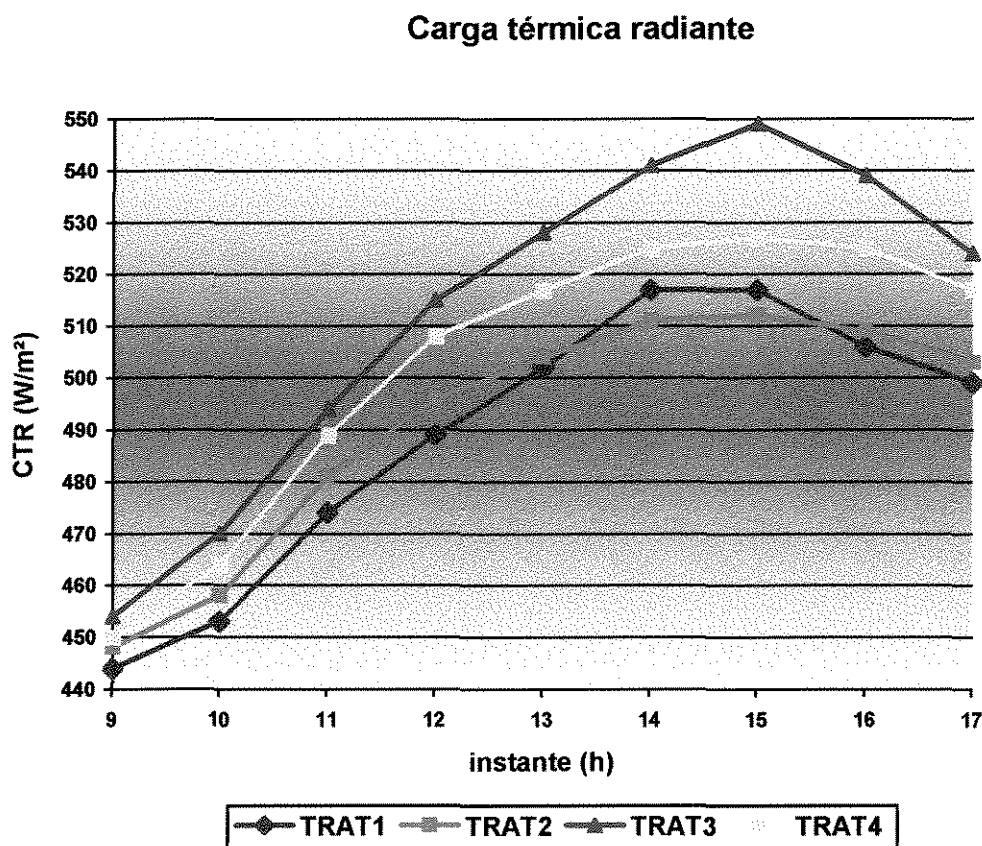


Figura 5.4. – Variação da carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Tabela 5.8. – Carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Instante (h)	CTR (W/m ²)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	444 ^c	453 ^d	474 ^d	489 ^d	502 ^c	517 ^c	517 ^c	506 ^c	499 ^d
Tratamento 2	448 ^b	458 ^c	481 ^c	496 ^c	504 ^c	511 ^d	512 ^d	509 ^c	503 ^c
Tratamento 3	454 ^a	470 ^a	494 ^a	515 ^a	528 ^a	541 ^a	549 ^a	539 ^a	524 ^a
Tratamento 4	450 ^b	464 ^b	489 ^b	508 ^b	517 ^b	525 ^b	527 ^b	525 ^b	517 ^b

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.1.4. Temperatura na face inferior da telha

Na figura 5.5. e na tabela 5.9. são apresentados os resultados da temperatura na face inferior da telha (T_i) para os tratamentos testados. Para todos os tratamentos testados, observou-se que a temperatura na face inferior da telha registrou valores superiores à temperatura do ar externo, fato ocasionado pela grande geração e acúmulo de calor interno, o que mostra que os processos de transferência de calor do ambiente interno para o externo devem ser facilitados. Os valores da temperatura, observados para cada tratamento permitem concluir que:

- a) nos dois tratamentos que utilizaram micro-aspersão intermitente d'água na cobertura (T1 e T2) foram observadas condições de temperatura na face inferior da telha inferiores aos que não utilizaram micro-aspersão (T3 e T4), sendo tal situação verificada ao longo de todo período de observação. Para os instantes de maior intensidade de radiação solar (12 h), observou-se diferenças de 5,2 °C, para os tratamentos com capeamento nas telhas, a 6,5 °C para os tratamentos sem capeamento;
- b) quando se comparou os tratamentos que utilizaram micro-aspersão, verificou-se que o tratamento com capeamento (T1) apresentou temperatura na face inferior da telha com

valores inferiores ao tratamento sem capeamento (T2), até cerca das 14 h, havendo uma inversão nessa situação, no período de observação subsequente;

- c) verificou-se que os valores máximos de temperatura na face inferior da telha, para os tratamentos com a telha sem capeamento (T2 e T4) ocorreram cerca das 12 h, quando a intensidade de radiação solar foi máxima, enquanto para os tratamentos com o uso de capeamento (T1 e T3), ocorreram às 14 h, que corresponde a uma situação de maior inércia térmica da telha.

Temperatura da telha - face inferior

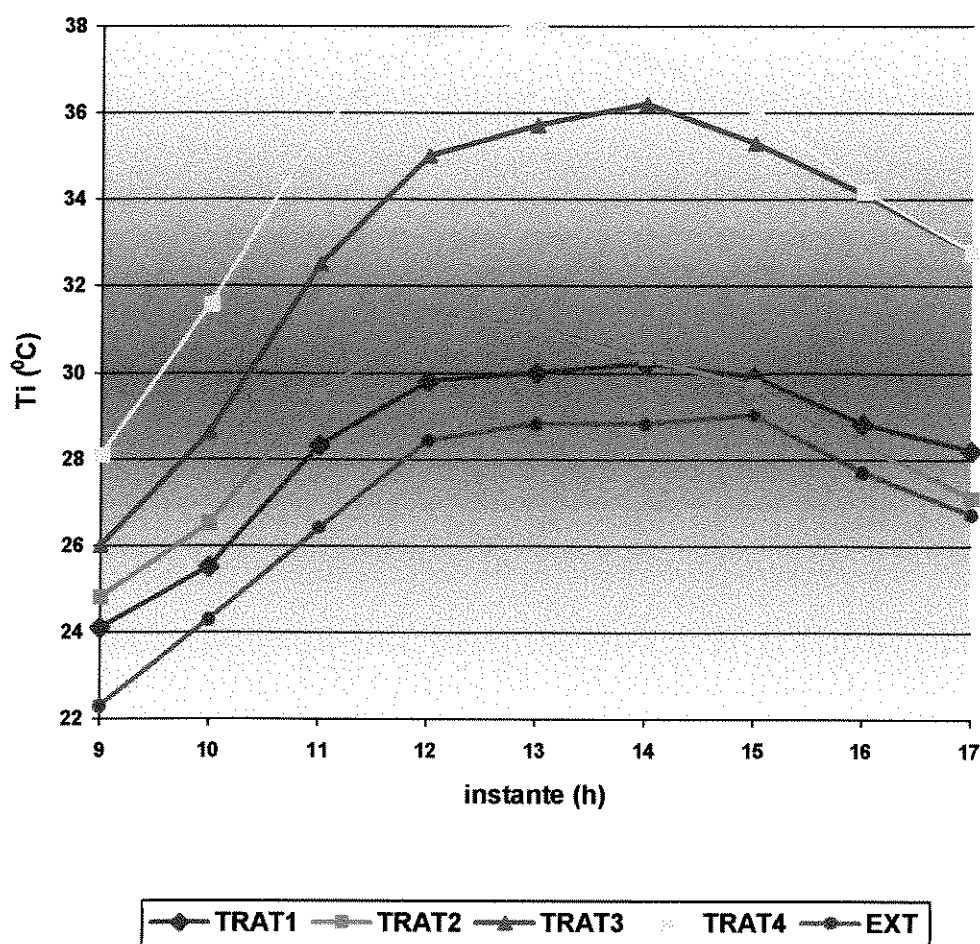


Figura 5.5. – Variação da temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Tabela 5.9. - Temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação por efeito de termossifão.

Instante (h)	Temperatura (°C)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	24,1 ^d	25,5 ^d	28,3 ^d	29,8 ^d	30,0 ^d	30,2 ^c	29,9 ^c	28,8 ^b	28,2 ^b
Tratamento 2	24,8 ^c	26,5 ^c	29,5 ^c	31,3 ^c	31,0 ^c	30,3 ^c	29,7 ^c	28,3 ^b	27,1 ^c
Tratamento 3	26,0 ^b	28,6 ^b	32,5 ^b	35,0 ^b	35,7 ^b	36,2 ^b	35,3 ^b	34,1 ^a	32,8 ^a
Tratamento 4	28,1 ^a	31,6 ^a	35,7 ^a	37,8 ^a	38,0 ^a	37,3 ^a	36,1 ^a	34,2 ^a	32,8 ^a

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.2. Tratamentos sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão)

Na figura 5.6. são apresentadas as condições ambientais externas, correspondentes ao período de 16 à 25 de abril de 1997, para as quais o experimento foi realizado. Os valores observados de temperatura e umidade relativa caracterizam condições de alta temperatura associados à baixa umidade relativa do ar. Grande nebulosidade foi observada no período de 14 às 16 h.

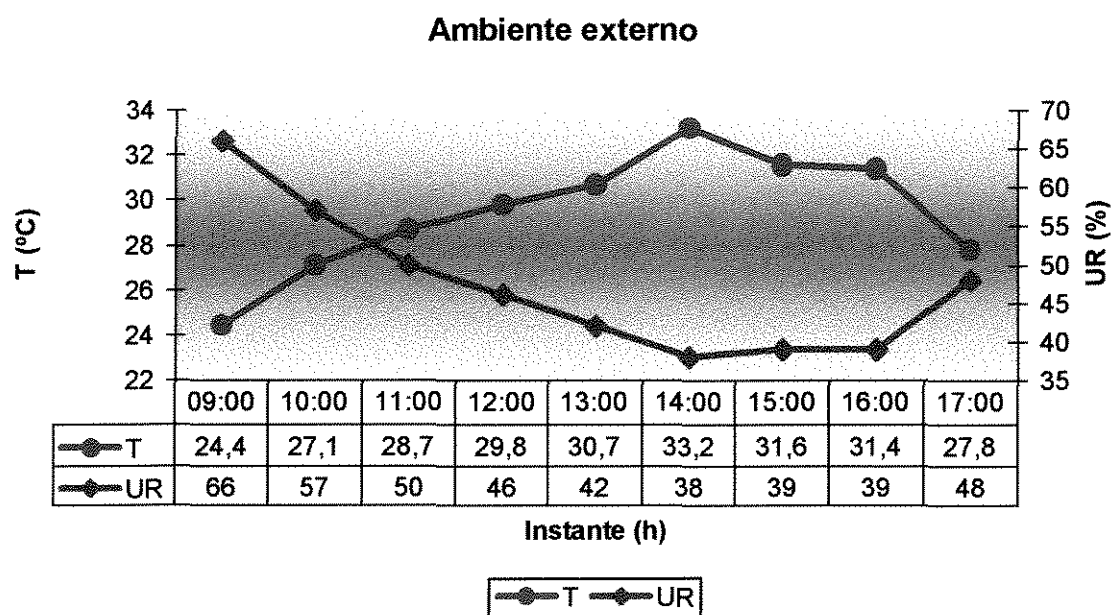


Figura 5.6. - Condições ambientais externas no período de 16 à 25 de abril de 1997.

5.2.2.1. Temperatura de globo negro

Na figura 5.7. e na tabela 5.10. são apresentados os resultados da temperatura de globo negro (T_{gn}) para os tratamentos testados. Quando se compara esta situação de ensaio com a do item anterior (5.2.1.), verifica-se que, devido às melhores condições de renovação do ar interno, a temperatura do ar externo assume valores mais próximos da temperatura ambiental interna, representada aqui pela temperatura de globo negro. No período da manhã (09 às 12 h) o ambiente interno está mais ameno que o externo, devido ao resfriamento da construção ocorrido pela madrugada e à inércia térmica apresentada pelos materiais. Para o período da tarde (13 às 17 h) os tratamentos com micro-aspersão (T1 e T2) apresentaram melhores condições ambientais internas em relação às externas, enquanto nos tratamentos sem micro-aspersão (T3 e T4) as temperaturas ambientais internas e a temperatura do ar externo apresentaram valores semelhantes. Os valores da temperatura de globo negro, observados para cada tratamento ao longo do dia, permitem concluir que:

- a) nos dois tratamentos que utilizaram micro-aspersão intermitente d'água na cobertura (T1 e T2) foram observadas condições ambientais mais confortáveis do que os dois que não utilizaram (T3 e T4), sendo tal situação verificada ao longo de todo período de observação. Para os instantes mais desconfortáveis do dia (14 h), observou-se diferenças de 2,4 °C, para os tratamentos com capeamento nas telhas, a 1,2 °C para os tratamentos sem capeamento;
- b) quando se comparam os dois tratamentos com aspersão (T1 e T2), verifica-se que no início e no final do período de observação (9 às 12 h e 16 às 17 h), o tratamento 1 apresentou condições mais confortáveis que o tratamento 2 em cerca de 0,5 °C,

enquanto no período intermediário do dia (13 às 15 h) os tratamentos 1 e 2 apresentaram valores de temperatura de globo negro que se equivalem estatisticamente;

c) quando se comparam os tratamentos sem micro-aspersão, verificou-se que, aquele que utilizou a telha com capeamento foi o que apresentou piores condições ambientais internas. Os altos valores de temperatura de globo negro observados, para o tratamento com a telha com capeamento e sem o uso de aspersão (T3), que corresponde a uma situação de melhor isolamento térmico do telhado, permite concluir que, quando ocorre grande produção de calor interno o isolamento térmico da construção é um fator desfavorável.

Temperatura de globo negro

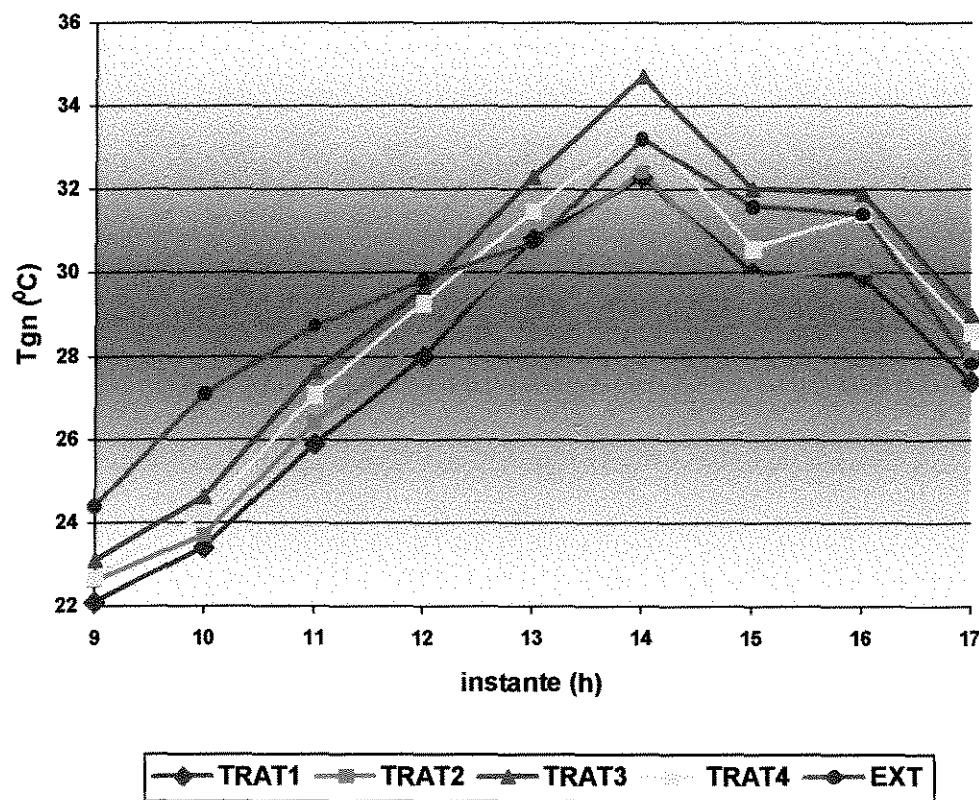


Figura 5.7. - Variação da temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Tabela 5.10. - Temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Instante (h)	Temperatura (°C)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	22,1 ^c	23,4 ^c	25,9 ^d	28,0 ^b	30,8 ^c	32,3 ^c	30,0 ^c	29,9 ^c	27,4 ^c
Tratamento 2	22,6 ^b	23,7 ^c	26,4 ^c	28,4 ^b	30,6 ^c	32,4 ^c	29,8 ^c	30,2 ^c	28,0 ^{bc}
Tratamento 3	23,1 ^a	24,6 ^a	27,6 ^a	29,6 ^a	32,3 ^a	34,7 ^a	32,0 ^a	31,9 ^a	29,0 ^a
Tratamento 4	22,7 ^b	24,2 ^b	27,1 ^b	29,3 ^a	31,5 ^b	33,6 ^b	30,6 ^b	31,4 ^b	28,6 ^{ab}

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.2.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade

Na figura 5.8. e na tabela 5.11. são apresentados os resultados da índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos testados. Os valores obtidos para o índice de temperatura de globo e umidade mostraram a mesma tendência observada para a temperatura de globo negro, discutida no item (5.2.1.2.) Uma grande diferença no valor do ITGU foi observada entre os tratamentos com e sem aspersão ao longo de todo período de observação. Quanto aos tratamentos com aspersão, na fase intermediária do dia, o tratamento sem capeamento apresentou melhores condições de conforto, enquanto no período inicial e final do dia foi o tratamento com capeamento que apresentou menores valores de ITGU.

Índice de temperatura de globo e umidade

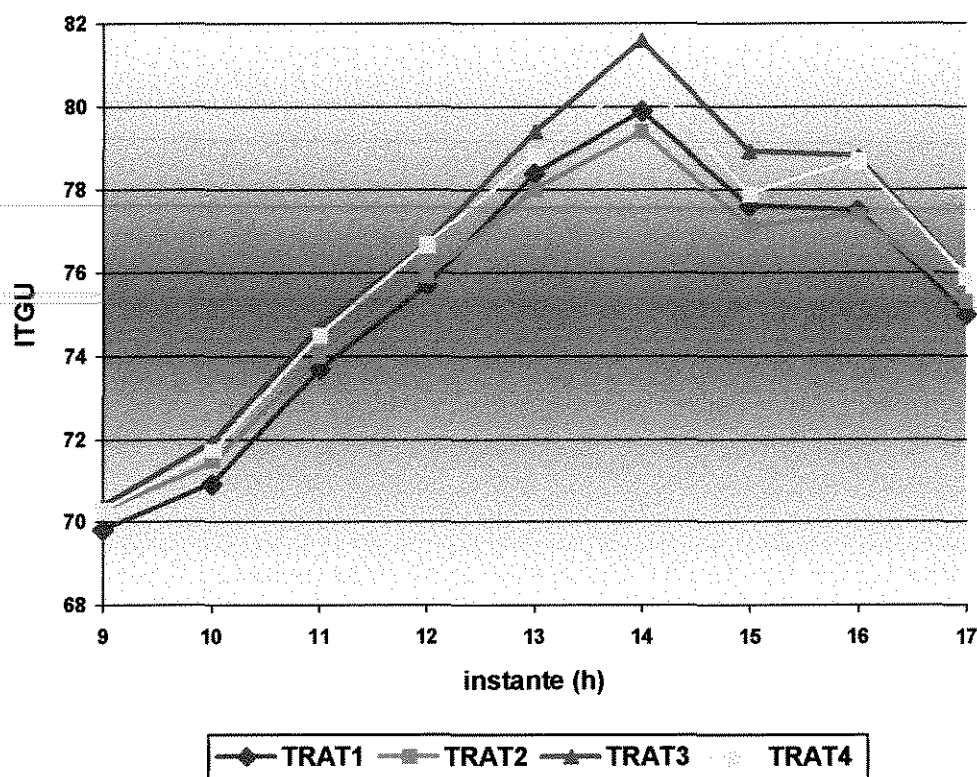


Figura 5.8. – Variação do índice de temperatura de globo negro e umidade para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Tabela 5.11. – Índice de temperatura de globo negro para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Instante (h)	ITGU								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	69,8 ^b	70,9 ^b	73,7 ^c	75,7 ^b	78,4 ^c	79,9 ^c	77,6 ^b	77,5 ^b	75,0 ^c
Tratamento 2	70,3 ^a	71,4 ^{ab}	74,0 ^b	75,9 ^b	78,0 ^c	79,4 ^c	77,1 ^c	77,4 ^b	75,3 ^{bc}
Tratamento 3	70,4 ^a	71,9 ^a	74,7 ^a	76,7 ^a	79,4 ^a	81,6 ^a	78,9 ^a	78,8 ^a	75,9 ^a
Tratamento 4	70,3 ^a	71,7 ^a	74,5 ^a	76,7 ^a	78,8 ^b	80,8 ^b	77,9 ^b	78,7 ^a	75,9 ^{ab}

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.2.3. Carga térmica radiante

Na figura 5.9. e na tabela 5.12. são apresentados os resultados da carga térmica radiante (CTR) para os tratamentos testados. Os valores obtidos para a carga térmica radiante mostraram a mesma tendência observada para a temperatura de globo negro e para o índice de temperatura de globo negro e umidade, discutida nos itens anteriores. Uma grande diferença no valor da CTR foi observada entre os tratamentos com e sem aspersão ao longo de todo período de observação. Quanto aos tratamentos com aspersão, na fase intermediária do dia o tratamento sem capeamento apresentou melhores condições de conforto, enquanto no período inicial e final do dia, foi o tratamento com capeamento que apresentou os menores valores de CTR.

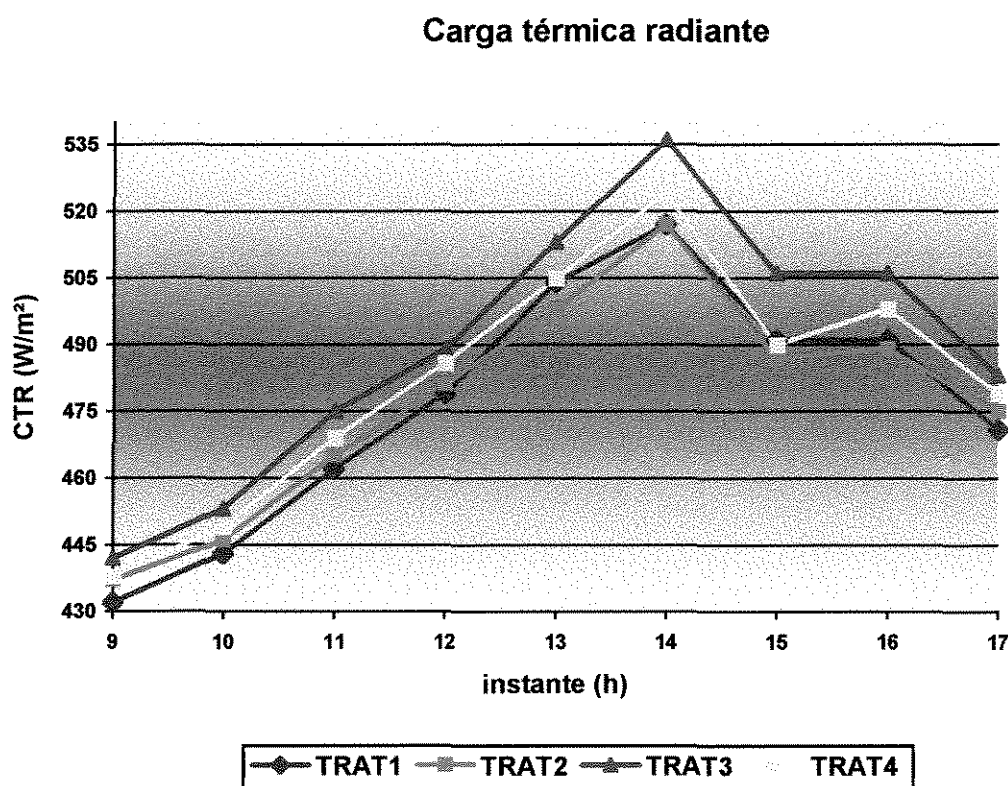


Figura 5.9. – Variação carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Tabela 5.12. – Carga térmica radiante para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Instante (h)	CTR (W/m ²)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	432 ^c	443 ^c	462 ^d	479 ^b	504 ^b	517 ^c	491 ^b	491 ^c	471 ^c
Tratamento 2	437 ^b	446 ^c	465 ^c	481 ^b	498 ^c	517 ^c	487 ^c	489 ^c	475 ^{bc}
Tratamento 3	442 ^a	453 ^a	475 ^a	489 ^a	513 ^a	536 ^a	506 ^a	506 ^a	483 ^a
Tratamento 4	438 ^b	449 ^b	469 ^b	486 ^a	505 ^b	524 ^b	490 ^{bc}	498 ^b	479 ^{ab}

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.2.4. Temperatura na face inferior da telha

Na figura 5.10. e na tabela 5.13. são apresentados os resultados da temperatura na face inferior da telha (T_i) para os tratamentos testados. Os valores da temperatura, observados para cada tratamento permitem concluir que:

- nos dois tratamentos que utilizaram micro-aspersão intermitente d'água na cobertura (T1 e T2) foram observadas condições de temperatura na face inferior da telha inferiores aos que não a utilizaram (T3 e T4), sendo tal situação verificada ao longo de todo período de observação. Para o instante de maior intensidade (15 h), observou-se diferenças de 3,5 °C, para os tratamentos com capeamento nas telhas, a 5,1 °C para os tratamentos sem capeamento;
- quando se comparam os tratamentos que utilizaram micro-aspersão (T1 e T2), verifica-se que o tratamento com capeamento (T1) apresenta temperatura na face inferior da telha com valores inferiores ao tratamento sem capeamento (T2) até cerca das 14 h, havendo uma inversão nessa situação, no período de 15 às 16 h, apresentando, novamente no final do dia, o tratamento T1, valores inferiores de temperatura na face inferior da telha.

Temperatura da telha - face inferior

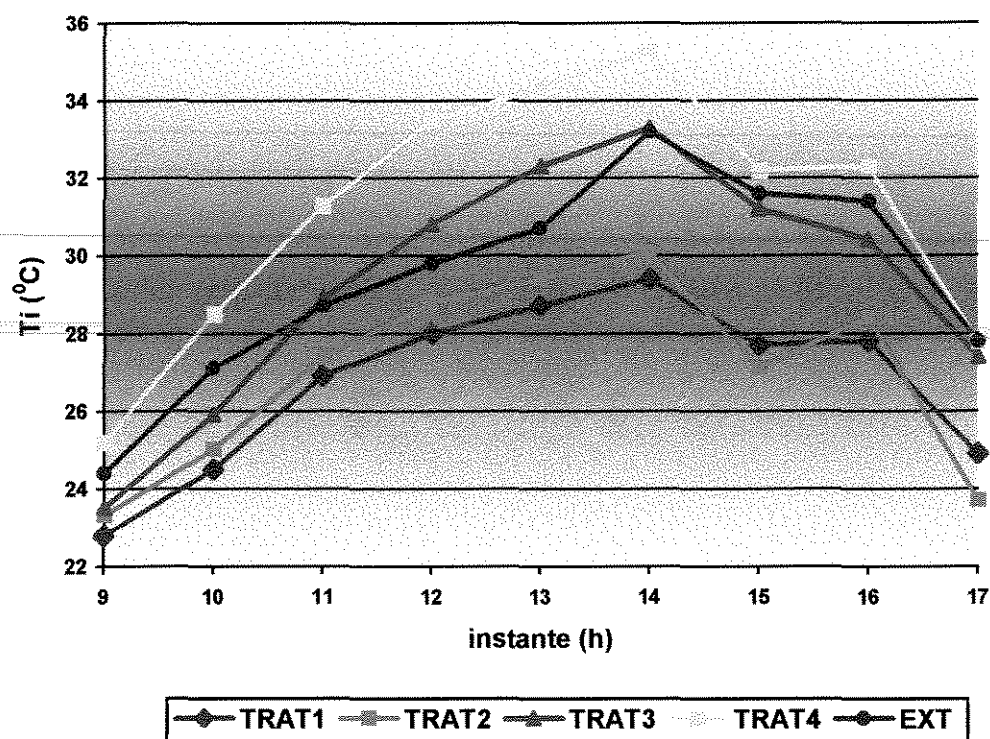


Figura 5.10. – Variação da temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Tabela 5.13. - Temperatura na face inferior da telha para os tratamentos testados, sujeitos à ventilação natural (vento + termossifão).

Instante (h)	Temperatura (°C)								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	22,8 ^c	24,5 ^d	26,9 ^d	28,0 ^d	28,7 ^c	29,4 ^d	27,7 ^c	27,8 ^c	24,9 ^b
Tratamento 2	23,3 ^b	25,0 ^c	27,4 ^c	28,8 ^c	29,4 ^c	30,1 ^c	27,1 ^d	28,4 ^c	23,7 ^c
Tratamento 3	23,5 ^b	25,9 ^b	28,9 ^b	30,8 ^b	32,3 ^b	33,3 ^b	31,2 ^b	30,4 ^b	27,4 ^a
Tratamento 4	25,2 ^a	28,5 ^a	31,3 ^a	33,5 ^a	34,3 ^a	35,3 ^a	32,2 ^a	32,3 ^a	27,8 ^a

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3. Análise do comportamento da temperatura das telhas

Na figura 5.11. são apresentadas as condições ambientais externas, correspondentes ao período de 01 à 03 de maio de 1997, para as quais o experimento foi realizado. Os valores observados de temperatura e umidade relativa caracterizam condições de alta temperatura associados à baixa umidade relativa do ar. Grande nebulosidade foi observada no período de 14 às 16 h.

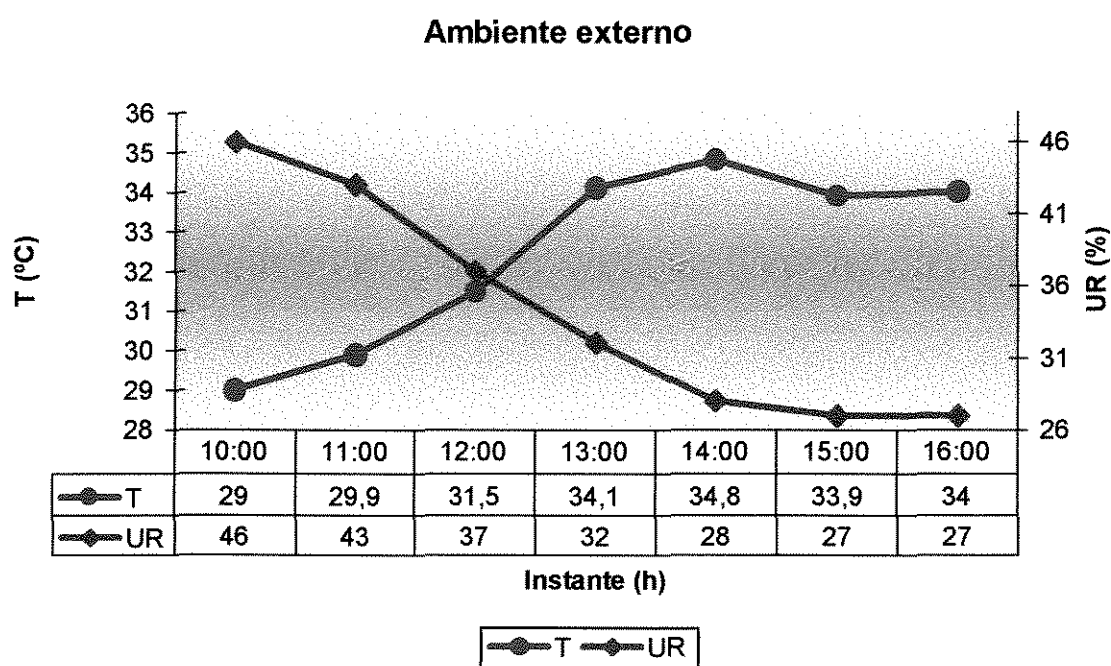


Figura 5.11. - Condições ambientais externas no período de 01 a 03 de maio de 1997.

5.3.1. Temperatura da face superior da telha

Na figura 5.12. e na tabela 5.14. são apresentados os resultados da temperatura na face superior da telha (T_s) para os tratamentos testados. Substancial redução da temperatura superficial das telhas foi observada quando da utilização da micro-aspersão intermitente. Enquanto para os tratamentos com aspersão (T1 e T2) a temperatura superior das telhas

variou de 26,2 a 30,7 °C, para os tratamentos sem aspersão (T3 e T4) a temperatura variou de 35 a 40 °C, sendo observadas diferenças de até 9,8 °C, para os tratamentos com capeamento das telhas (T1 e T3 – 14 h), e 9,3 °C para os tratamentos sem capeamento (T2 e T4 – 14 h). Quando se comparam os tratamentos que utilizaram aspersão (T1 e T2), verifica-se que o tratamento com capeamento (T1) apresentou temperaturas superficiais superiores mais amenas de 10 às 14 h, sendo 1 °C inferior às 14 h, enquanto de 15 às 16 h o tratamento sem capeamento (T2) apresentou temperaturas 0,4 °C menores.

Temperatura face superior da telha

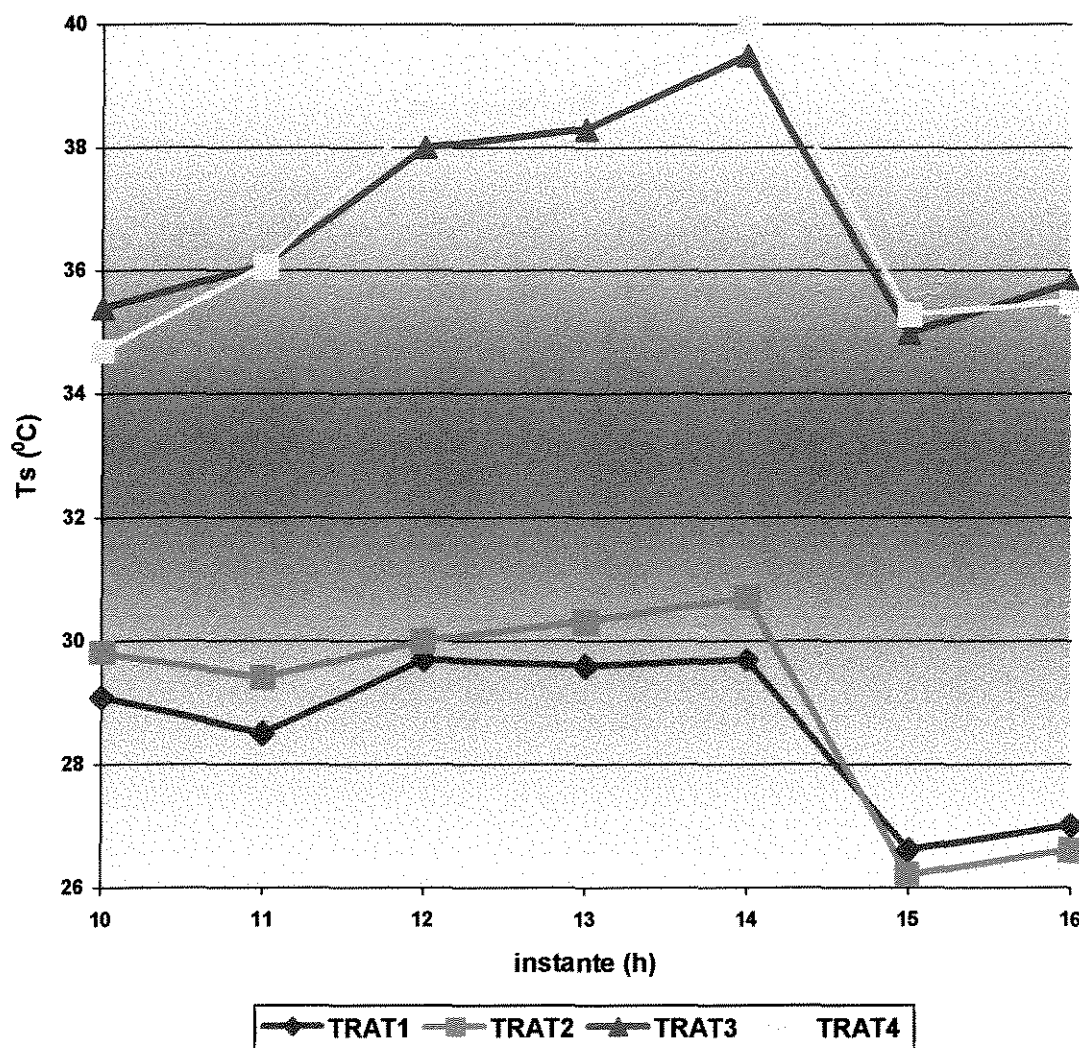


Figura 5.12. – Variação da temperatura na face superior das telhas em função do tratamento.

Tabela 5.14. - Temperatura na face superior das telhas em função do tratamento.

Instante (h)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)						
	10	11	12	13	14	15	16
Tratamento 1	29,1 ^d	28,5 ^c	29,7 ^d	29,6 ^c	29,7 ^d	26,6 ^b	27,0 ^b
Tratamento 2	29,8 ^c	29,4 ^b	30,0 ^c	30,3 ^b	30,7 ^c	26,2 ^b	26,6 ^b
Tratamento 3	35,4 ^a	36,1 ^a	38,0 ^b	38,3 ^a	39,5 ^b	35,0 ^a	35,8 ^a
Tratamento 4	34,7 ^b	36,2 ^a	38,6 ^a	38,8 ^a	40,0 ^a	35,3 ^a	35,5 ^a

Observação:

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3.2. Temperatura da face inferior da telha

Na figura 5.13. e na tabela 5.15. são apresentados os resultados da temperatura na face inferior da telha (T_i) para os tratamentos testados. O conhecimento da temperatura da superfície inferior da telha é de fundamental importância para o cálculo da troca de calor por radiação entre o telhado e a ave situada no nível do piso. Substancial redução da temperatura superficial das telhas foi observada quando da utilização da micro-aspersão intermitente. Enquanto para os tratamentos com aspersão (T1 e T2) a temperatura inferior das telhas variou de 28,8 a 32,1 $^{\circ}\text{C}$, para os tratamentos sem aspersão (T3 e T4) a temperatura variou de 31,4 a 38,9 $^{\circ}\text{C}$, observando-se diferenças de até 7,2 $^{\circ}\text{C}$, para os tratamentos com capeamento das telhas (T1 e T3 – 14 h), e 6,8 $^{\circ}\text{C}$ para os tratamentos sem capeamento (T2 e T4 – 14 h). Quando se comparam os tratamentos que utilizaram aspersão (T1 e T2), verifica-se que o tratamento com capeamento (T1) apresentou temperaturas superficiais inferiores mais amenas de 10 às 14 h, sendo 1 $^{\circ}\text{C}$ inferior às 14 h, enquanto de 15 às 16 h o tratamento sem capeamento (T2) apresentou temperaturas 0,5 $^{\circ}\text{C}$ menores.

Temperatura face inferior da telha

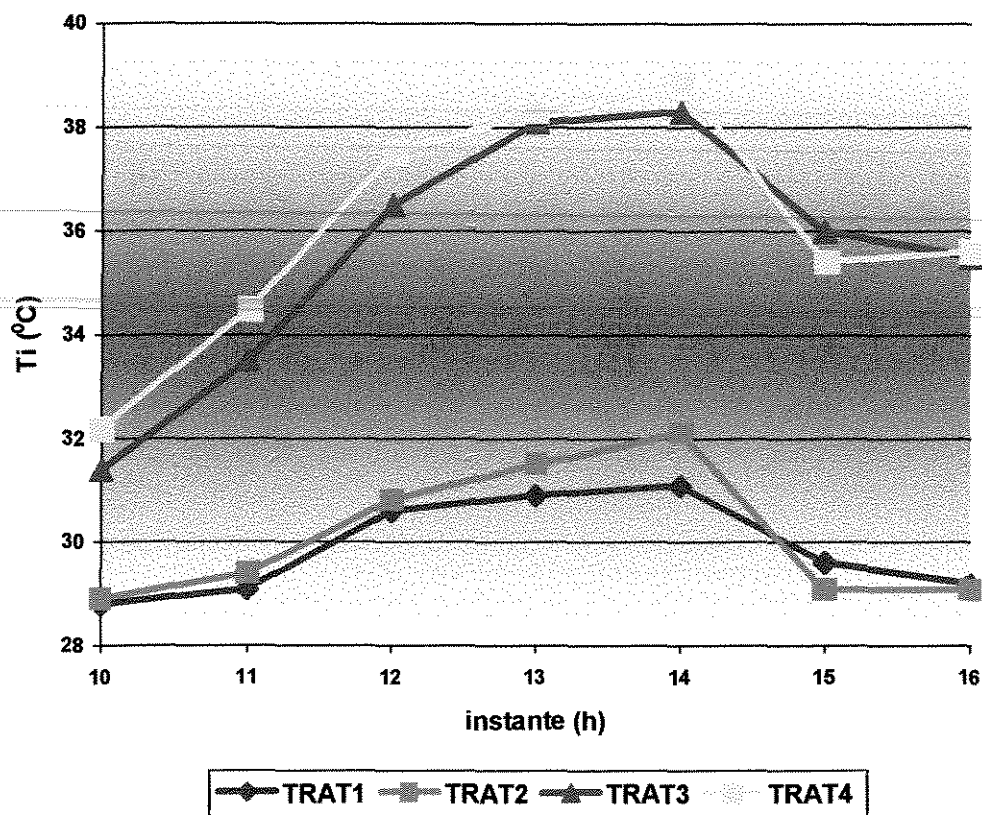


Figura 5.13. – Variação da temperatura na face inferior das telhas em função do tratamento.

Tabela 5.15. - Temperatura na face inferior das telhas em função do tratamento.

Instante (h)	Temperatura (°C)						
	10	11	12	13	14	15	16
Tratamento 1	28,8 ^c	29,1 ^c	30,6 ^c	30,9 ^c	31,1 ^d	29,6 ^c	29,2 ^b
Tratamento 2	28,9 ^c	29,4 ^c	30,8 ^c	31,5 ^b	32,1 ^c	29,1 ^c	29,1 ^b
Tratamento 3	31,4 ^b	33,5 ^b	36,5 ^b	38,1 ^a	38,3 ^b	36,0 ^a	35,5 ^a
Tratamento 4	32,2 ^a	34,5 ^a	37,5 ^a	38,3 ^a	38,9 ^a	35,4 ^b	35,6 ^a

Observação:

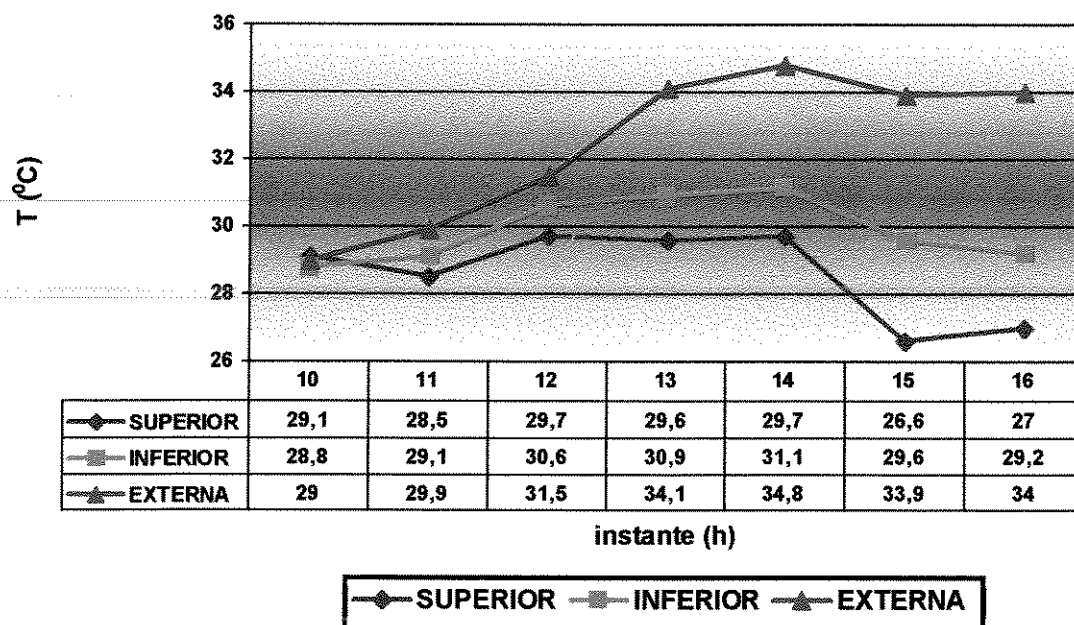
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3.3. Gradiente de temperatura na telha

Na figura 5.14. (a, b, c, d) são apresentados os resultados das temperaturas nas faces superior e inferior da telha (T_s e T_i) para cada um dos tratamentos testados. A observação dos resultados apresentados na figura seguinte permite concluir que:

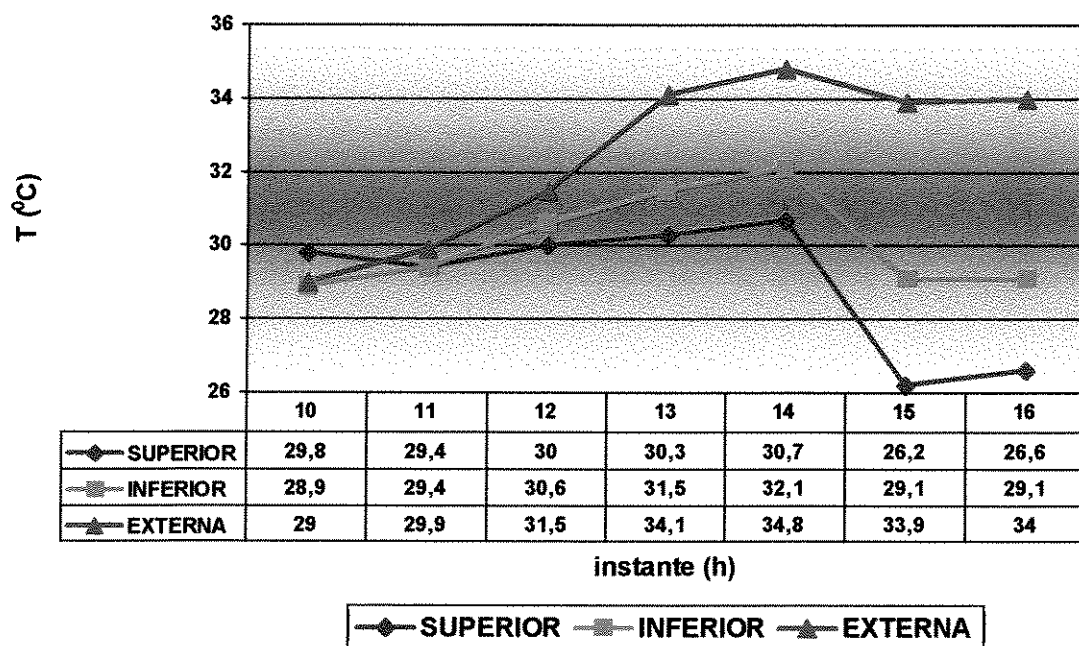
- a) nos tratamentos que utilizaram micro-aspersão intermitente (T1 e T2) o valor da temperatura superficial da telha, tanto na face superior quanto inferior foi menor do que a temperatura do ar externo, enquanto nos tratamentos sem aspersão (T3 e T4) as temperaturas superficiais foram mais elevadas que as do ar externo, o que mostra que a aspersão reduziu efetivamente a temperatura das telhas;
- b) nos tratamentos que utilizaram aspersão intermitente (T1 e T2) os valores da temperatura na face superior da telha foram menores do que a temperatura na face inferior ($T_i > T_s$). Como o fluxo de calor sempre ocorre do ponto de maior para o de menor temperatura, pode-se concluir que nos tratamentos 1 e 2 ocorreu remoção do calor interno, com consequente resfriamento efetivo do ambiente interno da instalação;
- c) nos tratamentos sem aspersão (T3 e T4) ocorre o inverso ($T_i < T_s$), podendo-se concluir que o interior da instalação recebeu uma parcela de calor através do telhado que se somou à carga térmica interior, provocando condições de alta temperatura interna.

Temperatura nas faces das telhas Tratamento 1



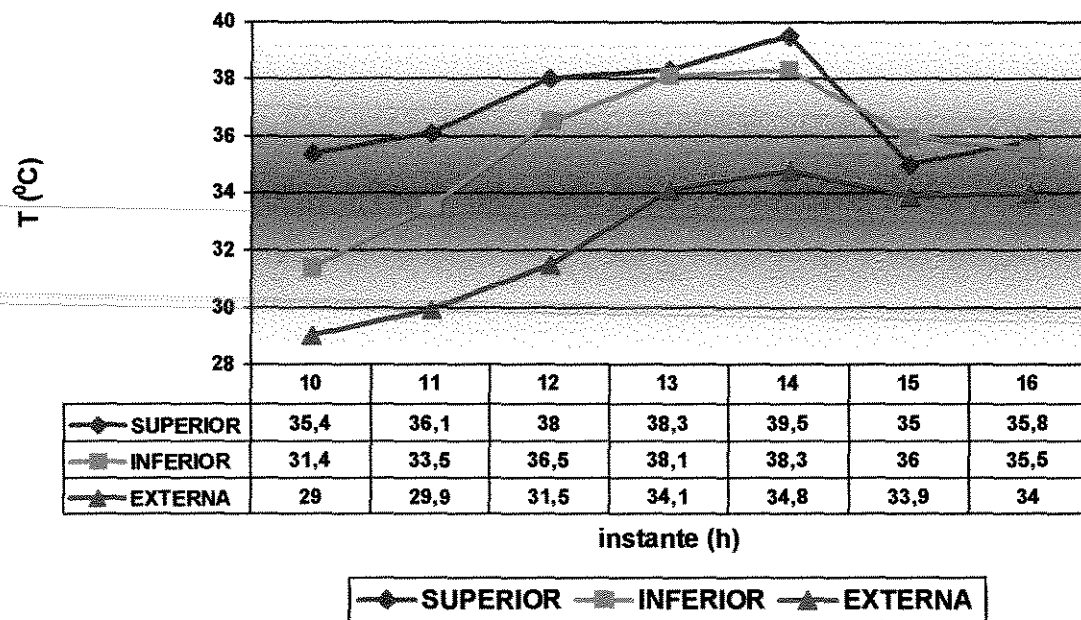
(a)

Temperatura nas faces das telhas Tratamento 2



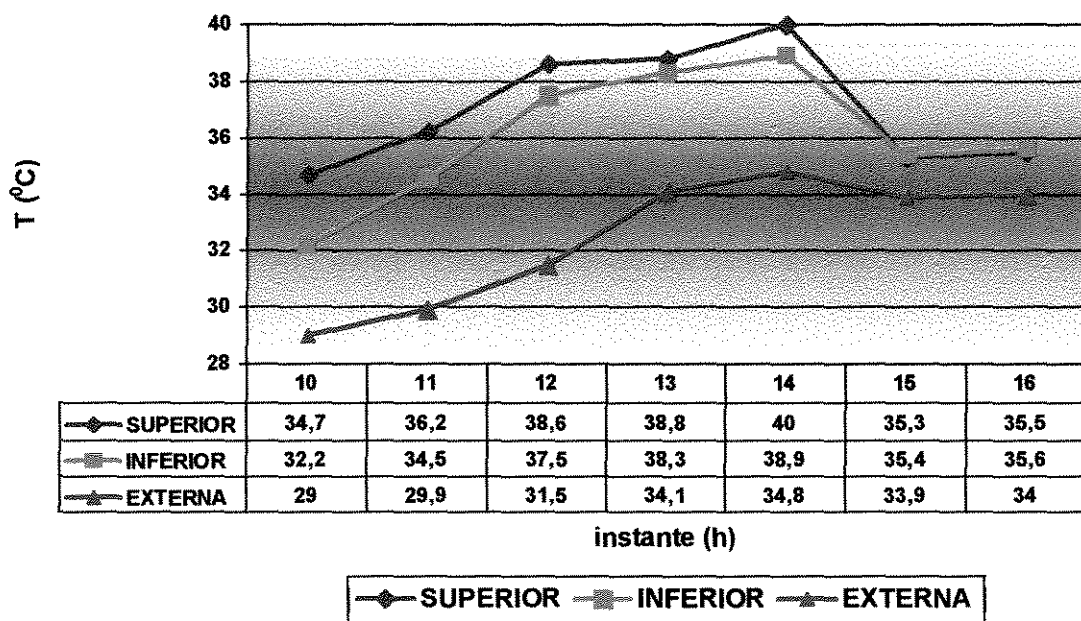
(b)

Temperatura nas faces das telhas Tratamento 3



(c)

Temperatura nas faces das telhas Tratamento 4



(d)

Figura 5.14. - Gradiente de temperatura nas telhas. Tratamento 1 (a), tratamento 2 (b), tratamento 3 (c) e tratamento 4 (d).

5.4. Variação da temperatura da água de aspersão

Durante o período de 16 a 25/04/1997 foi monitorada a temperatura da água de aspersão no reservatório. A figura 5.15. mostra a variação média da temperatura da água de aspersão, do ar externo e do ambiente interno, representada pela temperatura de globo negro, para os tratamentos sujeitos à micro-aspersão intermitente (T1 e T2).

Verificou-se que a temperatura da água cresce ao longo do dia, acompanhando o acréscimo da temperatura do ar externo. Particularmente, a partir das 13 h a água de aspersão atingiu temperaturas elevadas, da ordem de 27 °C. A aspersão sobre as telhas de água com temperatura nesse valor torna o processo de resfriamento menos efetivo, principalmente para a telha absorvente, que passa a reter em sua porosidade água a uma temperatura razoavelmente elevada. No período de cerca de 13 às 15 h, foi que observou-se pior desempenho do tratamento que utilizou a telha absorvente associada à aspersão intermitente (T1), em relação ao tratamento com a telha de cimento-amianto comum com aspersão (T2). Acredita-se que a alta temperatura da água de aspersão seja a responsável pelo fato, embora, também, a intensa nebulosidade ocorrida no período intermediário do dia associada à menor inércia térmica da telha sem capeamento contribua para justificar o fato observado. Seria recomendável que o reservatório d'água para bombeamento possua condições de manter a temperatura da água de aspersão em condições mais amenas, tomando-se precauções tais como, manter o reservatório enterrado e sombreado.

Temperatura da água de aspersão (Tag)

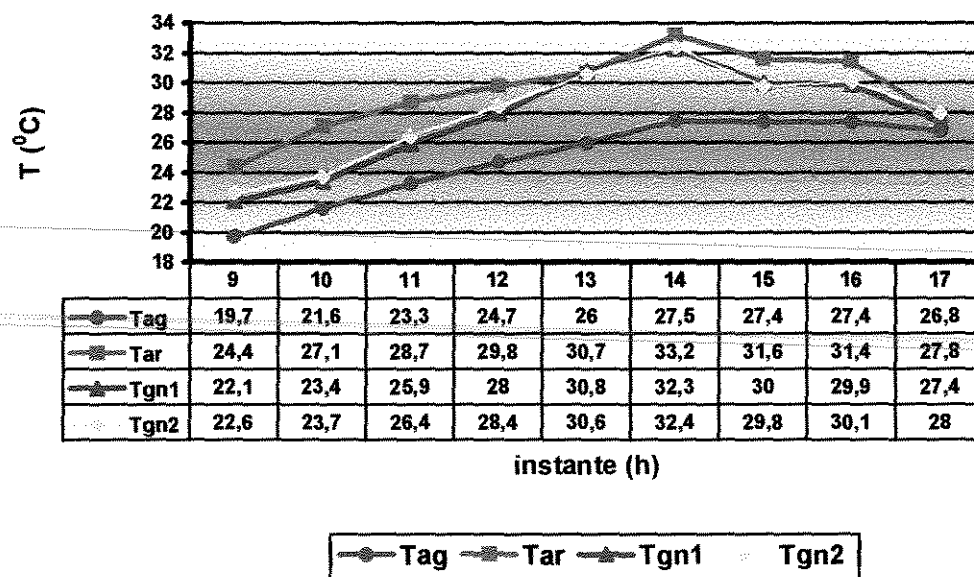


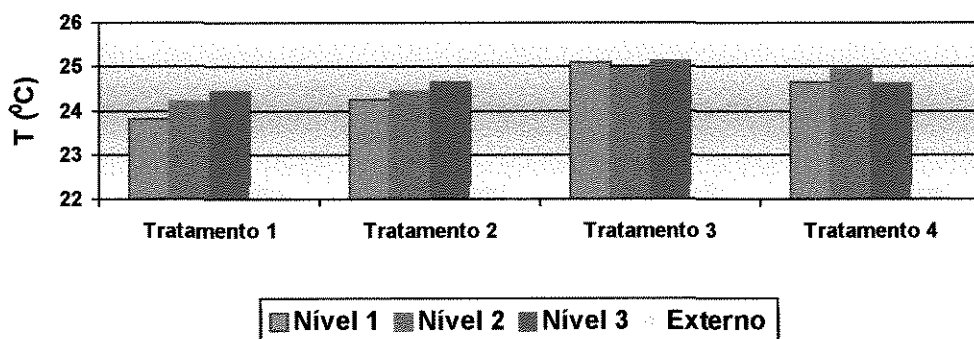
Figura 5.15. - Variação da temperatura da água de aspersão ao longo do dia.

5.5. Perfil da temperatura de globo negro

Nas figuras 5.16. (a, b, c, d), são apresentados os perfis das temperaturas de globo negro, bem como a temperatura do ar externo para os tratamentos testados, sujeitos a condições de ventilação natural por termossifão. Foram analisados instantes representativos de início do ensaio (9 h), máxima insolação (12 h), máxima temperatura (14 h) e final do ensaio (17 h). No período em que foi realizado o experimento, ocorreram noites de céu totalmente aberto, o que promovia intenso resfriamento noturno dos modelos que simulavam as instalações. Tal fato resultou que, na parte da manhã, a temperatura de globo em níveis mais baixos estivesse com valores inferiores aos níveis mais elevados, refletindo à temperatura do piso (cama) e das muretas que estão frios e possuem maior inércia térmica. O telhado, por sua vez, possuidor de pouca resistência e inércia térmica, transmite o calor proveniente da radiação solar, aquecendo a telha e influenciando na

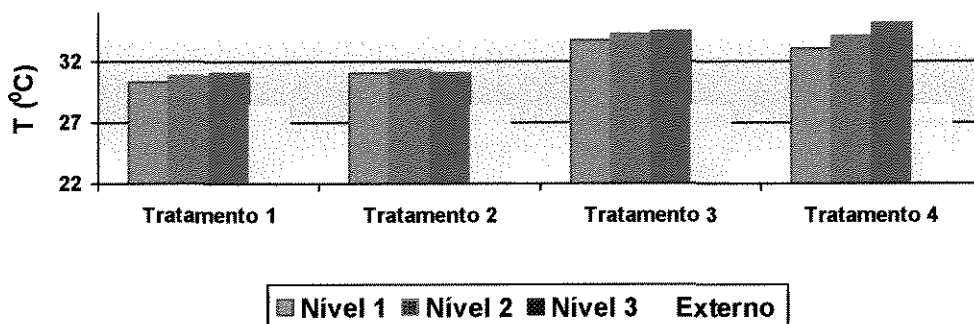
temperatura do termômetro de globo mais elevado, conseqüentemente mais próximo da telha. Com o passar do dia, tal situação vai se invertendo, notadamente para os tratamentos com aspersão (T1 e T2), ficando as camadas mais inferiores com temperatura de globo negro maior que as mais superiores. Embora a ventilação por termossifão não ocorra devido à temperatura de globo negro, mas sim devido à temperatura de bulbo seco do ar, estas se correlacionam (vide item 5.7.). Pode-se então concluir que, durante o dia, para ter-se ventilação por efeito de termossifão, há necessidade de se ter um resfriamento efetivo do telhado, de modo que ocorram gradientes de temperatura com camadas de ar a maior temperatura em níveis mais baixos e ar mais frio em níveis superiores.

**Perfil de temperatura de globo negro
(09 h)**



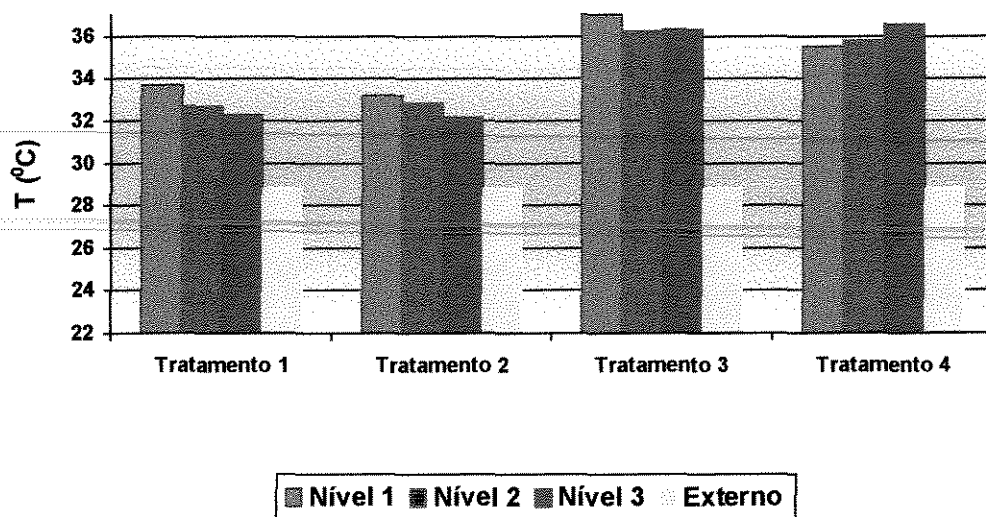
(a)

**Perfil de temperatura de globo negro
(12 h)**



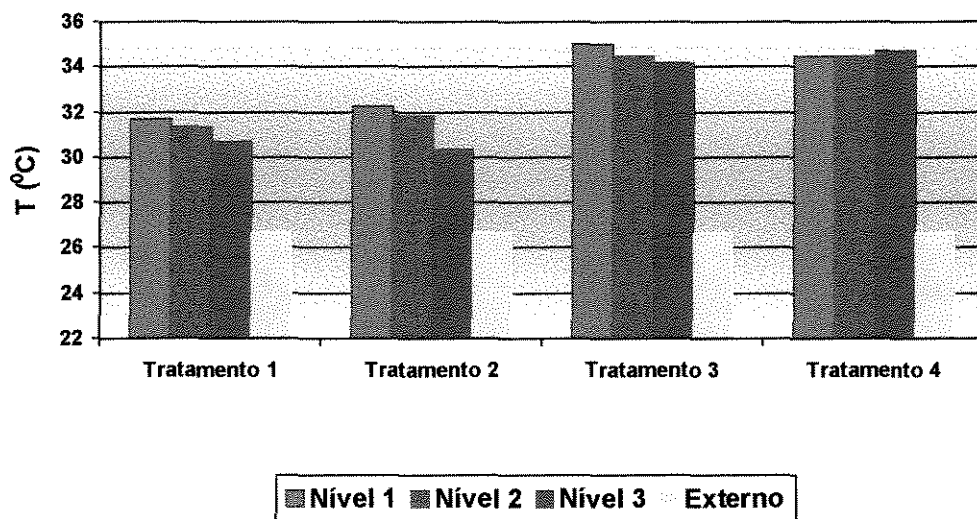
(b)

**Perfil de temperatura de globo negro
(14 h)**



(c)

**Perfil de temperatura de globo negro
(17 h)**



(d)

Figura 5.16. - Perfil da temperatura de globo negro no interior dos modelos reduzidos. Às 9 h (a), às 12 h (b), às 14 h (c) e às 17 h (d).

5.6. Temperaturas superficiais da instalação

Na figura 5.17. são apresentadas as temperaturas superficiais dos diversos planos que constituem o modelo reduzido em escala distorcida utilizado para o experimento. As temperaturas superficiais constantes da figura 5.17. correspondem ao tratamento 4 (testemunha), para dados coletados no período de 11 a 25/04/97, estando representadas a temperatura do telhado norte (TN), do telhado sul (TS), da cortina norte (CN), da cortina sul (CS), da parede leste (PL), da parede oeste (PO) e da cama (CM). O modelo testado, estava sujeito a condições de ventilação natural por termossifão. Foram analisados instantes representativos de início do ensaio (9 h), máxima insolação (12 h), máxima temperatura (14 h) e final do ensaio (17 h). Analisando-se a figura 5.17. verificou-se que nas primeiras horas de ensaio as temperaturas superficiais de maior magnitude eram as das águas dos telhados e as das cortinas, enquanto que as paredes de alvenaria e a cama possuem temperaturas em valores bem inferiores. Com o correr do dia, principalmente, após as 12 h (intensidade máxima de radiação solar), a temperatura do telhado e das cortinas tendem a decrescer, enquanto a das paredes e a da cama, situadas a nível mais baixo tendem a crescer ou a manterem-se constantes, devido à maior inércia térmica.

Temperaturas superficiais

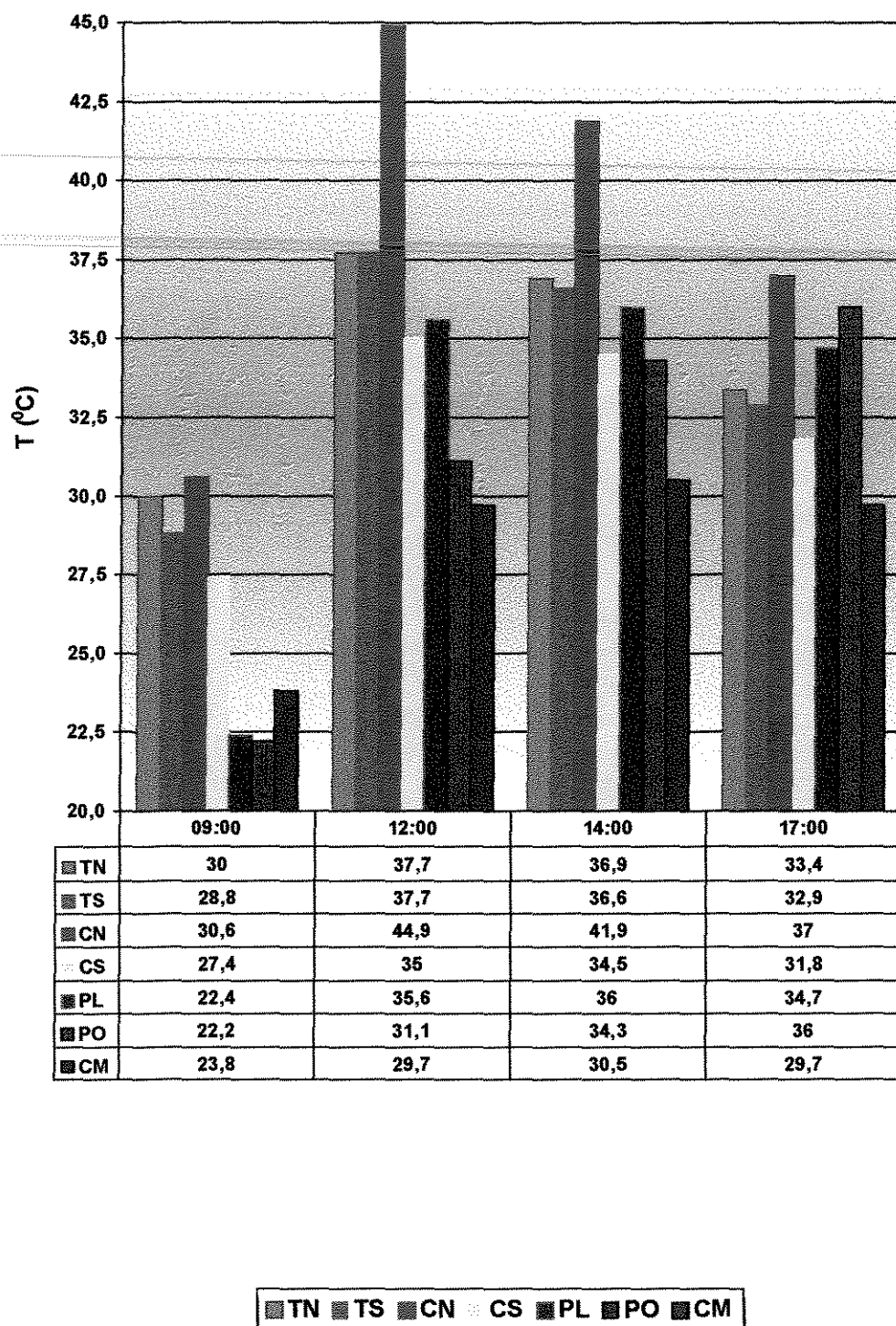


Figura 5.17. - Temperaturas superficiais dos planos que constituem a envoltória dos modelos reduzidos.

5.7. Correlação entre temperatura de globo negro e de bulbo seco

Na tabela 5.16. são apresentados as equações de regressão que relacionam a variável temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e temperatura de bulbo negro (T_{gn}) no interior dos modelos reduzidos correspondentes aos tratamentos T1, T2 e T4. Não é apresentada a correlação para o tratamento 3 porque os dados não foram consistentes, devido a problema técnico com o sistema de aquisição de dados.

Tabela 5.16. - Correlação entre T_{gn} e T_{bs} para os tratamentos T1, T2 e T4.

Tratamento	Equação			R^2
1	$T_{bs1} = 0,73 \times T_{gn1} + 6,2$			0,94
2	$T_{bs2} = 0,83 \times T_{gn2} + 3,0$			0,97
4	$T_{bs4} = 0,86 \times T_{gn4} + 2,5$			0,98
T_{gn}	T_{bs1}	T_{bs2}	T_{bs4}	
20	20,8	19,6	19,7	
25	24,5	23,8	24,0	
30	28,1	27,9	28,3	
35	31,8	32,1	32,6	
40	35,4	36,2	36,9	

5.8. Radiação de onda longa absorvida pelos frangos

O processo de transmissão de calor por radiação que ocorre entre o frango e a cobertura da instalação é função, principalmente, da temperatura da superfície inferior das telhas e da temperatura superficial das aves, influenciando também as características térmicas das superfícies (absortividade e refletividade), bem como características geométricas, das quais a de mais difícil quantificação é o chamado fator de forma ou de visibilidade. O fator de forma caracteriza como uma superfície “vê” a outra, ou seja, corresponde à fração de energia que deixa determinada superfície e atinge a outra.

Na tabela 5.17. (CAMPOS, 1995), são apresentadas as temperaturas da superfície de frangos de corte, e na tabela 5.18. os valores horários da temperatura na face inferior das telhas dos modelos reduzidos.

Tabela 5.17. - Temperaturas de superfície de frangos de corte.

Temperatura (°C)	Idade (dias)									
	8		14		20		30		42	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Crista	38,0	38,7	36,9	36,7	36,4	35,6	38,5	38,4	37,8	37,1
Cabeça	38,0	38,7	36,9	36,7	36,4	35,6	37,0	37,6	38,7	37,6
Dorso	38,4	37,5	36,8	37,1	37,5	36,5	39,1	39,9	39,7	39,0
Asa	38,2	38,4	37,0	37,3	37,3	37,0	37,6	38,9	38,7	38,2
Perna	39,3	39,6	37,1	36,9	36,8	35,4	37,2	38,3	37,2	37,4
Média	38,4	38,6	36,9	37,0	37,3	36,4	38,6	39,5	39,2	38,6
Temp. ambiente	35,0		31,0		27,0		30,0		28,0	

Observação:

Média – temperatura média proporcional à superfície

Temp. ambiente – temperatura ambiental interna do galpão, no momento da coleta de dados

M e F – macho e fêmea, respectivamente

Tabela 5.18. - Temperatura na face inferior das telhas para condições de ventilação por termossifão.

Tratamento	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Tratamento 1	24,1	25,5	28,3	29,8	30,0	30,2	29,9	28,8	28,2
Tratamento 2	24,8	26,5	29,5	31,3	31,0	30,3	29,7	28,3	27,1
Tratamento 3	26,0	28,6	32,5	35,0	35,7	36,2	35,3	34,1	32,8
Tratamento 4	28,1	31,6	35,7	37,8	38,0	37,3	36,1	34,2	32,8
Temperatura externa	22,3	24,3	26,4	28,4	28,8	28,8	29,0	27,7	26,7

Observando-se a última semana de produção (tabela 5.17.), pode-se considerar que a temperatura superficial média dos frangos à época do abate é de cerca de 39 °C. Esta fase da produção é particularmente crítica por que é quando ocorre maior mortalidade por estresse calórico, agravada pelo fato do prejuízo ser maior, porque as aves mortas, que

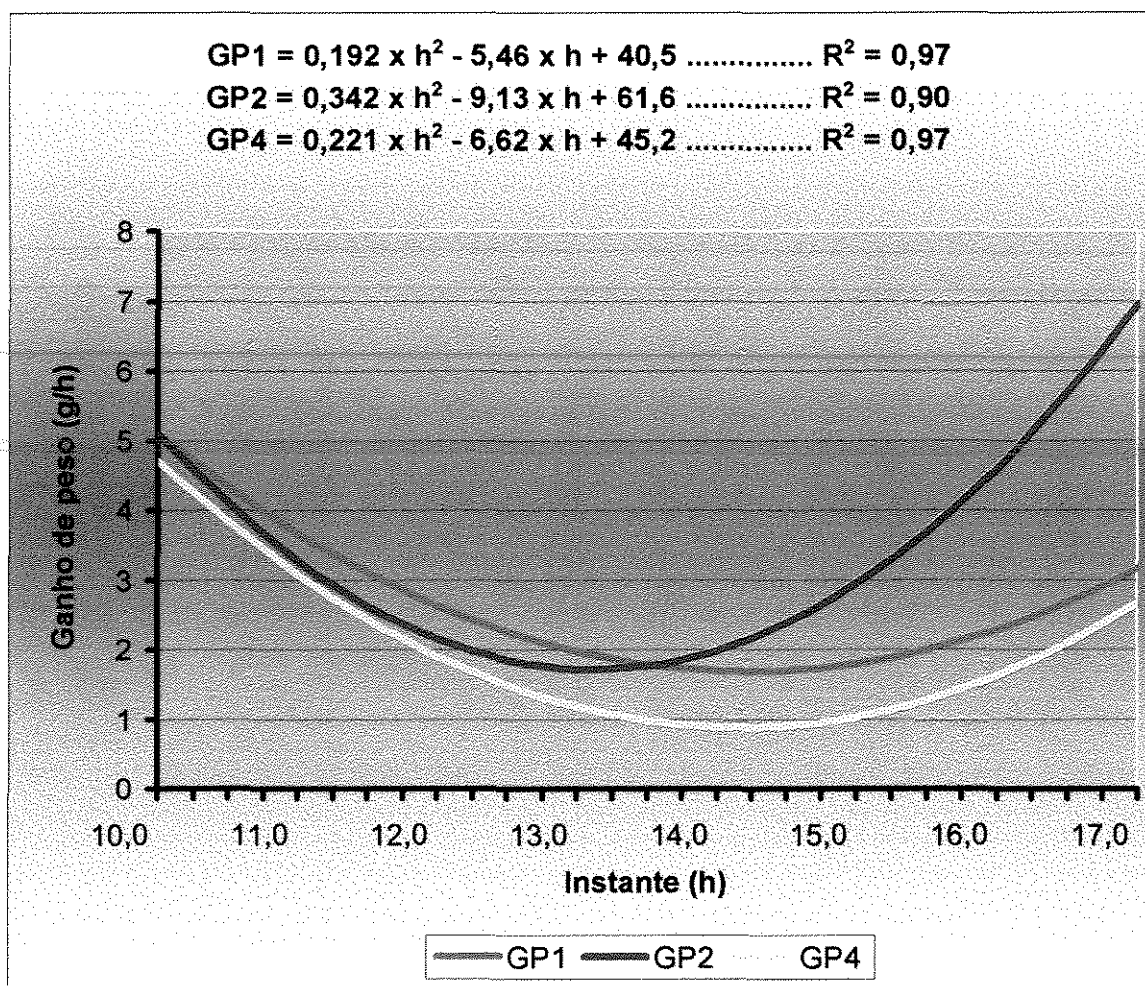
estariam prontas para o abate, terem consumido ração, a qual responde por 70% do custo de produção.

A análise das temperaturas constantes da tabela 5.18., leva à conclusão de que um correto manejo térmico da cobertura pode levar a amenizar as condições de estresse térmico por calor que acontecem, principalmente, na última semana de produção. O diferencial de temperatura entre a superfície da telha e a dos frangos é que promove o resfriamento por radiação das aves. Verifica-se que para os tratamentos com microaspersão intermitente (T1 e T2), este diferencial foi de cerca de 9 °C, para os momentos mais críticos do dia, enquanto para o tratamento testemunha (T4) foi de apenas 1 °C, às 13 h. Caso não tivesse ocorrido, durante o período de ensaio, a sistemática nebulosidade na parte da tarde, esta situação teria inclusive se agravado, com a superfície inferior das telhas passando a transferir calor para os frangos, na forma de radiação de onda longa na faixa do infravermelho.

5.9. Simulação da previsão de produção

Foram calculadas as equações de regressão, que correlacionam o ganho de peso dos frangos de corte, no período de criação dos 42 aos 49 dias de vida, com a hora do dia, no intervalo de 10 às 17 h. Para avaliação do ganho de peso foi utilizado o programa computacional Pro-Frango, o qual foi alimentado com os dados de temperatura de bulbo seco, disponíveis para os tratamentos T1, T2 e T4.

Na figura 5.18. são apresentadas as equações de regressão e a provável variação do ganho de peso no período de 10 às 17 h, para condições de ventilação natural por efeito de vento e termossifão.



Observação:

GP1, GP2 e GP4 = ganho de peso correspondente aos tratamentos 1, 2 e 4, respectivamente.

Figura 5.18. – Variação do ganho de peso de frangos de corte, para condições de ventilação natural de vento + termossifão.

5.10. Estudo de viabilidade econômica

5.10.1. Considerações econômicas

Analisando-se a tabela 3.3. (item 3.1.), verifica-se que, a região sudeste e, em especial o Estado de São Paulo, ocupam uma posição de destaque em relação à produção avícola nacional. Dentro do Estado de São Paulo, a Região Agrícola de Campinas, é a 2ª maior produtora de ovos comerciais e a maior produtora de carne de frango, contribuindo

com 21% da produção de ovos e 33% da produção de carne de frango no Estado de São Paulo, conforme mostrado na tabela 3.4. (item 3.1.).

5.10.2. Considerações climáticas

A Região Agrícola de Campinas está situada à altura do Trópico de Capricórnio, com altitudes de cerca de 700 m, tipo climático Cwa, segundo a classificação de Koeppen, sendo caracterizado como clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente. A tabela 5.19. apresenta as características climáticas correspondentes ao Município de Campinas. Com base nos dados constantes da tabela 5.19., determinou-se a utilização potencial, durante o ano, do sistema de resfriamento por micro-aspersão intermitente, baseado nas seguintes premissas:

- a) para os meses de inverno (junho, julho e agosto), o sistema de resfriamento funcionará em 20 % dos dias do mês, considerando-se que, embora sejam meses frios, a temperatura média das máximas alcança valores próximos de 25 °C e a nebulosidade média é cerca de 3,5, o que implica em altos valores de radiação solar que associado a temperaturas da ordem de 25 °C, pode ocasionar condições de desconforto animal;
- b) para os demais meses, foi considerado que, em maio (menor precipitação, exceto meses de inverno), o sistema será utilizado em 90% dos dias, enquanto nos demais meses o número de dias de uso varia com o inverso da precipitação pluviométrica mensal. Na tabela 5.20. é apresentada a utilização potencial do sistema.

Tabela 5.19. - Condições climáticas do Município de Campinas.

Cidade: Campinas (77/86) UF: SP Latitude: 22° 53' Longitude: 47° 04' Altitude: 693 m Pressão atmosférica: 710 mmHg							
	T _{max} (°C)		T _{min} (°C)		UR _{med} (%)	Chuva total (mm)	Nebulo- sidade
	Absoluta	Média	absoluta	Média			
Janeiro	35,4	28,9	13,0	18,9	75	217	6,2
Fevereiro	34,4	30,2	15,2	19,4	72	124	5,6
Março	34,3	29,2	8,5	18,8	72	142	5,3
Abril	32,3	27,5	10,4	16,7	73	91	4,3
Maiο	30,8	25,5	0,4	14,7	73	77	3,9
Junho	28,6	24,2	1,0	12,4	70	62	3,8
Julho	30,8	24,9	3,4	12,5	66	23	2,9
Agosto	32,1	26,2	2,6	13,8	63	47	3,4
Setembro	34,8	26,5	7,6	14,7	62	80	3,9
Outubro	35,0	28,6	9,6	16,8	68	116	4,6
Novembro	37,8	28,8	10,0	18,0	70	146	5,3
Dezembro	34,8	28,1	11,4	18,4	76	244	6,9
Anual	33,4	27,4	7,8	16,3	70	1367	4,7

Tabela 5.20. - Uso potencial do sistema de aspersão intermitente.

Mês	Temperatura média das máximas (°C)	Precipitação pluviométrica (mm)	Dias de uso do sistema de resfriamento
Janeiro	28,9	217	11
Fevereiro	30,2	124	17
Março	29,2	142	17
Abril	27,5	91	25
Maiο	25,5	77	28
Junho	24,2	62	6
Julho	24,9	23	6
Agosto	26,2	47	6
Setembro	26,5	80	29
Outubro	28,6	116	21
Novembro	28,8	146	16
Dezembro	28,1	244	10
Total	----	----	192

5.10.3. Considerações de manejo

Será considerado que o sistema de resfriamento da cobertura por micro-aspersão intermitente opera com períodos de intermitência de 5 minutos ligado por 10 minutos desligado, controlado por um temporizador de tempos combinados que aciona uma bomba hidráulica de $\frac{3}{4}$ hp. A figura 5.19. apresenta um corte longitudinal da instalação hidráulica e a figura 5.20. a planta baixa do sistema de aspersão, considerando uma instalação avícola correspondente às dimensões do modelo reduzido utilizado no experimento, ou seja 14 m de vão por 30 m de comprimento e 3 m de pé-direito. O período total diário de utilização do sistema foi considerado das 10 às 17 h, período em que a temperatura de globo negro interna permanece acima da temperatura de conforto para os frangos de corte, fixado em cerca de 25 °C.

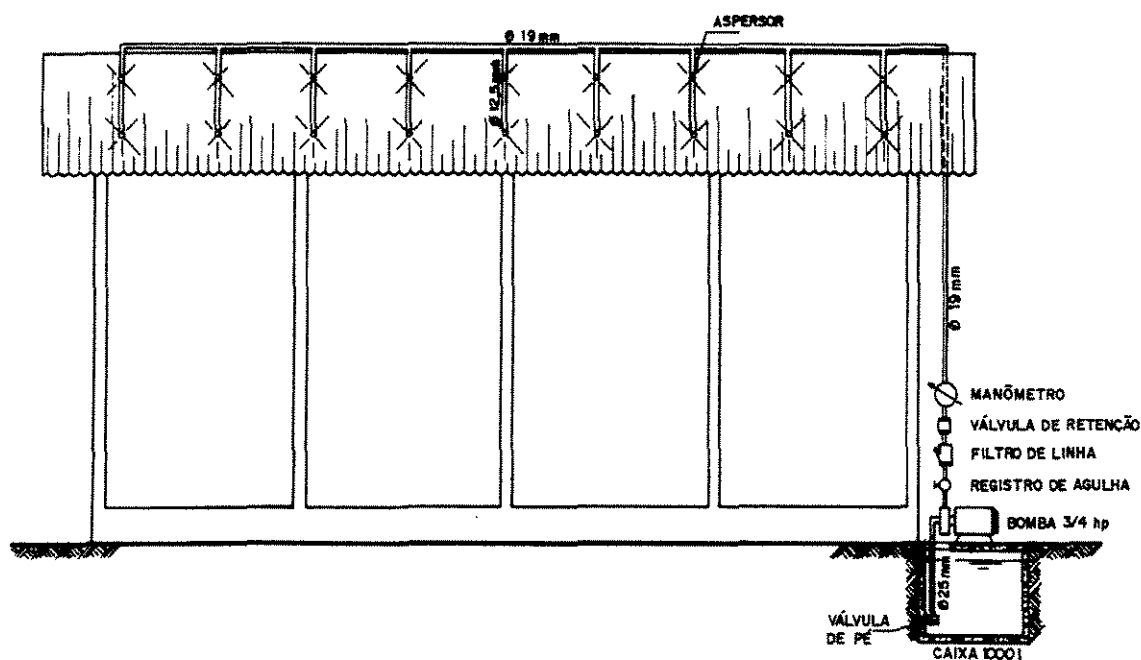


Figura 5.19. – Corte longitudinal da edificação, mostrando a instalação hidráulica, com detalhe do bombeamento.

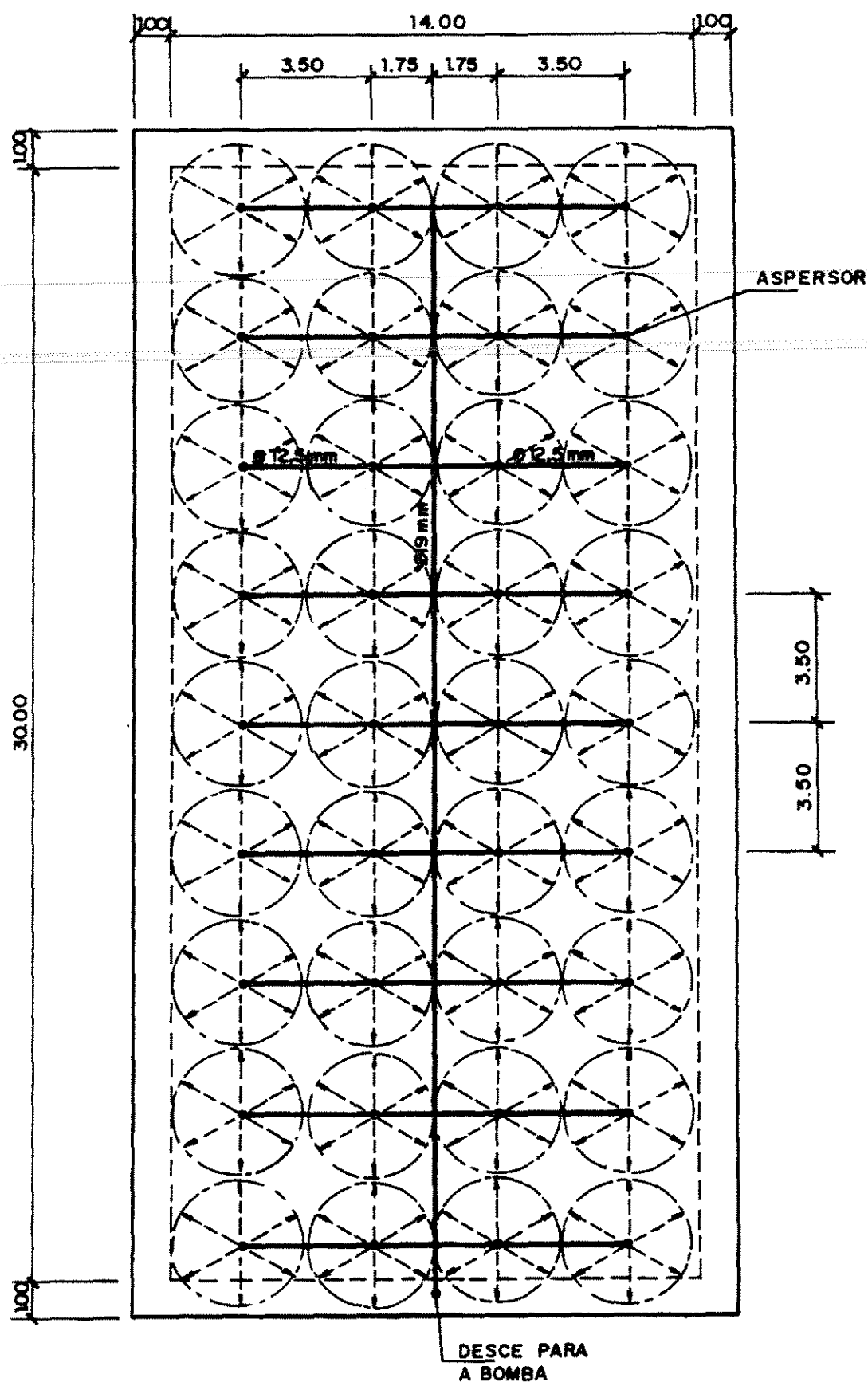


Figura 5.20. - Planta baixa mostrando o posicionamento dos micro-aspersores e tubulação de distribuição d'água.

5.10.4. Benefício de implantação do sistema

A variável ganho de peso, indicadora de produtividade animal, foi avaliada pelo *software* Pro-Frango, para uma instalação avícola coberta com telhas de cimento amianto (T4 - testemunha), para outra utilizando o sistema de resfriamento da cobertura com aspersão intermitente e telhas com capeamento de cimento-vermiculita (T1) e, finalmente, uma utilizando aspersão intermitente sobre telhas de cimento-amianto (T2).

5.10.4.1. Para condições de ventilação por termossifão

A tabela 5.21. mostra as diferenças teoricamente encontradas, para o ganho de peso diário, para condições de ventilação natural por efeito de termossifão.

Tabela 5.21. - Peso diário para frangos de corte, para última semana de criação, para condições de ventilação natural por efeito de termossifão.

Idade (dias)	Peso diário (g)		
	Tratamento		
	T 1 Micro-aspersão intermitente/telha absorvente	T2 micro-aspersão intermitente/telha de cimento-amianto	T4 telha de cimento- amianto (testemunha)
42	2100	2100	2100
43	2114	2115	2107
44	2135	2135	2115
45	2160	2159	2126
46	2167	2166	2131
47	2176	2176	2134
48	2189	2187	2142
49	2209	2207	2149

A análise da tabela anterior permite avaliar que não ocorreriam, praticamente, diferenças no peso final das aves que fossem abrigadas nas instalações correspondentes aos

tratamentos 1 e 2. No entanto, grande diferença de peso final ocorreria entre os tratamentos que utilizassem aspersão d'água na cobertura (T1 e T2) e o que não a utilizasse (T4). Os valores de ganho de peso observados na tabela anterior permitiram concluir ser, praticamente impossível, manter de forma econômica a atividade avícola sem o emprego de algum controle ambiental.

Em 07/03/98, a cotação do preço pago ao produtor pelo frango foi de R\$ 0,85 por kg de peso vivo. A diferença de peso final, de cerca de 58 g por ave (244 kg / lote de 4200 aves), entre os tratamentos que utilizaram e o que não utilizou aspersão intermitente, corresponderia a um ganho adicional de R\$ 207,40, somente pela utilização do sistema proposto na última semana de produção.

Em condições de ventilação interna de pequena intensidade, como é o caso da ventilação obtida por efeito de termossifão, não convém utilizar a telha com cobertura absorvente, já que o resultado econômico é idêntico ao obtido, simplesmente com o uso da aspersão intermitente sobre a telha de cimento-amianto, comumente utilizada.

5.10.4.2. Para condições de ventilação natural (vento + termossifão)

A tabela 5.22. mostra as diferenças encontradas para condições de ventilação natural devido ao vento mais o efeito de termossifão.

Tabela 5.22. - Peso diário para frangos de corte, para última semana de criação, para condições de ventilação natural por efeito de vento mais termossifão.

Idade (dias)	Peso diário (g)		
	Tratamento		
	T 1 Micro-aspersão intermitente/telha absorvente	T2 micro-aspersão intermitente/telha de cimento-amianto	T4 telha de cimento- amianto (testemunha)
42	2100	2100	2100
43	2128	2125	2117
44	2160	2156	2145
45	2190	2183	2169
46	2223	2214	2198
47	2247	2237	2216
48	2269	2258	2230
49	2295	2282	2254

A análise da tabela anterior, que corresponde a uma situação de melhor ventilação do que a dos dados apresentados na tabela 5.21., permite avaliar que:

- a) a diferença encontrada, para o peso final, entre os tratamentos que utilizaram aspersão intermitente (T1 e T2), foi de apenas 13 g por ave, que levaria a uma remuneração adicional de R\$ 46,40 por lote de 4200 aves;
- b) quando se compara o tratamento testemunha (T4), com o que utilizou a telha de cimento-amianto e micro-aspersão intermitente (T2), verifica-se diferenças no peso final das aves de 28 g por ave, que levaria a uma remuneração adicional de cerca de R\$ 100,00 por lote de 4200 aves;

5.10.5. Custo de implantação do sistema

A análise dos dados das tabelas 5.21. e 5.22. permite, concluir que, o uso da telha com capeamento associada ao uso da micro-aspersão intermitente não se mostrou significativamente superior, ao simples uso da telha de cimento-amianto com micro-

aspersão intermitente. Esta tendência foi também verificada, quando da análise dos dados que descrevem o comportamento do ambiente interno dos modelos reduzidos. Por essa razão foi realizada a análise de custos, comparando a implantação do sistema de micro-aspersão intermitente sobre telhado de telhas onduladas de cimento-amianto, contra a solução de cobertura comumente adotada em instalações avícolas, ou seja a telha ondulada de cimento-amianto.

Na tabela 5.23. é apresentada a planilha de custos fixos de implantação do sistema e na tabela 5.24. os custos de utilização e manutenção do sistema de micro-aspersão intermitente. Estão considerados os custos fixos de implantação com material e mão-de-obra e os custos de utilização que incluem o consumo de energia elétrica e mão de obra de manutenção do sistema.

Tabela 5.23. - Planilha de custos de implantação do sistema de micro-aspersão.

Custos de implantação			
Instalação hidráulica			
Material	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Micro-aspersor modelo Jatíssimo-Marca Simab - ϕ 8 mm / 360 ⁰	36 un.	1,00	36,00
Bomba centrífuga $\frac{3}{4}$ hp-220v – marca Dancor	1 un.	75,00	75,00
Válvula de pé ϕ 25 mm	1 un.	20,00	20,00
União ϕ 25 mm	1 un.	3,00	3,00
Registro de gaveta ϕ 19 mm	2 un.	6,00	12,00
Válvula de retenção ϕ 19 mm	1 un.	12,00	12,00
Filtro de linha ϕ 19 mm	1 un.	12,00	12,00
Manômetro	1 un.	20,00	20,00
União ϕ 19 mm	1 un.	1,00	1,00
Tubo PVC ϕ 25 mm	2 m	3,00	6,00
Tubo polipropileno ϕ 19 mm	36 m	0,50	18,00
Tubo polipropileno ϕ 12,5 mm	125 m	0,40	50,00
Conexões ϕ 25 mm	Diversas	----	5,00
Conexões ϕ 19 mm	Diversas	----	15,00
Conexões ϕ 12,5 mm	Diversas	----	10,00
Mão de obra	verba	----	200,00

(continua)

(continuação)

Instalação elétrica			
Material	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Temporizador de tempos combinados – 3 min / 30 min – 220 V	1 un.	90,00	90,00
Chave contactora magnética 220 V / 10 A	1 un.	30,00	30,00
Disjuntor 220 V / 10 A	1 un.	20,00	20,00
Fio 2,5 mm ²	10 m	0,20	2,00
Mão de obra	verba	----	100,00
Custo total (hidráulica + elétrica)			837,00

Para cálculo dos custos da energia elétrica consumida pela bomba hidráulica, foi considerado que o sistema tem utilização dos 42 aos 49 dias de vida das aves, estando funcionando no período de 10 às 17 h, com intermitência de 5 minutos ligado por 10 minutos desligado. Este manejo corresponde à utilização da bomba hidráulica de $\frac{3}{4}$ hp (560 W), durante 20 min/h, que acarreta um tempo diário da bomba ligada de 2,34 h/dia, que corresponde a 18,72 h de bomba ligada, no período dos 42 aos 49 dias de vida dos frangos, levando a um consumo de energia elétrica de 10,5 kW.h.

O cálculo do custo de manutenção é de difícil previsão, por depender da qualidade dos materiais e da mão-de-obra empregada. Uma bomba hidráulica de qualidade exige pouca manutenção. Do modo como foi projetado o acionamento da bomba, com uso de disjuntor e chave contactora magnética, a bomba e o temporizador ficam suficientemente protegidos de danos. A maior possibilidade de manutenção ocorre devido a entupimentos dos micro-aspersores, que pode ser realizada por qualquer funcionário, já disponível na granja, por tratar-se tarefa simples de ser feita, com a troca da cabeça do micro-aspersor. Como o sistema projetado dispõe de um filtro de linha e, se a água utilizada for de qualidade, os problemas de entupimento serão esporádicos.

Tabela 5.24. - Planilha de custos de uso e manutenção do sistema de aspersão.

Custos de uso e manutenção (R\$)			
Item	Consumo	Custo	
		Unitário	Total
Energia elétrica	10,50 (kW.h)	0,20	2,10
Manutenção de equipamento	Previsão	----	10,00
Mão de obra de manutenção	Previsão	----	10,00
Custo total			22,10

5.10.6. Relação custo-benefício de implantação do sistema de aspersão intermitente

Para cálculo da relação custo-benefício considerou-se que cada instalação abrigasse seis lotes de aves durante o ano, tendo em vista o período de criação (49 dias) e o vazio sanitário (10 dias).

Para casos de ventilação muito deficiente, que se aproximam da condição de análise correspondente à ventilação por termossifão, verificou-se que o sistema se paga com a criação de 4 lotes de frangos.

Para situações de melhor ventilação natural, que correspondem aos casos simulados como ventilação por efeito de vento e termossifão, verificou-se que o sistema se paga com a criação de cerca de 8 lotes de frangos.

Vale ressaltar que esta análise foi feita somente para a última semana de criação, porém o sistema pode ser utilizado também na quinta e sexta semanas de criação, com obtenção de algum benefício adicional. Não foi objeto de análise deste trabalho, mas a redução da temperatura ambiental interna, propiciada pelo sistema de micro-aspersão intermitente, deve ocasionar uma diminuição de mortalidade, que seria também um benefício adicional oferecido pelo sistema.

6. CONCLUSÕES

6.1. Argamassa de cimento e vermiculita

A argamassa de cimento e vermiculita, no traço 1:4 (cimento:vermiculita), desenvolvida neste trabalho, se mostrou, quanto às características térmicas e mecânicas, adequada ao uso proposto. Apresenta características de leveza (massa específica = 585 kg/m³), retenção d' água (absorção = 122,9%) e resistência mecânica (tensão de ruptura à compressão = 1,49 MPa), associada a valores de propriedades térmicas, que recomendam o uso do material para controle ambiental, ou sejam, uma mediana condutibilidade térmica ($k = 0,20 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), da ordem de 9 vezes menor que a do concreto e cerca de 3 vezes menor que a do cimento-amianto, bem como valores de difusibilidade ($\alpha = 3,6 \cdot 10^{-7}$), capazes de levar à inércia e à retardo térmico com características superiores as do cimento-amianto.

6.2. Ambiente interno da instalação

As grandezas térmicas que caracterizaram o ambiente interno da instalação (temperatura de globo negro, índice de temperatura do globo negro e umidade, carga térmica radiante), apresentaram comportamento semelhante, para todos os casos de análise, e para todos os dias em que ocorreram levantamento de dados.

Tanto para a condição ventilação natural deficiente (somente efeito de termossifão),

quanto para a condição de ventilação natural mais acentuada (vento externo + efeito de termossifão), a T_{gn} , o ITGU e a CTR apresentaram diferenças de grande magnitude e estatisticamente significativas, entre os tratamentos que usaram o sistema de resfriamento com uso de micro-aspersão intermitente (T1 e T2) e os que não o usaram (T3 e T4).

Quando se comparam os tratamentos que utilizaram o sistema de resfriamento (T1 e T2), verifica-se que as diferenças entre as grandezas objeto de análise, já não se apresentaram tão acentuadas, embora sejam até significativas estatisticamente para algumas horas do dia. Como comportamento geral, pode-se afirmar que pela parte da manhã (9 às 13 h), o tratamento com uso de aspersão e capeamento absorvente nas telhas (T1), apresentou valores de T_{gn} , ITGU e CTR que indicam melhores condições de conforto térmico. Na parte intermediária do dia (13 às 15 h) ocorre uma inversão de comportamento, sendo o tratamento com aspersão e sem capeamento (T2) o que apresenta melhores condições de conforto térmico. No final da tarde (15 às 17 h), ocorre nova inversão de comportamento, com o tratamento 1 apresentando valores de T_{gn} , ITGU e CTR mais favoráveis sob o ponto de vista de conforto térmico.

Acredita-se que a inversão de valores detectada no comportamento das variáveis térmicas, ocorrida na parte intermediária do dia, deva-se ao fato do aquecimento da água de aspersão ao longo do dia, bem como à intensa nebulosidade que ocorreu nesse período (12 às 15-16 h), que associada a menor inércia térmica da telha sem capeamento faz com que ela se esfrie mais rapidamente.

6.3. Transferência de calor através das telhas

A análise das temperaturas superficiais superior (T_s) e inferior (T_i) das telhas permitiu concluir que:

- a) nos tratamentos que utilizaram aspersão intermitente (T1 e T2) o valor da temperatura na face superior da telha foi menor do que a temperatura na face inferior ($T_i > T_s$) ao longo de todo período de observação. Como o fluxo de calor sempre ocorre do ponto de maior para o de menor temperatura, pode-se concluir que nos tratamentos 1 e 2 ocorreu remoção do calor interno, com conseqüente resfriamento efetivo do ambiente interno da instalação;
- b) nos tratamentos sem aspersão (T3 e T4) ocorre o inverso ($T_i < T_s$), podendo-se concluir que o interior da instalação recebe uma parcela de calor através do telhado que se somou a carga térmica interior, provocando condições de alta temperatura interna.

6.4. Modelagem matemática e previsão de ganho de peso horário

A observação do modelo matemático de previsão do ganho de peso horário mostra a importância do controle ambiental, pois no período intermediário do dia, que corresponde às horas de maior valor de temperatura interna, ocorreu acentuada redução do ganho de peso instantâneo, chegando a valores inferiores a 1 g/h para o tratamento sem aspersão (T4) a valores da ordem de 1,8 g/h para os tratamentos com aspersão (T1 e T2).

6.5. Viabilidade econômica de implantação do sistema

Muito embora o uso da telha absorvente associada à micro-aspersão intermitente tenha mostrado melhores condições de conforto térmico no período inicial e final do dia, a análise das variáveis ambientais não mostrou vantagem acentuada, no uso da telha com capeamento absorvente associada à aspersão intermitente, quando comparada ao simples uso da telha de cimento-amianto e da aspersão intermitente.

Tendo-se em conta a não existência no mercado de uma telha absorvente com as características da testada, a dificuldade para execução do capeamento da telha na obra em condições artesanais, e os custos adicionais correspondentes a pequenos ganhos de produtividade, sugere-se ao final deste trabalho, que o uso da micro-aspersão intermitente e da telha ondulada de cimento-amianto, nas condições em que este experimento foi realizado, tem potencial de propiciar condições de conforto térmico em instalações destinadas à criação de frangos de corte, com as condições de retorno econômico citadas a seguir:

- a) O acréscimo de ganho de peso diário, durante a última semana de criação (42 aos 49 dias), poderia variar de 58 g/dia.ave, para uma instalação com ventilação deficiente, a 28 g/dia.ave, para uma instalação bem ventilada, sujeita ao efeito de vento e termossifão.
- b) Para casos de ventilação muito deficiente verificou-se que o sistema se paga com a criação de 4 lotes de frangos, enquanto que, para situações de melhores condições de ventilação natural, verificou-se que o sistema se paga com a criação de cerca de 8 lotes de frangos.

6.6. Sugestões para trabalhos futuros

Diversos aspectos do resfriamento com uso da aspersão intermitente, do uso de telhas com características absorventes d'água e do aproveitamento do potencial do resfriamento evaporativo, que não ficaram suficientemente esclarecidos neste trabalho, devem ser objeto de pesquisas futuras, sendo sugerido os seguintes tópicos:

- a) influência da temperatura da água de aspersão, possibilidades naturais ou de baixo custo de resfriamento dessa água, bem como o uso de isolamento térmico, economicamente viável, no reservatório e na tubulação de bombeamento;
- b) estudo de melhores intervalos de intermitência para ligar e desligar a bomba, possivelmente menores que os usados neste trabalho, de modo a privilegiar as trocas térmicas evaporativas;
- c) confronto do sistema de aspersão intermitente, contra os sistemas hoje tradicionalmente usados em avicultura tecnificada, tais como ventilação mecânica e ventilação associada à aspersão interna.
- d) instalação de um projeto de pesquisa, utilizando a micro-aspersão intermitente, em uma granja comercial, de modo a serem avaliadas as variáveis de conforto ambiental associadas aos diversos indicadores de produtividade zootécnica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ensaio de cimento Portland**. NBR-7215. Rio de Janeiro. 1982. 10 p.

_____. **Argamassas e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. NBR 9778. Rio de Janeiro. 1987. 5 p.

_____. **Cargas para cálculo de estruturas de edificações - Procedimentos**. NB-5. Rio de Janeiro. 1989. 26 p.

ALBRIGHT, L.D. Air flow through baffled, centerceiling, slotted inlets. **Transaction of the ASAE**, 21 (5):944-952, 1978.

_____. **Environmental control for animals and plants**. ASAE. Textbook n. 4, St. Joseph, Michigan. 1990. 453 p.

ALUCCI, M.P.; AKUTSU, M.; CARNEIRO, C.M. Geometria dos ambientes: Um dos fatores determinantes no desempenho térmico das edificações. **Tecnologia das edificações**. IPT/Ded. São Paulo, 23:95-100. 1986.

ALVES, J.D.; **A vermiculita como agregado para concreto**. Editora da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1986. 26 p.

AMERICAN SOCYETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING. Environmental control for animals and plants. *In*: **ASHRAE handbook: Fundamentals**. Atlanta, Ga. 1981. Cap. 9.1-9.18.

_____. Evaporative air-cooling equipment. *In*: **ASHRAE handbook: Equipements**. Atlanta, Ga. 1983. Cap. 4.

APINCO - Associação Brasileira dos Produtores de Pintos de Corte. **Avicultura de corte – Brasil**. 1996. 20 p.

ARBOR ACRES. **Manual de manejo - Pollos de engorde**, Arbor Acres Farm, Inc., Glastonbury, Connecticut. 1996. 36 p.

ARIELI, A.; MELTZER, A.; BERMA, A. The termoneutral temperature zone and seasonal acclimatization in the hen. **Br.Poultry Science.**, 21:471-78, 1980.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE AVICULTURA. O desenvolvimento da avicultura brasileira. *Aves & Ovos*. pp.6-10, maio, 1993.

_____. Quem ganha com o progresso técnico na avicultura? *Aves & Ovos*. pp.4-11, outubro, 1996.

AVICULTURA INDUSTRIAL. *Anuário 96*. dezembro, 1995. 92 p.

BAÊTA, F.C.; MEADOR, N.F.; SHANKLIN, M.D. **Equivalent temperature index at temperature above thermoneutral lactating dairy cows**. St. Joseph, MI: ASAE, 1987. 21 p. Paper nº 87-3552.

BAÊTA, F.C.; PELOSO, E.J.M.; CAMPOS, A.T.; OLIVEIRA, J.L. Efeito do forro nas condições ambientais de galpões com cobertura de barro e de cimento-amianto. *Engenharia na Agricultura*, 1(2):1-12. 1992.

BAÊTA, F.C.; DANTAS, F.F.; CECON, P.R.; PASSOS, E.F. Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com coberturas de telhas cerâmicas e de cimento-amianto. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, Viçosa-MG, 1995. *Anais...*, Jaboticabal-SP, SBEA, 1995. p. 130.

BERALDO, A. L.; NÄÄS, I.A.; FREIRE, W.J. **Materiais para construções rurais**. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro. 1991. 167 p.

BOND, T.E.; KELLY, C.F.; ITTNER, N.R. Radiation studies of painted shade materials. *American Society Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI. 35(6):389-92. 1954.

BOND, T.E.; NEUBAUER, L.W.; GIVENS, L.R. The influence of slope and orientation on effectiveness of livestock shades. *Transaction of the ASAE*, 19 (11):134-36, 1976.

BOTTCHER, R.W.; WILLITS, D.H., BAUGHMAN, G.R. Experimental analyses of wind ventilation of poultry buildings. *Transactions of the ASAE*, 29(2):571-8, 1986.

BRUCE, J.M. Ventilation of a model livestock building by thermal buoyancy. *Transaction of the ASAE*, 25 (?):1724-1726, 1982.

BUFFINGTON, C.S.; COLLAZO-ARROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe humidity comfort index for dairy cows. St. Joseph, MI, *American Society Agricultural Engineers*, 1977. 19p. (Paper 77-4517).

CAMPOS, A.T. **Determinação dos índices de conforto e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpão, em condições de verão para Viçosa-MG**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 1986. 66p. (Tese de Mestrado).

CAMPOS, S.S. **Efeito do nível de energia da dieta e temperatura ambiente sobre a temperatura superficial, carga térmica radiante e temperatura retal de frangos de corte**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal-SP, UNESP, 1995. 128p. (Tese de Mestrado).

- CANTON, G.H.; BUFFINGTON, D.E.; MATHEP, F.B. Evaporative cooling effects on mature male broiler. **Transaction of the ASAE**, 26 (6):1974-7, 1983.
- CELIS, J.E. e JARA, J.C. Aplicacion del analisis dimensional para estimar la ventilación natural en galpones para vacunos. **Agro Ciência**, 6(1):31-36, 1990.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT - CSTB. **Règles de calcul des caracteristiques thermiques utiles des parois de construction - Règles Th77**. CSTB, Paris. 1977.
-
- C.I.G.R. - COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Report of Working Group on Climatization of Animal House**. C.I.G.R. and Scottish Buildings Investigation Unit, Aberdeen. 1984. 72 p.
- C.I.G.R. - COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **2nd Report of Working Group on Climatization of Animal House**. 1989. 117 p.
- C.I.G.R. - COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Aerial environment in animal housing. Concentrations and emissions from farm building**. Working Group Report Series n° 94.1. C.I.G.R. and CEMAGREF, Rennes. 1994. 116 p.
- CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREUX, F.; LOBO, M. C.; EDUARDO, B. P. Resíduos orgânicos da indústria canavieira: 1. Características físicas e químicas. **STAB - Açúcar, álcool e subprodutos**, 6(3):34-7, 1988.
- CLARK, J.A. **Environmental aspects of housing for animal production**. Butterworths, London. 1981. 503 p.
- COSTA, C.E.S.; RODRIGUES, E.H.V.; MURCIA CONTRERAS, G.A. Determinação das características geométricas da radiação solar na área da Universidade Rural do Rio de Janeiro. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1995, Viçosa, **Anais...**, Viçosa-MG: SBEA, 1995. p 115.
- COSTA, M.S. e HUNTON, P. Alimentação e manejo para melhorar o rendimento de poedeiras em regiões tropicais. In: **6º Congresso Latino Americano de Avicultura**, 1979 **Anais...** Lima, 1979. pp. 73-84.
- COWAN, P.J. e MICHIE, W. Environment temperature and broiler performance: use of diets containing increased amounts of protein. **Br. Poultry Science**, 19:601-5, 1978.
- CROISSET, M. **Humedad y temperatura en los edificios**. Editores técnicos asociados S/A. Barcelona, 1976. 245 p.
- CURVELLO, F.A.; TORRES, C.A.A.; FONSECA, J.B.; CARDOSO, R.M. Respostas de frangos de corte ao calor subsequente a experiências adaptativas nas fases embrionária e neonatal. In: **Conferência de Ciência e Tecnologia Avícola**, Santos-SP, 1994. **Anais...**Santos-SP, pp. 117-18. 1994.
- CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames, Iowa State University Press, 1983. 409 p.

- CZARICK, M. Reflective roof coatings. **Poultry International**. Neetherlands, 23(8):26-32, 1989.
- DEATON, J.W.; REECE, F.N.; McNAUGHTON. The effect of temperature during the growing period on broiler performance. **Poultry Science**. Champaign, 57:1070-1074. 1977.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas - Uma introdução**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1966. p. 295-9
- DESHAZER, J.A.; BECK, M.M. Report for Northeast Regional Poultry Project. NE - 127. Agricultural Research Division, University of Nebraska, Lincoln, NE, 1988.
- DYBWAD, I.R.; HELICKSON, M.A.; JOHNSON, C.E.; MOE, D.L. Ridge vent effects on models buildings ventilation characteristics. **Transaction of the ASAE**, 17(2):336-70, 1974.
- EDENS, F.W. e SIEGEL, H.S. Modification of cortiscosterone and glucose responses by sympatholytic agents in young chickens during acute heat exposure. **Poultry Science**, 55:1704-12, 1976.
- ENCARNAÇÃO, R.O. Estresse e produção animal. *In: I Ciclo Internacional de Palestras sobre Bioclimatologia Animal*, 1986, Botucatu-SP, *Anais...*, Jaboticabal-SP: FUNEP, 1989. pp 111-129.
- ERIKSSON, S. **Communication to the Working Group in Climatization of Animal Houses (C.I.G.R.)**, Swedish University of Agricultural Sciences, Upsala, Sweden. 1982.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Avi Publishing Company Inc, Westport, 1982. 325 p.
- ETERNIT. **Conforto térmico**. ETERNIT, São Paulo-SP, 1981. 12 p. (Boletim 110).
- ETERNIT-IPT. **Conforto térmico - Ventilação de áticos horizontais**, boletins 100,110, 133. São Paulo-SP, 1978-1987.
- FABRÍCIO, J.R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frangos de corte. *In: Conferência Apinco 1994 de Ciência e Tecnologia Avícola*. *Anais...* Santos, São Paulo, 1994. pp. 129-136.
- FANGER, P.O. **Thermal comfort - Analyses and applications in environmental engineering**. Danish Technical Press. Copenhagen. 1970. 243 p.
- FEHR, R.L.; PRIDDY, K.T.; McNEILL, S.G. Limiting swine stress with evaporative cooling. **Livestock Environment II**, Ames, Iowa. pp. 577-84, 1982.
- FOREHLICH, D.P.; HELICKSON, M.A.; YOUNG, H.G. Ridge vents effects on model ventilation characteristics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, 18 (4):690-693. 1975.

- FREEMAN, B.M. Effects of adrenaline on the plasma free fatty acid and glucose levels in *Gallus domesticus*. **Comp. Biochem. Physiol.**, 30:993-96, 1969.
- FREEMAN, B.M. The domestic fowl in biomedical research: physiological effects of the environment. **World's Poultry Science Journal**, 44:41-60, 1988.
- FROTA, A.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. 2ª ed., São Paulo, Studio Nobel. 1981. 243 p. 1995.
- GARCIA-VAQUERO, E. **Projeto e construções de alojamento para animais**. 2ª ed., Lisboa, Litexa. 1981. 237 p. 1981.
- GARRET, W.N.; BOND, T.E.; PEREIRA, N. Influence of shade on physiological responses of cattle during hot weather. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 10(4):433-439. 1967.
- GHELFI FILHO, H.; VILLA NOVA, N.A.; OMETTO, D.A.; JANUÁRIO, M. Influência da orientação na carga térmica solar recebida em edificações rurais. In: **XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Anais... São Luís-MA, 1988. pp. 571-577.
- GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J.; CONSIGLIERO, F.R. Índice de conforto térmico e CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1991, Londrina-PR, Anais..., Londrina-PR. SBEA, 1992. p 94-110.
- GONZALES, E.; ADREATTI Fº, R.L.; GARCIA, E.A.; SOUZA, A.P. Incidência de mortalidade devido à síndrome de morte súbita em cinco linhagens comerciais de frangos de corte. In: **Conferência de Ciência e Tecnologia Avícola**, Campinas-SP, 1990. Anais...Campinas-SP, p. 187. 1990.
- HAHN, G.L. **Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados**. FUNEP-FCAVJ, Jaboticabal-SP, 1993. 28 p.
- HAHN, G. L.; BOND, T.E.; KELLY, C.F. Use of models in thermal shades of livestock housing. **Transactions of the ASAE**, 4 (1):45-51, 1961.
- HAHN, G.L. e OSBORNE, D.D. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle based on expected production losses. **Transactions of the ASAE**, 13 (3):289-91 e 294, 1970.
- HAHN, G.L. e McQUIGG, J.D. Evaluation of climatological records for rational planning of livestock shelters. **Agricultural Meteorology**, 7:131. 1970.
- HARDOIM, P.C. **Estudo do lanternim em instalações agrícolas**. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 1989. 69p. (Tese de Mestrado).
- HARDOIM, P.C.; LOPES, S.P. Análise comparativa de cinco tipos de materiais de cobertura em condições de temperatura máxima em Lavras. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1993, Ilhéus, Anais... Ilhéus-BA. SBEA, 1993. p 107-117.

- HASHIGUCHI, M. Resultados de testes de diferentes medidas para amenizar o problema de calor. **Avicultura Industrial**, p.18-20, 1986.
- HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. **Ventilation on agricultural structures**. ASAE, St. Joseph, MI, 1983. 371 p.
- HOLMAN, J.P. **Transferência de calor**. McGraw - Hill do Brasil, São Paulo, 1983. 639 p.
- HOWLIDER, M.A.R.; ROSE, S.P. Temperature and the growth of broilers. **World's Poultry Science Journal**, 43: 228-237. 1987.
- INCROPERA, F.P. e DeWITT, D.P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1985. 639 p.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Anuário de informações estatísticas da agricultura – Anuário IEA 1995. **Série de Informações Estatísticas Agrícolas**. 1 (7):1-142, 1996.
- JOHN, V.M.; AGOPYAN, V.A. Materiais reforçados com fibras vegetais. *In: Simpósio Internacional de Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil*. São Paulo-SP. 1993. EPUSP. São Paulo-SP. p. 29-38. 1993.
- KAMMEL, D.W. Thermal environment of insulated, naturally ventilated dairy barns. *In: International Livestock Environment Symposium ASAE*. Nebraska, 62-75, 1974.
- KELLY, C.F.; BOND, T.E.; ITTNER, N.R. Design of livestock shades. **Califórnia Agriculture**, Berkeley, 1954. pp. 3-4
- KOENISBERGER, O.H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Paraninfo S/A. Madrid, 1977. 278 p.
- KRAUSE, C.M.L.B. **Coberturas conforto higrotérmico, edificações: Ponderações e propostas para clima tropical úmido em situação de verão**. FAU-UFRJ, 1990. 103 p. (Tese de Mestrado).
- LEAL, P.A.M. **Determinação do microclima gerado dentro de uma estrutura a partir de dados ambientais**. Campinas: UNICAMP, 1981. 79 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1981.
- LOPES, S.P.; HARDOIM, P.C. Metodologia de dimensionamento de beirais nas coberturas de instalações para animais. *In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1993, Ilhéus, **Anais...** Ilhéus-BA. SBEA, 1993. p 251-260.
- LOTT, D.B. The effect of feed intake on body temperature and water consumption of male broilers during heat exposure. **Poultry Science**, 70:702-56, 1991.
- MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. FUNEP/UNESP, Jaboticabal-SP, 1994. 296 p.

- MACARI, M.; Equilíbrio hídrico em frangos de corte. *In: Simpósio sobre Inovações na Criação de Frangos de Corte e Matrizes nas Condições Brasileiras*. São Paulo-SP *Anais...* São Paulo-SP, 1996. pp. 1-11.
- MALAVAZZI, G. **Manual de criação de frangos de corte**. Livraria Nobel S/A, São Paulo. 1992. 163 p.
- MATTOS, C.C.L.V.; SILVA, M.A.R.; NOGUEIRA, I.B.; BATISTA, I.M. Caracterização Climática da Área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. *Arquivos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, 2(12):53-63. 1989.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Structure and environment handbook**. Iowa State University, Ames, Iowa. 1980.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Natural ventilating systems for livestock housing**. First ed., Iowa State University, Ames, Iowa. 1989.
- MILLIGAN, J.L. e WINN, P.N. The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers. *Poultry Science*, Ithaca, N.Y., 43(4):817-24, 1964.
- MONTEIRO, M.C.G.B., POZZER, E.A., RIBEIRO, N.H.L. **Manual Cobb de frango de corte**. Departamento Técnico da Cobb do Brasil, São Paulo. 1993. 49 p.
- MONTHEITH, J.L. e UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2ª edition. Edward Arnold, New York. 1990. 291 p.
- MORGAN, W.E. **Heat reflective roof coatings**. ASAE, St. Joseph-MI, 1990. Paper n. 904513.
- MOURA, D.J.P. **Estimativa de um índice de conforto térmico aplicado à produção de suínos utilizando modelos em escala distorcida**. Campinas: UNICAMP, 1994. 58p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1994.
- MOURA, D.J.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O., CONSIGLIERO, F.R. Materiais de construção: desempenho das telhas térmicas nos índices de conforto. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1991, Londrina-PR. *Anais...* Londrina-PR: SBEA, 1992. p. 114-131.
- MURPHY, G.C.E. **Similitude in engineering**. The Ronald Press Company. New York. 1950. 302p.
- NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. Editora Ícone. São Paulo, 1989. 183p.
- NÄÄS, I.A. Fatores não nutricionais que afetam o desempenho de frangos de corte. *In: Conferência Apinco 1992*. *Anais...* Campinas-SP. 1992.
- NÄÄS, I.A. Estresse calórico - Meios artificiais de condicionamento. *In: Simpósio Internacional de Ambiência e Instalação na Avicultura Industrial*. *Anais...* Campinas-SP, 1995. pp. 109-112.

- NÄÄS, I.A.; AMARAL, L.R.S. Programa computacional Pro – Frango – Otimização da produção de frangos – Versão 0.0. Campinas: UNICAMP. Protocolo SEI nº 45133/89-5. 1989.
- NORTH, M.O.; BELL, D.P. **Commercial chicken production manual**. 4ª Ed, Van Nostrand, Reinhold. New York, 1990. 913 p.
- OLGYAY, V. **Design with climate - A bioclimatic approach to architectural regionalism**. 2ª. ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992. 190 p.
- OLIVEIRA, J.L. e ESMAY, M.L. Systems model analysis of hot weather housing for livestock. St. Joseph, MI, **American Society of Agricultural Engineering**, 1981. 17 p. (Paper 81-4564).
- OLIVEIRA, P.A.V.; GUIDONI, A.L.; BARONI JÚNIOR, W.; DALMORA, V.J.; CASTANHA, N. Efeito do tipo de telha sobre o acondicionamento ambiental e o desempenho de frangos de corte. *In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas*, 1995, Curitiba-PR, *Anais...* Curitiba-PR, FACTA, 1995. pp. 297-298.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 1981. 440 p.
- OWER, E. e PANKHURST, R.C. **The measurement of air flow**. Ed. Pergamon Press Ltd. Oxford, 1966.
- PATTIE, D.R. e MILNE, W.R. Ventilation air-flow patterns by use of models. **Transaction of the ASAE**, 9(5):646-9, 1966.
- PEDERSEN, C.B. **Feed consumption and heat production of broiler chickens influenced by housing density and temperature**. Communication to Working Group on Climatization of Animal Houses (C.I.G.R.), Copenhagen, 1977.
- PERDÔMO, C.C. **Avaliação de sistemas de ventilação sobre o condicionamento ambiental e o desempenho de suínos na fase de maternidade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Imprensa Universitária, 1995. 239 p. (Tese de Doutorado).
- REECE, F.N.; LOTT, B.D. 1982. Heat and Moisture Production of Broiler Chickens. **Livestock Environment II**. American Society of Agricultural Engineers. Iowa State University - Ames, Iowa, 330-337. 1982.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima: Acondicionamento térmico natural**. D.C.Luzzatto Editores Ltda, Porto Alegre. 1986. 240 p.
- RODRIGUES, E.H.V. e ARAUJO, R.C.L. Influência da orientação sobre o conforto ambiental em instalações destinadas à criação de frangos de corte. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1995, Viçosa-MG, *Anais...* Viçosa-MG, SBEA, 1995. p. 126.

- RODRIGUES, E.H.V. e ARAUJO, R.C.L. Influência da inclinação e do beiral do telhado sobre o conforto térmico em instalações para de frangos de corte. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1996, Bauru-SP, **Anais...** Bauru-SP, SBEA, 1996. p. 116.
- RODRIGUES, E.H.V.; ARAUJO, R.C.L.; SILVA, I. J. O.; NÄÄS, I.A. Influência da orientação sobre a intensidade de radiação solar em instalações destinadas à criação de frangos de corte. *In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas*, 1995, Curitiba-PR, **Anais...** Curitiba-PR, FACTA, 1995. pp. 269-270.
- RODRIGUES, E.H.V.; SILVA, D.D.; SILVA, J.B.; FIGUEIREDO, J.C.C. Desenvolvimento de uma argamassa para utilização em sistema de resfriamento evaporativo. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1994, Campinas-SP, **Anais...** Campinas-SP, SBEA, 1994. p. 56.
- ROSA, Y.B.C.T. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico, em condições de verão, para Viçosa-MG.** Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 1984. 77p. (Tese de Mestrado).
- RUTZ, F. Aspectos fisiológicos que regulam o conforto térmico de aves. *In: Conferência Apinco 1994 de Ciência e Tecnologia Avícola*. **Anais...** Santos-SP, 1994. pp. 73-84.
- SEVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O, Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v.51, n.1, pp. 1-7, 1994.
- SHEPHERD, D.G. **Elements of fluid mechanics**. The Cornell Press, Ithaca, N.Y., 1965.
- SOROUSHIAN, P.; SHAH, Z.; WON, J.; HSU, J. Durability and moisture sensibility of recycled wastepaper-fiber-cement composites. **Cement and Concret Composites**, 16:115-128, 1994.
- SYKES, A.H. e FATAFTAH, A.R.A. Effect of a change in environment temperature on heat tolerance in laying fowl. **Br. Poultry Science**. 27: 307-16, 1986.
- STANGENHAUS, C.R. **Paredes, conforto higrotérmico, edificações, ponderações e propostas para clima tropical úmido em situação de verão.** UFRJ, 1992. 198p. (Tese de Mestrado).
- STRØM, J.S. **Heat loss from cattle, swine and poultry as basis for design of environmental control systems in livestock building.** Communication to Working Group on Climatization of Animal Houses (C.I.G.R.). Hörsholm, 1978.
- STRØM, J.S. e MORSING, S. Automatically controlled natural ventilation. **Proceedings of Second International Livestock Symposium**. April 20-23. Ames, Iowa, ASAE, St. Joseph, MI. 1982.
- STURKIE, P.D. **Avian physiology**. Springer-Verlag, New York, 3ª ed., 400 p. 1976.

SYDENSTRICKER, K.V. **Análise de lanternim em edificações para suínos, através de modelos em escala.** Universidade Estadual de Campinas, 1993. 69p (Tese de Mestrado).

TASAKI, I. e SAKURAI, H. **Memoir of the laboratory of animal nutrition.** Nagoya University. 1969.

TASAKI, I. e SASA, Y. 1970. **Energy metabolism of farm animals.** Edit. Schurh A. and Wenk, p.197-200.

TCPO 7 - **Tabelas de composição de preços para orçamentos.** 7ª ed. Editora Pini. São Paulo. 1980. 830 p.

TEETER, R.G.; SMITH, M.D.; WIERNUSZ, C.J. Broiler acclimation to heat distress and feed intake. Effects on body temperature in birds exposed to thermoneutral and high ambient temperature. **Poultry Science**, Champaign, 71:1101-104, 1992.

TEETER, R.G. e BELAY, T. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. **Poultry Science**, Champaign, 72:116-124. 1993.

TEZUCA, Y. Concretos especiais. **II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Anais...** Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1989^a, p. 182-94.

Concreto armado com fibras. **Associação Brasileira de Cimento Portland.** São Paulo-SP. 1989^b. 24 p.

THOM, E.C. Cooling degrees - days air conditioning, heating and ventilating. **Transaction of the ASAE**, 55 (7):65-72, 1958.

TIMMONS, M.B. **How does natural ventilation work and why?** St. Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers, 1990. 15 p. (ASAE Paper 90-4551).

TIMMONS, M.B.; ALBRIGHT, L.D.; FURRY, R.B. Similitude aspects of predicting thermal behavior. **Transaction of the ASAE**, (): 957-62. 1978.

TIMMONS, M.B. e BAUGHMAN, G.R. Similitude analyses of ventilation by the stack effect an open ridge livestock structure. **Transaction of the ASAE**, 24(4): 1030-4. 1981.

TOLEDO, E. **Coberturas residenciais: Proteção térmica.** Eternit, São Paulo, 1970. 76 p. (Boletim 59).

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva.** Nobel. São Paulo. 1986. 374 p.

VANDER, A.J.; SHERMAN, J.H.; LUCIANO, D.S. **Human physiology: The mechanism of body function.** 5ª ed. New York, McGraw-Hill. 724 p. 1990.

VAN DER HEL, W.; VERSTEGEN, M.W.A.; HENKEN, A.M.; BRANDSMA, H.A. The upper critical ambient temperature in neonatal chicks. **Poultry Science**. Champaign.

70:1882-1887. 1991.

VIANELLO, R.L. e ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Imprensa Universitária da UFV. Viçosa. 1991. 449 p.

WHITAKER, J.H. **Agricultural building and structure**. Heston Publishing Company, Heston, Virginia, 1979.

WIERSMA, F. e SHORT, T.H. Evaporative cooling. In: **Ventilation of agricultural structures** ASAE. St. Joseph, MI, Chapter 6, p. 103-117, 1983.

WIERSMA, F.; STOTT, F.M; LOUGHT, O. **Consider cooling possibilities: The practical aspects of cooling dairy cattle**. Publication, University of Arizona. 25 p. 1972.

ZOLNIER, S.; BAÊTA, F.C.; COELHO, D.T.; SEDIYAMA, G.C. Potencialidade da utilização do sistema de resfriamento adiabático -evaporativo- na produção de leite. **Engenharia na agricultura**, 2(6):1-13, 1993.

ABSTRACT

Technical poultry production is presently requiring more environmental control on the thermal comfort characteristics because of the use of high potential genetic birds, diets energy high level, and an increase of birds density. The general objective of this research was to develop a system for roof cooling based on the evaporative cooling concept, using intermittent dripping and a water absorbent tile, for poultry production houses. The evaluation of environmental aspects was based on the warm and dry season climatic conditions, using small and distorted scale models simulating the poultry houses. The thermal evaluation was proceeded using the black globe temperature (T_g), the black globe and humidity index (BGHI), and thermal radiation load (TRL). The zootechnical response was based on the weight gain measurements using the software Pro-Frango, for the environmental conditions results. For the insufficient natural ventilation system as well as for the well naturally ventilated one the T_g , BGHI and TRL showed highly statistical significant differences, when comparing the treatments of using the system with the system of roof cooling, and the one that does not uses the cooling system. When comparing both treatments that used cooling roof it can be found that the differences are not as highly significant, even though it can be found statistical significant for some hours of the day. As a general behavior it can be said that, during the mornings the treatment of cooling roof using intermittent dripping and a water absorbent tile showed T_g , BGHI and TRL values that indicates better thermal comfort conditions. This behavior repeats again during the late afternoon. During midday it happened an inversion on the thermal behavior showing that

the treatment using dripping and without tile absorbent covering got the best results. Regarding the economical aspect it can be suggested the use of dripping on fiber cement roof for offering the following benefit: a) the increase on weight gain during the last week of production (42-49 days) varied from 58g/day.bird to a house poorly ventilated, to 28g/day.bird for a well ventilated house; b) for poorly ventilated houses it was verified that the system has economical profit after 4 flocks, while for better naturally ventilated conditions the systems presents economical profit after 8 flocks.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Dados coletados entre 09/04 e 15/04/1997, para o ar externo e para o ambiente interno, para condições de ventilação por termossifão.

I) Tratamento 1.

DIA	HORA	T	UR	T _{gri}	T _{bsl}	T _{bul}	T _{pol}	UR _i	ITGU _i	CTR _i
9-Abr	9:00	22,2	55	23,6	23,3	20,1	17,7	71	71,4	440
9-Abr	10:00	23,8	49	25,0	24,3	20,4	17,6	66	72,8	450
9-Abr	11:00	25,4	48	28,3	27,2	20,8	17,0	53	75,9	472
9-Abr	12:00	28,2	40	30,7	28,9	21,8	17,8	51	78,7	491
9-Abr	13:00	28,1	43	31,9	29,3	21,8	17,6	50	79,8	502
9-Abr	14:00	29,2	35	35,5	30,9	21,9	17,0	43	83,1	534
9-Abr	15:00	29,6	38	35,5	31,6	22,7	18,0	44	83,5	531
9-Abr	16:00	28,0	41	34,5	31,3	22,4	17,6	44	82,3	521
9-Abr	17:00	26,0	43	31,5	28,5	21,3	17,1	50	79,2	501
10-Abr	9:00	21,3	51	23,0	22,3	19,1	16,7	70	70,5	439
10-Abr	10:00	23,2	42	24,3	23,3	19,3	16,5	65	71,7	447
10-Abr	11:00	24,8	39	27,4	25,7	19,7	15,9	55	74,6	470
10-Abr	12:00	27,2	35	29,7	27,7	20,2	15,8	48	76,9	486
10-Abr	13:00	28,1	31	31,9	29,6	20,7	15,6	43	79,0	501
10-Abr	14:00	27,5	31	33,9	29,9	20,6	15,2	41	80,9	521
10-Abr	15:00	30,1	35	35,8	31,6	21,7	16,3	40	83,2	534
10-Abr	16:00	26,3	38	30,7	29,5	21,2	16,6	46	78,2	488
10-Abr	17:00	24,9	43	29,2	28,2	21,2	17,1	51	76,8	477
11-Abr	9:00	20,7	59	22,6	20,7	19,1	17,3	81	70,3	441
11-Abr	10:00	22,8	48	24,1	23,2	19,4	16,6	67	71,6	446
11-Abr	11:00	24,7	43	27,1	25,5	19,6	15,9	56	74,3	467
11-Abr	12:00	26,9	36	29,0	27,2	19,6	15,0	47	75,9	480
11-Abr	13:00	28,0	31	30,5	28,1	19,7	14,6	44	77,2	492
11-Abr	14:00	26,0	34	30,1	28,3	19,5	14,2	42	76,7	487
11-Abr	15:00	25,5	35	29,3	28,2	19,5	14,3	43	75,9	478
11-Abr	16:00	25,6	36	30,2	28,3	19,5	14,2	42	76,9	488
11-Abr	17:00	25,3	39	30,5	28,5	19,7	14,4	42	77,2	490
14-Abr	9:00	22,8	53	24,4	23,5	20,2	17,8	70	72,3	448
14-Abr	10:00	25,8	44	26,5	25,5	20,5	17,2	61	74,2	461
14-Abr	11:00	28,1	37	29,4	28,1	20,8	16,5	49	76,8	480
14-Abr	12:00	30,4	31	30,6	28,6	20,6	16,0	46	77,8	490
14-Abr	13:00	31,0	29	34,1	30,7	20,8	15,2	39	81,1	520
14-Abr	14:00	31,1	29	35,9	31,6	21,5	16,0	39	83,1	535
14-Abr	15:00	31,0	28	37,3	32,5	22,8	17,6	41	85,1	547
14-Abr	16:00	30,3	31	36,6	32,5	22,5	17,2	40	84,3	540
14-Abr	17:00	28,9	35	35,0	31,4	22,2	17,2	43	82,7	527
15-Abr	9:00	24,5	50	25,5	24,5	20,4	17,5	65	73,3	455
15-Abr	10:00	26,1	47	26,9	25,8	20,6	17,3	59	74,6	463
15-Abr	11:00	28,9	43	29,8	28,5	21,5	17,5	51	77,5	482
15-Abr	12:00	29,3	39	31,6	29,8	22,5	18,4	50	79,8	497
15-Abr	13:00	28,9	35	31,8	30,1	22,4	18,2	49	79,8	497
15-Abr	14:00	30,3	34	33,3	31,2	22,6	18,0	45	81,2	508
15-Abr	15:00	28,7	39	32,2	31,3	22,4	17,6	44	80,1	496
15-Abr	16:00	28,2	41	31,6	30,5	22,5	18,1	48	79,6	492
15-Abr	17:00	28,6	42	32,4	30,6	22,7	18,3	48	80,5	501

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;
 T_{gri}, T_{bsl}, T_{bul}, T_{pol}, UR_i, ITGU_i, CTR_i = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

II) Tratamento 2.

DIA	HORA	T	UR	T _{gn2}	T _{bs2}	T _{bu2}	T _{po2}	UR ₂	ITGU ₂	CTR ₂
9-Abr	9:00	22,2	55	24,3	22,5	19,3	16,8	70	71,8	451
9-Abr	10:00	23,8	49	25,2	23,9	19,6	16,6	64	72,6	454
9-Abr	11:00	25,4	48	28,4	26,6	20,6	16,9	55	76,0	476
9-Abr	12:00	28,2	40	31,4	28,9	21,8	17,8	51	79,3	499
9-Abr	13:00	28,1	43	32,0	29,3	22,1	18,0	51	80,0	503
9-Abr	14:00	29,2	35	34,0	30,7	22,6	18,1	47	82,0	519
9-Abr	15:00	29,6	38	34,6	31,6	22,7	17,9	44	82,6	521
9-Abr	16:00	28,0	41	35,1	31,7	22,7	17,9	44	83,0	526
9-Abr	17:00	26,0	43	32,7	29,5	22,2	18,1	50	80,7	509
10-Abr	9:00	21,3	51	23,3	22,3	18,3	15,5	66	70,4	442
10-Abr	10:00	23,2	42	24,6	22,9	18,5	15,5	63	71,7	452
10-Abr	11:00	24,8	39	28,4	25,7	18,9	14,6	50	75,1	480
10-Abr	12:00	27,2	35	30,5	27,6	19,8	15,1	47	77,5	494
10-Abr	13:00	28,1	31	32,5	29,7	20,6	15,4	42	79,6	507
10-Abr	14:00	27,5	31	32,5	30,0	20,4	15,0	40	79,4	506
10-Abr	15:00	30,1	35	34,5	31,1	21,5	16,2	41	81,9	523
10-Abr	16:00	26,3	38	30,3	29,4	21,2	16,5	46	77,7	483
10-Abr	17:00	24,9	43	29,1	28,2	21,2	17,1	51	76,8	476
11-Abr	9:00	20,7	59	22,6	21,5	18,4	16,0	71	69,9	438
11-Abr	10:00	22,8	48	24,4	23,1	18,6	15,5	62	71,4	449
11-Abr	11:00	24,7	43	27,3	25,3	18,9	14,8	52	74,2	470
11-Abr	12:00	26,9	36	29,5	27,4	19,6	14,9	47	76,4	484
11-Abr	13:00	28,0	31	30,5	28,9	19,8	14,5	41	77,2	488
11-Abr	14:00	26,0	34	30,3	28,3	20,2	15,4	46	77,4	489
11-Abr	15:00	25,5	35	30,1	28,2	19,5	14,2	43	76,7	487
11-Abr	16:00	25,6	36	30,8	28,3	19,5	14,2	42	77,4	494
11-Abr	17:00	25,3	39	30,8	28,7	19,8	14,6	42	77,5	492
14-Abr	9:00	22,8	53	24,6	23,4	19,4	16,6	65	72,0	450
14-Abr	10:00	25,8	44	26,8	25,1	19,7	16,2	58	74,1	465
14-Abr	11:00	28,1	37	30,1	28,1	20,8	16,4	49	77,5	488
14-Abr	12:00	30,4	31	31,4	29,5	20,6	15,5	43	78,5	496
14-Abr	13:00	31,0	29	34,0	31,2	21,4	16,1	40	81,2	516
14-Abr	14:00	31,1	29	35,5	31,7	21,5	15,9	39	82,7	530
14-Abr	15:00	31,0	28	35,3	32,6	22,2	16,7	39	82,8	525
14-Abr	16:00	30,3	31	36,8	33,1	22,6	17,1	38	84,5	539
14-Abr	17:00	28,9	35	35,4	32,6	22,2	16,7	39	82,9	526
15-Abr	9:00	24,5	50	26,5	25,3	20,4	17,3	61	74,2	461
15-Abr	10:00	26,1	47	27,4	25,8	20,6	17,3	59	75,1	469
15-Abr	11:00	28,9	43	30,4	28,2	21,5	17,6	53	78,2	490
15-Abr	12:00	29,3	39	32,5	29,8	22,4	18,3	50	80,6	506
15-Abr	13:00	28,9	35	32,7	30,1	22,4	18,1	49	80,7	507
15-Abr	14:00	30,3	34	33,6	31,2	22,6	18,0	45	81,6	512
15-Abr	15:00	28,7	39	32,7	31,1	22,3	17,6	45	80,5	503
15-Abr	16:00	28,2	41	32,4	30,5	22,5	18,1	48	80,4	502
15-Abr	17:00	28,6	42	33,3	30,7	22,8	18,5	48	81,5	511

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;
 T_{gn2}, T_{bs2}, T_{bu2}, T_{po2}, UR₂, ITGU₂, CTR₂ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

III) Tratamento 3.

DIA	HORA	T	UR	T _{gn3}	T _{bs3}	T _{bu3}	T _{po3}	UR ₃	ITGU ₃	CTR ₃
9-Abr	9:00	22,2	55	24,6	23,5	19,1	16,0	63	71,8	449
9-Abr	10:00	23,8	49	26,8	25,3	19,4	15,7	55	73,9	464
9-Abr	11:00	25,4	48	30,4	28,5	19,9	14,7	43	77,2	489
9-Abr	12:00	28,2	40	33,8	30,8	21,5	16,4	42	81,2	516
9-Abr	13:00	28,1	43	34,9	31,9	21,6	16,0	38	82,2	523
9-Abr	14:00	29,2	35	38,0	34,2	21,8	15,2	32	85,0	548
9-Abr	15:00	29,6	38	39,4	34,5	21,8	15,0	31	86,3	563
9-Abr	16:00	28,0	41	38,4	33,5	21,6	15,2	33	85,3	555
9-Abr	17:00	26,0	43	34,5	31,3	21,2	15,6	39	81,6	521
10-Abr	9:00	21,3	51	24,3	22,5	17,6	14,2	60	70,9	451
10-Abr	10:00	23,2	42	26,3	24,5	17,6	13,0	49	72,5	463
10-Abr	11:00	24,8	39	30,0	27,7	18,7	13,1	41	76,2	488
10-Abr	12:00	27,2	35	33,0	30,3	19,6	13,3	36	79,3	509
10-Abr	13:00	28,1	31	35,8	31,9	19,8	12,8	31	81,9	533
10-Abr	14:00	27,5	31	37,0	32,9	20,5	13,4	31	83,3	542
10-Abr	15:00	30,1	35	40,5	35,3	21,3	13,7	28	86,9	571
10-Abr	16:00	26,3	38	34,6	32,1	20,6	14,1	34	81,1	519
10-Abr	17:00	24,9	43	32,7	30,7	20,3	14,3	37	79,3	504
11-Abr	9:00	20,7	59	23,6	22,4	18,1	15,1	63	70,5	444
11-Abr	10:00	22,8	48	26,1	24,3	18,4	14,5	55	72,8	462
11-Abr	11:00	24,7	43	29,5	27,1	18,7	13,5	43	75,9	486
11-Abr	12:00	26,9	36	32,4	29,5	19,1	12,9	36	78,6	506
11-Abr	13:00	28,0	31	34,0	31,1	19,7	12,9	33	80,2	517
11-Abr	14:00	26,0	34	33,4	31,2	19,4	12,3	32	79,3	509
11-Abr	15:00	25,5	35	32,7	30,6	19,3	12,5	33	78,7	505
11-Abr	16:00	25,6	36	33,6	30,4	19,3	12,7	34	79,6	515
11-Abr	17:00	25,3	39	33,4	30,6	19,4	12,9	34	79,6	513
14-Abr	9:00	22,8	53	25,5	24,4	19,3	15,9	59	72,7	456
14-Abr	10:00	25,8	44	28,5	26,7	19,6	15,2	49	75,5	477
14-Abr	11:00	28,1	37	32,3	30,1	20,6	15,2	41	79,3	503
14-Abr	12:00	30,4	31	34,3	31,5	20,4	14,2	35	80,9	518
14-Abr	13:00	31,0	29	36,9	33,4	20,6	13,4	30	83,2	539
14-Abr	14:00	31,1	29	39,6	34,7	20,8	13,0	27	85,8	564
14-Abr	15:00	31,0	28	41,3	35,7	21,5	13,9	27	87,8	579
14-Abr	16:00	30,3	31	41,4	35,7	21,6	14,1	28	88,0	580
14-Abr	17:00	28,9	35	38,8	35,1	21,4	14,0	28	85,3	552
15-Abr	9:00	24,5	50	27,5	26,3	20,2	16,5	55	75,0	468
15-Abr	10:00	26,1	47	29,4	27,8	20,5	16,2	49	76,8	482
15-Abr	11:00	28,9	43	32,8	30,8	21,1	15,7	40	80,0	505
15-Abr	12:00	29,3	39	35,4	32,6	22,3	16,8	39	83,0	526
15-Abr	13:00	28,9	35	35,6	32,8	21,9	16,0	37	82,9	527
15-Abr	14:00	30,3	34	37,3	34,2	21,8	15,1	32	84,3	540
15-Abr	15:00	28,7	39	36,1	33,9	21,5	14,8	32	82,9	527
15-Abr	16:00	28,2	41	35,3	32,6	21,6	15,6	36	82,4	524
15-Abr	17:00	28,6	42	35,7	32,7	21,7	15,8	36	82,8	528

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{gn3}, T_{bs3}, T_{bu3}, T_{po3}, UR₃, ITGU₃, CTR₃ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

IV) Tratamento 4.

DIA	HORA	T	UR	T _{gnt4}	T _{bs4}	T _{bu4}	T _{pot4}	UR ₄	ITGU ₄	CTR ₄
9-Abr	9:00	22,2	55	24,6	23,5	19,1	16,0	63	71,8	449
9-Abr	10:00	23,8	49	26,8	25,3	19,4	15,7	55	73,9	464
9-Abr	11:00	25,4	48	30,4	28,5	19,9	14,7	43	77,2	489
9-Abr	12:00	28,2	40	33,8	30,8	21,5	16,4	42	81,2	516
9-Abr	13:00	28,1	43	34,9	31,9	21,6	16,0	38	82,2	523
9-Abr	14:00	29,2	35	38,0	34,2	21,8	15,2	32	85,0	548
9-Abr	15:00	29,6	38	39,4	34,5	21,8	15,0	31	86,3	563
9-Abr	16:00	28,0	41	38,4	33,5	21,6	15,2	33	85,3	555
9-Abr	17:00	26,0	43	34,5	31,3	21,2	15,6	39	81,6	521
10-Abr	9:00	21,3	51	24,3	22,5	17,6	14,2	60	70,9	451
10-Abr	10:00	23,2	42	26,3	24,5	17,6	13,0	49	72,5	463
10-Abr	11:00	24,8	39	30,0	27,7	18,7	13,1	41	76,2	488
10-Abr	12:00	27,2	35	33,0	30,3	19,6	13,3	36	79,3	509
10-Abr	13:00	28,1	31	35,8	31,9	19,8	12,8	31	81,9	533
10-Abr	14:00	27,5	31	37,0	32,9	20,5	13,4	31	83,3	542
10-Abr	15:00	30,1	35	40,5	35,3	21,3	13,7	28	86,9	571
10-Abr	16:00	26,3	38	34,6	32,1	20,6	14,1	34	81,1	519
10-Abr	17:00	24,9	43	32,7	30,7	20,3	14,3	37	79,3	504
11-Abr	9:00	20,7	59	23,6	22,4	18,1	15,1	63	70,5	444
11-Abr	10:00	22,8	48	26,1	24,3	18,4	14,5	55	72,8	462
11-Abr	11:00	24,7	43	29,5	27,1	18,7	13,5	43	75,9	486
11-Abr	12:00	26,9	36	32,4	29,5	19,1	12,9	36	78,6	506
11-Abr	13:00	28,0	31	34,0	31,1	19,7	12,9	33	80,2	517
11-Abr	14:00	26,0	34	33,4	31,2	19,4	12,3	32	79,3	509
11-Abr	15:00	25,5	35	32,7	30,6	19,3	12,5	33	78,7	505
11-Abr	16:00	25,6	36	33,6	30,4	19,3	12,7	34	79,6	515
11-Abr	17:00	25,3	39	33,4	30,6	19,4	12,9	34	79,6	513
14-Abr	9:00	22,8	53	25,5	24,4	19,3	15,9	59	72,7	456
14-Abr	10:00	25,8	44	28,5	26,7	19,6	15,2	49	75,5	477
14-Abr	11:00	28,1	37	32,3	30,1	20,6	15,2	41	79,3	503
14-Abr	12:00	30,4	31	34,3	31,5	20,4	14,2	35	80,9	518
14-Abr	13:00	31,0	29	36,9	33,4	20,6	13,4	30	83,2	539
14-Abr	14:00	31,1	29	39,6	34,7	20,8	13,0	27	85,8	564
14-Abr	15:00	31,0	28	41,3	35,7	21,5	13,9	27	87,8	579
14-Abr	16:00	30,3	31	41,4	35,7	21,6	14,1	28	88,0	580
14-Abr	17:00	28,9	35	38,8	35,1	21,4	14,0	28	85,3	552
15-Abr	9:00	24,5	50	27,5	26,3	20,2	16,5	55	75,0	468
15-Abr	10:00	26,1	47	29,4	27,8	20,5	16,2	49	76,8	482
15-Abr	11:00	28,9	43	32,8	30,8	21,1	15,7	40	80,0	505
15-Abr	12:00	29,3	39	35,4	32,6	22,3	16,8	39	83,0	526
15-Abr	13:00	28,9	35	35,6	32,8	21,9	16,0	37	82,9	527
15-Abr	14:00	30,3	34	37,3	34,2	21,8	15,1	32	84,3	540
15-Abr	15:00	28,7	39	36,1	33,9	21,5	14,8	32	82,9	527
15-Abr	16:00	28,2	41	35,3	32,6	21,6	15,6	36	82,4	524
15-Abr	17:00	28,6	42	35,7	32,7	21,7	15,8	36	82,8	528

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{gnt4}, T_{bs4}, T_{bu4}, T_{pot4}, UR₄, ITGU₄, CTR₄ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

Apêndice 2 – Dados coletados entre 16/04 e 25/04/1997, para o ar externo e para o ambiente interno, para condições de ventilação natural de vento + termossifão.

I) Tratamento 1.

DIA	HORA	T	UR	T _{gnl}	T _{bul}	T _{bul}	T _{poi}	UR _i	ITGU _i	CTR _i
16-Abr	9:00	25,0	65	22,5	22,2	19,4	17,1	73	70,2	434
16-Abr	10:00	25,5	64	24,3	23,1	19,7	17,2	69	72,0	449
16-Abr	11:00	30,2	46	27,1	25,8	20,8	17,5	60	74,9	467
16-Abr	12:00	32,2	40	29,3	27,3	21,7	18,2	58	77,4	485
16-Abr	13:00	32,0	37	30,5	28,3	21,6	17,8	53	78,4	493
16-Abr	14:00	35,1	33	33,9	29,0	21,8	17,6	51	81,7	530
16-Abr	15:00	31,1	39	30,3	28,3	21,4	17,4	52	78,1	491
16-Abr	16:00	29,1	45	29,0	27,9	21,4	17,5	54	76,9	478
16-Abr	17:00	25,3	56	26,1	25,0	20,7	17,8	64	74,0	460
22-Abr	9:00	25,3	63	22,4	22,1	20,7	19,0	83	70,8	434
22-Abr	10:00	28,5	54	23,5	22,7	20,2	18,1	75	71,5	443
22-Abr	11:00	28,7	49	25,8	23,8	20,4	17,9	70	73,8	463
22-Abr	12:00	29,0	47	27,6	25,0	20,5	17,4	63	75,4	478
22-Abr	13:00	29,6	43	31,1	26,5	20,6	16,9	56	78,7	510
22-Abr	14:00	32,4	38	32,6	27,8	20,8	16,6	51	80,1	521
22-Abr	15:00	31,3	38	29,5	26,8	20,4	16,6	54	76,9	490
22-Abr	16:00	31,5	38	29,8	27,5	20,4	16,2	50	77,1	490
22-Abr	17:00	26,7	49	27,2	25,3	20,2	16,8	60	74,7	471
23-Abr	9:00	25,2	67	22,5	22,1	19,3	17,0	73	70,1	434
23-Abr	10:00	28,4	53	23,6	22,8	19,6	17,1	70	71,2	443
23-Abr	11:00	29,1	49	26,4	24,9	20,3	17,2	62	74,0	464
23-Abr	12:00	30,2	46	28,5	26,1	20,8	17,4	59	76,3	482
23-Abr	13:00	29,6	47	29,6	26,4	20,5	16,9	56	77,2	493
23-Abr	14:00	35,4	39	32,6	28,2	21,2	17,1	51	80,3	519
23-Abr	15:00	30,6	42	28,7	27,3	21,3	17,7	56	76,6	478
23-Abr	16:00	33,2	39	30,8	27,7	21,4	17,6	54	78,6	500
23-Abr	17:00	27,1	52	27,6	25,2	20,7	17,7	63	75,5	476
24-Abr	9:00	23,3	72	21,5	20,5	19,3	17,8	85	69,4	432
24-Abr	10:00	26,3	61	22,5	21,3	19,5	17,7	80	70,4	439
24-Abr	11:00	26,8	57	24,6	22,7	19,6	17,2	71	72,3	455
24-Abr	12:00	28,0	54	26,4	24,0	19,9	17,0	65	74,0	469
24-Abr	13:00	29,8	47	31,4	26,4	20,8	17,3	58	79,1	514
24-Abr	14:00	30,5	44	30,3	26,5	20,6	16,9	56	77,9	501
24-Abr	15:00	32,3	38	31,1	27,5	20,7	16,6	52	78,6	505
24-Abr	16:00	30,8	37	29,8	26,8	20,4	16,5	53	77,2	493
24-Abr	17:00	27,5	46	27,7	25,7	20,2	16,6	57	75,2	475
25-Abr	9:00	23,2	66	21,3	21,3	18,5	16,2	73	68,7	426
25-Abr	10:00	27,0	55	23,1	21,9	18,7	16,3	70	69,3	443
25-Abr	11:00	28,5	49	25,8	24,4	19,9	16,8	62	73,3	459
25-Abr	12:00	29,8	41	28,4	26,0	19,8	15,9	54	75,6	481
25-Abr	13:00	32,6	38	31,3	26,9	19,9	15,7	50	78,5	511
25-Abr	14:00	32,6	37	32,2	28,2	20,4	15,7	47	79,4	514
25-Abr	15:00	32,5	37	30,5	28,4	20,6	16,0	47	77,7	492
25-Abr	16:00	32,5	37	30,1	27,6	20,5	16,3	50	77,5	493
25-Abr	17:00	32,5	37	28,3	27,1	20,2	16,0	51	75,6	474

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;
T_{gnl}, T_{bul}, T_{bul}, T_{poi}, UR_i, ITGU_i, CTR_i = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

II) Tratamento 2.

DIA	HORA	T	UR	T _{gn2}	T _{bs2}	T _{bu2}	T _{po2}	UR ₂	ITGU ₂	CTR ₂
16-Abr	9:00	25,0	65	22,7	22,3	19,3	17,0	72	70,3	435
16-Abr	10:00	25,5	64	24,5	23,5	19,7	17,0	67	72,1	450
16-Abr	11:00	30,2	46	27,4	26,1	20,7	17,3	59	75,1	469
16-Abr	12:00	32,2	40	29,9	27,8	21,0	17,0	52	77,5	488
16-Abr	13:00	32,0	37	30,5	28,8	21,6	17,4	51	78,2	490
16-Abr	14:00	35,1	33	33,7	29,8	21,7	17,1	47	81,3	522
16-Abr	15:00	31,1	39	30,3	28,5	21,4	17,3	51	78,1	490
16-Abr	16:00	29,1	45	29,1	28,2	21,3	17,3	52	76,9	478
16-Abr	17:00	25,3	56	26,3	25,5	20,2	16,8	59	73,8	460
22-Abr	9:00	25,3	63	23,2	22,2	21,1	19,6	85	71,7	442
22-Abr	10:00	28,5	54	23,9	22,8	20,3	18,1	75	72,0	447
22-Abr	11:00	28,7	49	26,5	24,6	20,4	17,4	64	74,3	466
22-Abr	12:00	29,0	47	27,6	25,1	20,4	17,3	62	75,4	477
22-Abr	13:00	29,6	43	30,6	27,3	20,4	16,3	51	77,9	499
22-Abr	14:00	32,4	38	32,4	27,9	20,6	16,3	50	79,8	518
22-Abr	15:00	31,3	38	29,4	27,4	20,3	16,1	50	76,7	485
22-Abr	16:00	31,5	38	30,3	28,4	20,4	15,6	46	77,4	490
22-Abr	17:00	26,7	49	27,8	25,8	20,1	16,5	57	75,2	475
23-Abr	9:00	25,2	67	23,3	22,3	19,3	17,0	72	70,9	442
23-Abr	10:00	28,4	53	24,1	22,9	19,5	17,0	69	71,7	448
23-Abr	11:00	29,1	49	26,8	25,1	19,9	16,5	59	74,2	467
23-Abr	12:00	30,2	46	28,9	26,4	20,7	17,2	57	76,6	485
23-Abr	13:00	29,6	47	29,7	27,2	20,5	16,4	52	77,1	489
23-Abr	14:00	35,4	39	32,8	28,3	20,8	16,5	49	80,2	520
23-Abr	15:00	30,6	42	29,2	27,4	20,5	16,3	51	76,6	482
23-Abr	16:00	33,2	39	31,0	28,3	20,6	16,0	47	78,2	498
23-Abr	17:00	27,1	52	28,6	26,2	20,8	17,4	58	76,3	482
24-Abr	9:00	23,3	72	22,2	21,2	19,2	17,3	79	69,9	436
24-Abr	10:00	26,3	61	22,8	21,8	19,5	17,4	76	70,6	440
24-Abr	11:00	26,8	57	24,8	22,8	19,5	17,0	70	72,4	457
24-Abr	12:00	28,0	54	26,9	24,4	19,8	16,7	63	74,4	472
24-Abr	13:00	29,8	47	31,0	27,0	20,7	16,9	54	78,5	506
24-Abr	14:00	30,5	44	30,7	27,3	20,4	16,2	51	78,1	502
24-Abr	15:00	32,3	38	29,9	28,3	20,5	16,0	47	77,2	486
24-Abr	16:00	30,8	37	29,9	27,8	20,3	15,8	48	77,1	489
24-Abr	17:00	27,5	46	28,4	26,5	19,4	14,9	49	75,3	478
25-Abr	9:00	23,2	66	21,6	21,3	18,3	16,0	72	68,8	429
25-Abr	10:00	27,0	55	23,3	22,1	18,7	16,1	69	70,6	444
25-Abr	11:00	28,5	49	26,5	24,5	19,8	16,6	62	73,9	467
25-Abr	12:00	29,8	41	28,5	26,3	19,7	15,6	52	75,7	481
25-Abr	13:00	32,6	38	31,3	27,8	19,8	15,1	46	78,2	506
25-Abr	14:00	32,6	37	32,6	28,5	19,8	14,6	43	79,3	517
25-Abr	15:00	32,5	37	30,4	28,5	19,8	14,6	43	77,1	491
25-Abr	16:00	32,5	37	30,5	28,6	19,7	14,4	42	77,2	492
25-Abr	17:00	32,5	37	29,0	27,4	19,4	14,6	46	75,7	480

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{gn2}, T_{bs2}, T_{bu2}, T_{po2}, UR₂, ITGU₂, CTR₂ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

III) Tratamento 3.

DIA	HORA	T	UR	T _{gn3}	T _{bs3}	T _{bu3}	T _{po3}	UR ₃	ITGU ₃	CTR ₃
16-Abr	9:00	25,0	65	23,5	22,6	19,1	16,5	69	71,0	444
16-Abr	10:00	25,5	64	25,7	24,5	19,6	16,4	61	73,1	458
16-Abr	11:00	30,2	46	29,1	27,1	19,9	15,5	49	76,2	483
16-Abr	12:00	32,2	40	31,7	29,2	20,8	16,1	45	79,0	503
16-Abr	13:00	32,0	37	32,2	29,9	21,5	16,8	45	79,8	505
16-Abr	14:00	35,1	33	36,6	31,7	21,6	16,1	39	83,9	548
16-Abr	15:00	31,1	39	32,3	30,0	21,3	16,4	44	79,7	505
16-Abr	16:00	29,1	45	30,9	29,2	21,2	16,7	47	78,4	493
16-Abr	17:00	25,3	56	27,6	26,4	20,1	16,1	53	74,9	470
22-Abr	9:00	25,3	63	23,4	21,3	18,7	16,5	74	70,8	449
22-Abr	10:00	28,5	54	24,5	22,8	18,7	15,8	65	71,7	454
22-Abr	11:00	28,7	49	27,5	24,8	19,3	15,7	57	74,6	477
22-Abr	12:00	29,0	47	28,6	26,0	19,6	15,5	53	75,7	483
22-Abr	13:00	29,6	43	32,1	27,6	19,6	14,8	46	78,9	516
22-Abr	14:00	32,4	38	34,6	28,9	19,8	14,4	41	81,3	539
22-Abr	15:00	31,3	38	30,9	27,9	19,6	14,6	44	77,7	500
22-Abr	16:00	31,5	38	31,7	29,2	19,5	13,7	39	78,1	503
22-Abr	17:00	26,7	49	28,2	26,3	19,2	14,9	50	75,1	478
23-Abr	9:00	25,2	67	23,5	22,5	19,1	16,5	69	70,9	443
23-Abr	10:00	28,4	53	24,9	23,5	19,4	16,5	65	72,4	455
23-Abr	11:00	29,1	49	28,1	26,1	19,8	15,9	54	75,3	477
23-Abr	12:00	30,2	46	30,3	27,7	20,2	15,7	48	77,4	494
23-Abr	13:00	29,6	47	31,2	28,2	20,4	15,8	47	78,4	503
23-Abr	14:00	35,4	39	35,2	29,7	20,7	15,6	43	82,3	542
23-Abr	15:00	30,6	42	30,5	28,4	20,4	15,7	46	77,6	492
23-Abr	16:00	33,2	39	33,0	28,8	20,4	15,5	45	80,1	520
23-Abr	17:00	27,1	52	29,5	26,4	20,2	16,3	54	76,9	492
24-Abr	9:00	23,3	72	22,5	21,4	18,5	16,1	72	69,7	438
24-Abr	10:00	26,3	61	23,6	22,3	18,6	15,9	67	70,8	446
24-Abr	11:00	26,8	57	25,8	23,8	18,8	15,4	59	72,8	463
24-Abr	12:00	28,0	54	27,4	25,3	19,1	15,1	54	74,4	474
24-Abr	13:00	29,8	47	32,5	27,8	20,6	16,3	50	79,9	520
24-Abr	14:00	30,5	44	32,2	27,8	20,3	15,8	48	79,4	516
24-Abr	15:00	32,3	38	33,6	29,4	20,5	15,3	42	80,6	523
24-Abr	16:00	30,8	37	31,8	28,5	20,2	15,3	45	78,8	507
24-Abr	17:00	27,5	46	29,4	26,8	19,3	14,7	48	76,2	489
25-Abr	9:00	23,2	66	22,5	22,2	18,2	15,3	65	69,5	434
25-Abr	10:00	27,0	55	24,3	22,9	18,6	15,5	63	71,4	451
25-Abr	11:00	28,5	49	27,6	25,5	19,0	14,8	52	74,4	474
25-Abr	12:00	29,8	41	30,1	27,8	19,7	14,8	45	76,9	491
25-Abr	13:00	32,6	38	33,2	28,9	19,7	14,3	41	79,9	523
25-Abr	14:00	32,6	37	34,8	29,9	19,7	13,6	37	81,2	536
25-Abr	15:00	32,5	37	32,5	30,0	19,7	13,6	37	78,9	508
25-Abr	16:00	32,5	37	32,2	29,5	19,6	13,8	38	78,6	506
25-Abr	17:00	32,5	37	30,1	28,3	19,4	14,0	42	76,6	488

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{gn3}, T_{bs3}, T_{bu3}, T_{po3}, UR₃, ITGU₃, CTR₃ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

IV) Tratamento 4.

DIA	HORA	T	UR	T _{gn4}	T _{bs4}	T _{bu4}	T _{po4}	UR ₄	ITGU ₄	CTR ₄
16-Abr	9:00	25,0	65	24,6	23,3	22,4	19,3	17	70,7	297
16-Abr	10:00	25,5	64	27,6	25,3	24,5	19,7	17	61,6	299
16-Abr	11:00	30,2	46	30,3	28,7	27,1	20,7	17	53,8	303
16-Abr	12:00	32,2	40	33,4	31,2	29,1	21,8	18	49,9	306
16-Abr	13:00	32,0	37	31,8	32,1	30,3	21,7	17	45,1	307
16-Abr	14:00	35,1	33	35,2	35,5	31,7	21,8	16	40,2	312
16-Abr	15:00	31,1	39	31,5	31,3	30,0	21,4	17	44,7	306
16-Abr	16:00	29,1	45	29,5	30,3	29,0	21,4	17	48,5	304
16-Abr	17:00	25,3	56	25,4	27,1	25,8	20,2	16	57,3	301
22-Abr	9:00	25,3	63	24,0	23,2	22,3	20,0	18	76,9	297
22-Abr	10:00	28,5	54	26,6	24,1	22,9	19,6	17	70,0	298
22-Abr	11:00	28,7	49	29,6	26,8	24,8	19,7	16	59,5	302
22-Abr	12:00	29,0	47	29,8	28,5	25,9	19,7	16	53,8	304
22-Abr	13:00	29,6	43	33,3	31,1	27,5	20,5	16	50,7	307
22-Abr	14:00	32,4	38	33,5	33,4	28,9	20,7	16	46,1	310
22-Abr	15:00	31,3	38	30,9	29,6	27,8	20,5	16	49,1	304
22-Abr	16:00	31,5	38	30,6	31,6	29,5	20,5	15	42,4	306
22-Abr	17:00	26,7	49	27,3	28,0	26,3	20,0	16	53,3	303
23-Abr	9:00	25,2	67	23,7	23,3	22,3	19,2	17	70,9	297
23-Abr	10:00	28,4	53	25,7	24,6	23,5	19,6	17	66,2	299
23-Abr	11:00	29,1	49	27,7	27,9	25,9	20,0	16	55,3	303
23-Abr	12:00	30,2	46	29,7	30,1	27,5	20,8	17	51,9	305
23-Abr	13:00	29,6	47	31,3	30,6	27,7	20,5	16	49,9	306
23-Abr	14:00	35,4	39	32,6	33,8	29,5	21,2	17	45,7	310
23-Abr	15:00	30,6	42	30,4	29,7	28,3	21,2	17	50,7	304
23-Abr	16:00	33,2	39	31,7	32,2	29,4	21,4	17	47,0	307
23-Abr	17:00	27,1	52	27,8	29,3	26,7	20,8	17	55,9	305
24-Abr	9:00	23,3	72	22,4	21,5	21,2	19,1	17	77,5	295
24-Abr	10:00	26,3	61	24,5	23,3	21,9	19,5	17	75,2	298
24-Abr	11:00	26,8	57	28,2	24,9	23,7	19,5	17	64,9	299
24-Abr	12:00	28,0	54	30,2	27,1	24,9	19,8	16	59,4	302
24-Abr	13:00	29,8	47	32,7	31,7	27,8	20,8	17	50,8	308
24-Abr	14:00	30,5	44	32,4	31,6	27,5	20,4	16	50,2	308
24-Abr	15:00	32,3	38	32,6	30,9	29,1	20,7	16	44,8	306
24-Abr	16:00	30,8	37	30,6	30,9	28,7	20,4	16	44,8	306
24-Abr	17:00	27,5	46	28,2	28,5	26,6	20,1	16	53,1	303
25-Abr	9:00	23,2	66	22,8	22,3	21,4	18,3	16	70,9	296
25-Abr	10:00	27,0	55	24,9	23,7	22,5	18,7	16	66,1	298
25-Abr	11:00	28,5	49	28,5	27,2	25,5	19,8	16	56,5	302
25-Abr	12:00	29,8	41	30,7	29,5	27,3	19,8	15	48,0	304
25-Abr	13:00	32,6	38	32,3	32,0	28,8	19,9	15	42,3	308
25-Abr	14:00	32,6	37	32,6	33,6	29,8	19,9	14	38,3	310
25-Abr	15:00	32,5	37	31,0	31,4	29,9	20,6	15	41,2	306
25-Abr	16:00	32,5	37	30,0	32,1	30,1	20,6	15	40,5	307
25-Abr	17:00	32,5	37	28,5	29,9	28,3	20,3	16	45,9	304

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{gn4}, T_{bs4}, T_{bu4}, T_{po4}, UR₄, ITGU₄, CTR₄ = temperatura de globo negro, de bulbo seco, e de ponto de orvalho, umidade relativa, índice de temperatura de globo negro e umidade e carga térmica radiante no interior da instalação, referente a média de 5 valores.

Apêndice 3 – Dados coletados entre 01/05 e 03/05/1997, para o ar externo e para a superfície superior e inferior das telhas.

DIA	HORA	T	UR	T _{B1}	T _{C1}	T _{B2}	T _{C2}	T _{B3}	T _{C3}	T _{B4}	T _{C4}
1-Mai	10:00	28,6	45	27,6	28,3	28,1	29,0	30,1	35,1	31,1	34,5
1-Mai	11:00	29,8	41	28,2	28,5	29,1	29,4	32,6	36,5	34,3	36,5
1-Mai	12:00	31,0	34	29,1	28,9	29,5	29,1	34,6	37,5	35,9	37,9
1-Mai	13:00	32,7	33	29,0	26,7	28,8	28,3	34,9	35,3	35,0	35,7
1-Mai	14:00	35,4	28	29,1	28,7	30,2	29,6	35,5	38,4	37,3	39,1
1-Mai	15:00	34,2	28	27,6	25,5	27,4	25,7	33,2	34,1	33,2	34,4
1-Mai	16:00	33,0	29	27,0	24,9	26,4	24,7	32,7	32,7	32,7	32,9
2-Mai	10:00	28,7	48	28,4	28,5	28,8	29,2	30,7	34,7	31,7	33,1
2-Mai	11:00	29,3	47	28,3	27,5	28,6	28,6	31,3	34,2	32,4	33,7
2-Mai	12:00	31,0	40	30,4	29,5	30,8	29,8	35,5	37,3	36,9	37,4
2-Mai	13:00	34,5	35	31,5	29,4	32,7	31,4	39,6	39,9	40,1	40,3
2-Mai	14:00	35,0	31	31,9	30,6	33,2	31,8	38,9	39,9	39,9	40,8
2-Mai	15:00	32,2	30	29,9	26,4	28,7	24,8	35,7	32,3	34,4	32,5
2-Mai	16:00	34,0	30	29,9	28,2	30,3	28,0	36,1	37,2	36,2	36,4
3-Mai	10:00	29,6	46	30,4	30,5	29,8	31,2	33,3	36,4	33,9	36,5
3-Mai	11:00	30,5	41	31,0	29,6	30,6	30,2	36,5	37,7	36,8	38,4
3-Mai	12:00	32,6	36	32,2	30,8	32,3	31,2	39,4	39,2	39,9	40,4
3-Mai	13:00	35,1	29	32,4	29,9	33,0	31,3	39,6	39,8	39,8	40,4
3-Mai	14:00	34,1	26	32,3	29,8	32,8	30,6	40,3	40,1	39,6	40,2
3-Mai	15:00	35,3	23	31,1	27,7	31,2	28,1	39,0	38,5	38,6	39,0
3-Mai	16:00	35,0	22	30,7	27,8	30,5	27,1	37,7	37,4	37,7	37,2

Observações:

T e UR = temperatura e umidade relativa horária do ar externo, obtidas como média de 5 valores;

T_{B1}, T_{C1}, T_{B2}, T_{C2}, T_{B3}, T_{C3}, T_{B4} e T_{C4} = temperatura nas faces de baixo e de cima das telhas dos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, referente a média de 5 valores.

Apêndice 4 – Análise de variância, para as variáveis ambientais, dos tratamentos sujeitos à ventilação por termossifão.

Hora	Variável	Fonte de variação	Grau de Liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	F
09	T _{gn}	Tratamento	3	20,36429	6,7888098	63,343
		Bloco	4	164,9483	41,23707	384,805
		Resíduo	92	9,8590555	0,1071636	
	ITGU	Tratamento	3	7,327182	2,442394	17,274
		Bloco	4	224,9906	56,24765	397,822
		Resíduo	92	13,00780	0,1413891	
	CTR	Tratamento	3	1058,676	352,8919	34,781
		Bloco	4	6124,572	153,1143	150,910
		Resíduo	92	933,4404	10,14609	
10	T _{gn}	Tratamento	3	76,82626	25,60875	102,524
		Bloco	4	203,4419	50,86049	203,618
		Resíduo	92	22,98007	0,2497834	
	ITGU	Tratamento	3	35,64160	11,88053	46,258
		Bloco	4	222,9456	55,73639	217,016
		Resíduo	92	23,62848	0,2568313	
	CTR	Tratamento	3	3717,329	1239,109	81,594
		Bloco	4	6334,285	1583,571	104,277
		Resíduo	92	1397,132	15,18622	
11	T _{gn}	Tratamento	3	113,2228	37,74094	140,134
		Bloco	4	137,5906	34,39766	127,720
		Resíduo	92	24,77744	0,2693200	
	ITGU	Tratamento	3	71,07202	23,69067	79,676
		Bloco	4	219,0152	54,75379	184,148
		Resíduo	92	27,35495	0,2973364	
	CTR	Tratamento	3	5799,029	1933,010	114,429
		Bloco	4	4887,214	1221,804	72,327
		Resíduo	92	15554,125	16,89266	

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

12	T _{gn}	Tratamento	3	200.3270	66,77566	308,129
		Bloco	4	96,687799	24,17200	111,539
		Resíduo	92	19,93762	0,2167133	
	ITGU	Tratamento	3	154,0502	51,35008	208,672
		Bloco	4	212,1541	53,03852	215,533
		Resíduo	92	22,63943	0,2460808	
	CTR	Tratamento	3	10584,21	3528,069	229,280
		Bloco	4	4162,476	1040,619	67,627
		Resíduo	92	1415,658	15,38759	
13	T _{gn}	Tratamento	3	204,8986	68,299952	189,373
		Bloco	4	115,7047	28,92618	80,203
		Resíduo	92	33,18082	0,3606611	
	ITGU	Tratamento	3	146,8161	48,93869	130,373
		Bloco	4	149,0765	37,26912	99,285
		Resíduo	92	34,53445	0,3753745	
	CTR	Tratamento	3	10687,20	3562,400	125,060
		Bloco	4	7048,129	1762,032	61,857
		Resíduo	92	2620,668	28,48552	
14	T _{gn}	Tratamento	3	234,8394	78,279789	157,520
		Bloco	4	342,5410	85,63525	172,321
		Resíduo	92	45,71954	0,4969516	
	ITGU	Tratamento	3	145,6621	48,55404	92,395
		Bloco	4	445,2135	111,3034	211,803
		Resíduo	92	48,34637	0,5255041	
	CTR	Tratamento	3	12136,40	40405,468	83,992
		Bloco	4	23708,22	5927,056	123,057
		Resíduo	92	4431,180	48,16500	
15	T _{gn}	Tratamento	3	319,4803	106,4934	295,666
		Bloco	4	680,5898	170,1475	472,393
		Resíduo	92	33,13672	0,3601817	
	ITGU	Tratamento	3	202,0197	67,33988	165,510
		Bloco	4	813,3766	203,3442	499,785
		Resíduo	92	37,43140	0,4068630	
	CTR	Tratamento	3	20192,27	6730,756	169,573
		Bloco	4	48287,43	12071,86	304,136
		Resíduo	92	3651,695	39,69234	
16	T _{gn}	Tratamento	3	275,0367	91,67889	313,634
		Bloco	4	686,2100	171,5525	586,882
		Resíduo	92	26,89270	0,2923120	
	ITGU	Tratamento	3	184,5255	61,50848	199,877
		Bloco	4	805,0849	201,2712	654,049
		Resíduo	92	28,31128	0,3077313	
	CTR	Tratamento	3	17384,99	5794,998	230,966
		Bloco	4	46880,22	11720,06	467,115
		Resíduo	92	2308,309	25,09031	
17	T _{gn}	Tratamento	3	196,9607	65,65358	270,847
		Bloco	4	438,0521	109,5130	451,784
		Resíduo	92	22,30090	0,2424011	
	ITGU	Tratamento	3	131,4789	43,82629	193,326
		Bloco	4	508,5746	127,1436	560,854
		Resíduo	92	20,85608	0,2266965	
	CTR	Tratamento	3	9630,448	3243,483	144,149
		Bloco	4	26308,53	6577,132	292,306
		Resíduo	92	2070,078	22,50085	

Apêndice 5 – Análise de variância, para as variáveis ambientais, dos tratamentos sujeitos à ventilação natural por vento + termossifão.

Hora	Variável	Fonte de variação	Grau de Liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	F
09	T _{gn}	Tratamento	3	13,14468	4,381558	75,164
		Bloco	4	31,37391	7,843478	134,551
		Resíduo	92	5,363018	0,05829367	
	ITGU	Tratamento	3	5,038699	1,679566	15,223
		Bloco	4	55,85851	13,96463	126,567
		Resíduo	92	10,15074	0,1103342	
	CTR	Tratamento	3	1193,938	397,9792	47,713
		Bloco	4	1628,648	407,1620	48,814
		Resíduo	92	767,3796	8,341083	
10	T _{gn}	Tratamento	3	21,55377	7,184590	34,634
		Bloco	4	41,28207	10,32052	49,751
		Resíduo	92	19,08477	0,2074432	
	ITGU	Tratamento	3	14,84327	4,947757	8,279
		Bloco	4	54,26523	13,56631	22,699
		Resíduo	92	54,98429	0,5976554	
	CTR	Tratamento	3	1269,984	423,3281	24,926
		Bloco	4	1220,309	305,0772	17,963
		Resíduo	92	1562,464	16,98331	
11	T _{gn}	Tratamento	3	40,64586	13,54862	92,431
		Bloco	4	100,8848	25,22120	172,077
		Resíduo	92	13,48436	0,1465691	
	ITGU	Tratamento	3	15,69835	5,232782	32,982
		Bloco	4	105,5484	26,38711	166,319
		Resíduo	92	14,59612	0,1586534	
	CTR	Tratamento	3	2342,357	780,7857	60,474
		Bloco	4	3425,921	856,4802	66,337
		Resíduo	92	1187,815	12,91103	
12	T _{gn}	Tratamento	3	41,50157	13,83386	48,011
		Bloco	4	150,0870	37,52176	130,220
		Resíduo	92	26,50899	0,2881412	
	ITGU	Tratamento	3	18,50381	6,167936	20,055
		Bloco	4	173,9019	43,47547	141,363
		Resíduo	92	28,29411	0,3075447	
	CTR	Tratamento	3	1707,176	569,0585	27,207
		Bloco	4	5423,819	1355,955	64,829
		Resíduo	92	1924,264	20,91591	
13	T _{gn}	Tratamento	3	43,62896	14,54299	32,980
		Bloco	4	32,90734	8,226836	18,657
		Resíduo	92	40,56822	0,4409589	
	ITGU	Tratamento	3	26,82954	8,943179	21,528
		Bloco	4	29,99995	7,499987	18,054
		Resíduo	92	38,21786	0,4154115	
	CTR	Tratamento	3	2927,508	975,8360	19,578
		Bloco	4	5216,053	1304,013	26,162
		Resíduo	92	4585,591	49,84338	
14	T _{gn}	Tratamento	3	92,31229	30,77077	118,903
		Bloco	4	139,1546	34,78865	134,429
		Resíduo	92	23,80859	0,2587891	
	ITGU	Tratamento	3	57,74866	19,24955	79,789
		Bloco	4	160,0396	40,00989	165,839
		Resíduo	92	22,19562	0,2412567	
	CTR	Tratamento	3	6502,019	2167,340	62,733
		Bloco	4	7538,977	1884,744	54,553
		Resíduo	92	3178,467	34,54855	
15	T _{gn}	Tratamento	3	68,22875	22,74292	98,986
		Bloco	4	59,15173	14,78793	64,363
		Resíduo	92	21,13772	0,2297578	
	ITGU	Tratamento	3	41,93857	13,97952	56,307
		Bloco	4	52,60425	13,15106	52,970
		Resíduo	92	22,84117	0,2482736	
	CTR	Tratamento	3	5231,247	1743,749	57,881
		Bloco	4	3812,596	953,1490	31,638
		Resíduo	92	2771,647	30,12660	

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

16	T _{gn}	Tratamento	3	69,72227	23,24076	140,273
		Bloco	4	39,99303	9,998258	60,346
		Resíduo	92	15,24279	0,1656825	
	ITGU	Tratamento	3	44,15026	14,71675	77,633
		Bloco	4	33,20058	8,300145	43,784
		Resíduo	92	17,44030	0,1895685	
	CTR	Tratamento	3	4347,117	1449,039	87,509
		Bloco	4	5132,877	1283,219	77,495
		Resíduo	92	1523,408	16,55878	
17	T _{gn}	Tratamento	3	35,83147	11,94382	12,826
		Bloco	4	76,80709	19,20177	20,620
		Resíduo	92	85,67350	0,9312337	
	ITGU	Tratamento	3	16,17635	5,392118	5,753
		Bloco	4	61,55102	15,38775	16,419
		Resíduo	92	86,22366	0,9372137	
	CTR	Tratamento	3	2068,339	689,4462	10,891
		Bloco	4	5414,105	1353,526	21,381
		Resíduo	92	5824,130	63,30576	

Apêndice 6 – Teste de Tukey, para as variáveis ambientais, ao nível de 5% de significância, para os tratamentos sujeitos à ventilação por termossifão.

Hora	Número de observações	Variável	Tratamento	Média	Comparação
09	25	T _{gn}	3	25,0	A
			4	24,6	B
			2	24,3	C
			1	23,8	D
		ITGU	3	72,2	A
			4	72,1	A
			2	71,7	B
			1	71,6	B
		CTR	3	454	A
			4	450	B
			2	448	B
			1	444	C
10	25	T _{gn}	3	27,6	A
			4	27,0	B
			2	25,8	C
			1	25,5	C
		ITGU	3	74,3	A
			4	74,0	A
			2	73,0	B
			1	73,0	B
		CTR	3	470	A
			4	464	B
			2	458	C
			1	453	D
11	25	T _{gn}	3	31,0	A
			4	30,4	B
			2	28,9	C
			1	28,4	D
		ITGU	3	77,7	A
			4	77,7	A
			2	76,2	B
			1	75,9	B
		CTR	3	494	A
			4	489	B
			2	481	C
			1	474	D

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

12	25	T _{gn}	3	33,8	A
			4	33,1	B
			2	31,1	C
			1	30,3	D
		ITGU	3	80,6	A
			4	80,6	A
			2	78,5	B
			1	77,8	C
		CTR	3	515	A
			4	508	B
			2	496	C
			1	489	D
13	25	T _{gn}	3	35,4	A
			4	34,5	B
			2	32,3	C
			1	32,0	C
		ITGU	3	82,1	A
			4	81,9	A
			2	79,7	B
			1	79,4	B
		CTR	3	528	A
			4	517	B
			2	504	C
			1	502	C
14	25	T _{gn}	3	37,1	A
			4	35,6	B
			1	33,7	C
			2	33,2	D
		ITGU	3	83,5	A
			4	82,8	B
			1	81,0	C
			2	80,6	C
		CTR	3	541	A
			4	525	B
			1	517	C
			2	511	D
15	25	T _{gn}	3	38,0	A
			4	35,9	B
			1	34,0	C
			2	33,5	D
		ITGU	3	84,5	A
			4	83,2	B
			1	81,5	C
			2	80,9	D
		CTR	3	549	A
			4	527	B
			1	517	C
			2	512	D
16	25	T _{gn}	3	36,7	A
			4	35,6	B
			2	33,1	C
			1	32,7	C
		ITGU	3	83,3	A
			4	82,9	A
			2	80,6	B
			1	80,3	B
		CTR	3	539	A
			4	525	B
			2	509	C
			1	506	C

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

17	25	T_{gn}	3	35,0	A
			4	34,5	B
			2	32,3	C
			1	31,7	D
		ITGU	3	81,9	A
			4	81,7	A
			2	79,9	B
			1	79,3	C
		CTR	3	524	A
			4	517	B
			2	503	C
			1	499	D

Apêndice 7 – Teste de Tukey, para as variáveis ambientais, ao nível de 5% de significância, para os tratamentos sujeitos à ventilação natural por vento + termossifão.

Hora	Número de observações	Variável	Tratamento	Média	Comparação
09	25	T_{gn}	3	23,1	A
			4	22,7	B
			2	22,6	B
			1	22,1	C
		ITGU	3	70,4	A
			2	70,3	A
			4	70,3	A
			1	69,8	B
		CTR	3	442	A
			4	438	B
			2	437	B
			1	432	C
10	25	T_{gn}	3	24,6	A
			4	24,2	B
			2	23,7	C
			1	23,4	D
		ITGU	3	71,9	A
			4	71,7	A
			2	71,4	A B
			1	70,9	B
		CTR	3	453	A
			4	449	B
			2	446	C
			1	443	C
11	25	T_{gn}	3	27,6	A
			4	27,1	B
			2	26,4	C
			1	25,9	D
		ITGU	3	74,7	A
			4	74,5	A
			2	74,0	B
			1	73,7	C
		CTR	3	475	A
			4	469	B
			2	465	C
			1	462	D
12	25	T_{gn}	3	29,6	A
			4	29,3	A
			2	28,4	B
			1	28,0	B
		ITGU	3	76,7	A
			4	76,4	A
			2	75,9	B
			1	75,7	B
		CTR	3	489	A
			4	486	A
			2	481	B
			1	479	B

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

13	25	T _{gn}	3	32,3	A
			4	31,5	B
			1	30,8	C
			2	30,6	C
		ITGU	3	79,4	A
			4	78,08	B
			1	78,4	C
			2	78,0	C
		CTR	3	513	A
			4	505	B
			1	504	B
			2	498	C
14	25	T _{gn}	3	34,7	A
			4	36,6	B
			2	32,4	C
			1	32,3	C
		ITGU	3	81,6	A
			4	80,8	B
			1	79,9	C
			2	79,7	C
		CTR	3	536	A
			4	524	B
			1	517	C
			2	516	C
15	25	T _{gn}	3	32,0	A
			4	30,6	B
			1	30,0	C
			2	29,8	C
		ITGU	3	78,9	A
			4	77,9	B
			1	77,6	B
			2	77,1	C
		CTR	3	506	A
			1	491	B
			4	490	B C
			2	487	C
16	25	T _{gn}	3	31,9	A
			4	31,4	B
			2	30,2	C
			1	29,9	C
		ITGU	3	78,8	A
			4	78,7	A
			1	77,5	B
			2	77,4	B
		CTR	3	506	A
			4	498	B
			1	491	C
			2	489	C
17	25	T _{gn}	3	29,0	A
			4	28,6	A B
			2	28,0	B C
			1	27,4	C
		ITGU	3	75,9	A
			4	75,9	A B
			2	75,3	B C
			1	75,0	C
		CTR	3	483	A
			4	479	A B
			2	475	B C
			1	471	C

Apêndice 8 – Análise de variância para a temperatura superficial das telhas.

Hora	Variável	Fonte de variação	Grau de Liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	F
10	T_s	Tratamento	3	476,5276	158,8425	288,038
		Bloco	2	59,30379	29,65189	53,769
		Resíduo	54	29,77905	0,5514640	
	T_i	Tratamento	3	134,1171	44,70569	331,283
		Bloco	2	73,62659	36,81330	272,798
		Resíduo	54	7,287140	0,1349470	
11	T_s	Tratamento	3	780,4922	260,1641	723,835
		Bloco	2	90,86316	45,42158	126,401
		Resíduo	54	19,40894	0,3594247	
	T_i	Tratamento	3	340,8785	113,6262	278,955
		Bloco	2	138,2692	69,13461	169,727
		Resíduo	54	21,99573	0,4073283	
12	T_s	Tratamento	3	1063,814	354,6045	3039,326
		Bloco	2	52,51064	26,25532	225,035
		Resíduo	54	6,300293	0,1166721	
	T_i	Tratamento	3	602,2284	200,7428	917,222
		Bloco	2	143,3464	71,67321	327,485
		Resíduo	54	11,81842	0,2188596	
13	T_s	Tratamento	3	1264,861	421,6203	746,177
		Bloco	2	190,0035	95,00177	168,133
		Resíduo	54	30,51221	0,5650409	
	T_i	Tratamento	3	724,1599	241,3866	966,499
		Bloco	2	231,3863	115,6932	463,229
		Resíduo	54	13,48669	0,2497536	
14	T_s	Tratamento	3	1377,916	459,3053	1281,129
		Bloco	2	34,31515	17,15757	47,857
		Resíduo	54	19,35986	0,3585160	
	T_i	Tratamento	3	752,6172	250,8724	1254,349
		Bloco	2	128,6803	64,34014	321,697
		Resíduo	54	10,80011	0,2000020	
15	T_s	Tratamento	3	1157,937	385,9790	286,185
		Bloco	2	207,6696	103,8348	76,989
		Resíduo	54	72,82996	1,348703	
	T_i	Tratamento	3	610,9385	203,6462	607,984
		Bloco	2	216,6519	108,3259	323,406
		Resíduo	54	18,08746	0,3349530	
16	T_s	Tratamento	3	1176,395	392,1316	1379,159
		Bloco	2	174,9100	87,45500	307,586
		Resíduo	54	15,35364	0,2843266	
	T_i	Tratamento	3	608,9308	202,9769	1763,104
		Bloco	2	217,1015	108,5508	942,897
		Resíduo	54	6,216736	0,1151247	

Apêndice 9 – Teste de Tukey, para a temperatura superfícil da telha, ao nível de 5% de significância.

Hora	Número de observações	Variável	Tratamento	Média	Comparação
10	15	T _s	3	35,4	A
			4	34,7	B
			2	29,8	C
			1	29,1	D
		T _i	4	32,2	A
			3	31,4	B
			2	28,9	C
			1	28,8	C
11	15	T _s	4	36,2	A
			3	36,2	A
			2	29,4	B
			1	28,5	C
		T _i	4	34,5	A
			3	33,5	B
			2	29,4	C
			1	29,1	C
12	15	T _s	4	38,6	A
			3	38,0	B
			2	30,0	C
			1	29,7	D
		T _i	4	37,5	A
			3	36,5	B
			2	30,9	C
			1	30,6	C
13	15	T _s	4	38,8	A
			3	38,3	A
			2	30,3	B
			1	29,6	C
		T _i	4	38,3	A
			3	38,1	A
			2	31,5	B
			1	30,9	C
14	15	T _s	4	40,0	A
			3	39,5	B
			2	30,7	C
			1	29,7	D
		T _i	4	38,9	A
			3	38,3	B
			2	32,1	C
			1	31,1	D
15	15	T _s	4	35,3	A
			3	35,0	A
			1	26,6	B
			2	26,2	B
		T _i	3	36,0	A
			4	35,4	B
			1	29,6	C
			2	29,1	C
16	15	T _s	3	35,8	A
			4	35,5	A
			1	27,0	B
			2	26,6	B
		T _i	4	35,6	A
			3	35,5	A
			1	29,2	B
				29,1	B

Apêndice 10 – Características granulométricas da vermiculita, comercialmente classificada como média, de marca Plantmax, fabricada pela Eucatex Mineral Ltda.

Peneira (ABNT)	Malha (mm)	Massa retida (g)	% Retido	% Acumulado
Nº 4	4,76	40,46	33,60	33,60
Nº 14	1,41	45,04	37,40	71,00
Nº 20	0,84	13,09	10,90	81,90
Finos	----	21,78	18,10	100,00
Total		120,37	100,00	

$\phi_{\max} = 4,76 \text{ mm}$

Módulo de finura = 1,86