

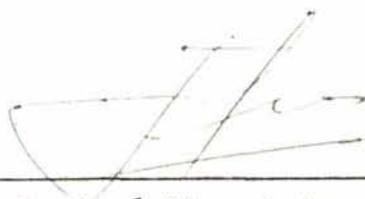
ESTUDO DE GALPÕES PARA A CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE,  
DO PONTO DE VISTA HIGROTÉRMICO, NAS CONDIÇÕES  
CLIMÁTICAS BRASILEIRAS

SEBASTIÃO PEREIRA LOPES

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

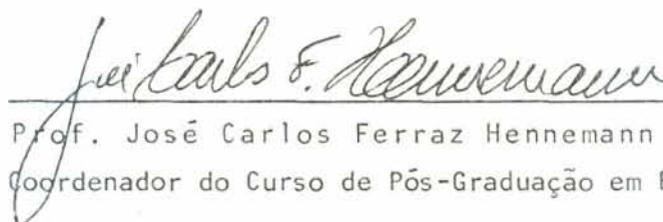
Porto Alegre  
Outubro de 1986

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



---

Prof. José Miguel Aroztegui  
Orientador



---

Prof. José Carlos Ferraz Hennemann  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

#### BANCA EXAMINADORA

Prof. José Miguel Aroztegui (Orientador)  
Arquiteto pela Faculdade de Arquitetura de Montevidéu

Prof. Antônio Mário Penz Júnior  
Ph.D. pela University of Davis, Califórnia

Prof. Paulo Antonio Corsetti  
M.Sc. pela COPPE/UFRJ

## AGRADECIMENTOS

● Ao Prof. José Miguel Aroztegui, pela orientação, incentivo, ensinamentos e participação efetiva durante a realização deste trabalho.

● Aos Professores Antônio Mário Penz Júnior, Paulo Antonio Corsetti e Telmo Brentano, pelo apoio, sugestões e indicação de bibliografia.

● Aos colegas de curso que através do convívio pautado na consideração, amizade sincera, espírito coletivo e estímulo tornaram possível a transposição das dificuldades encontradas durante o curso e no decorrer deste trabalho.

● Ao Prof. José Carlos Ferraz Hennemann, coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio, interesse e eficiência na resolução dos problemas inerentes ao curso e a esta dissertação.

● À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela liberação das minhas atividades docentes, o que tornou possível a realização do curso de pós-graduação.

● Aos Professores Carlos Frederico H. Bueno e Vitor Hugo Teixeira, pelo incentivo e por terem se responsabilizado pelas minhas atividades junto ao Departamento, durante a realização deste curso.

● Aos amigos José Ferreira Neto e Prof. Nilson Salvador, pela disponibilidade e presteza com que me representaram em Lavras - MG, durante o meu afastamento.

● À Juliana Zart Bonilha, pela eficiência na realização das correções e apresentação das referências bibliográficas.

- À Lilliani Gaeversen Mazzali, pelo empenho e eficiência na realização da datilografia.

- A minha família e em especial ao meu pai, pelo carinho, incentivo e interesse com que participam da minha formação.

Ao meu pai Antônio e  
a minha irmã Maria Aparecida

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvii
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. BASES FISIOLÓGICAS DAS AVES.....	5
2.1. Ganhos e Perdas de Calor Corporal.....	5
2.1.1. Ganhos.....	5
2.1.2. Perdas de Calor.....	7
2.1.2.1. Formas de dissipação de calor	
pelas aves.....	8
2.1.2.1.1. Radiação.....	8
2.1.2.1.2. Condução.....	10
2.1.2.1.3. Convecção.....	11
2.1.2.1.4. Evaporação.....	12
2.1.3. Equilíbrio Térmico das Aves.....	14
2.2. Efeito da Temperatura Ambiental.....	14
2.3. Efeito da Umidade Relativa.....	19
2.4. Efeito da Ventilação.....	22
2.5. Efeito da Radiação.....	24
2.6. Efeito Combinado dos Parâmetros Ambientais.....	26
3. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS PARA UMA MELHOR CONVERSÃO ALIMENTAR DOS FRANGOS DE CORTE.....	29
3.1. Generalidades.....	29
3.2. Definição de Índices Higrotérmicos.....	30
3.2.1. O Índice de Temperatura e Umidade - ITU.....	30

3.2.2.	O Índice de Temperatura do Globo e Umidade - ITGU.....	31
3.3.	Correlação entre ITGU e Conversão Alimentar: Definição das Zonas Higrotérmicas.....	32
3.4.	Inclusão do Movimento do Ar na Ampliação das Zonas Higrotérmicas.....	36
4.	TIPIFICAÇÃO DE SITUAÇÕES CLIMÁTICAS NO BRASIL.....	41
4.1.	Generalidades.....	41
4.2.	Parâmetros Climáticos Adotados.....	42
4.3.	Situações Climáticas Tipificadas.....	43
5.	DESEMPENHO TÉRMICO DOS GALPÕES PARA A CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.....	45
5.1.	Introdução.....	45
5.2.	Caracterização e Quantificação das Radiações Solares.....	48
5.2.1.	Caracterização da Radiação Solar e de Onda Longa.....	48
5.2.2.	Movimentos Aparentes do Sol.....	51
5.2.3.	Quantificação das Radiações Solares.....	57
5.3.	A Redução do Efeito Térmico das Radiações Solares.....	63
5.3.1.	Como Minimizar o Valor do Fluxo Térmico (q).....	64
5.3.1.1.	Diminuição do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ): Uso de pintura em cores claras.....	64
5.3.1.2.	Diminuição do coeficiente de transmissão térmica global (U).....	66
5.3.1.2.1.	Através do uso de diferentes materiais.....	66
5.3.1.2.2.	Uso de forro na cobertura.....	67
5.3.1.3.	Combinação dos fatores $\alpha$ e U.....	68

5.3.1.4.	Diminuição da penetração solar direta - o uso de beirais longos.....	70
5.3.1.4.1.	Latitudes altas (climas temperados).....	73
5.3.1.4.2.	Latitudes médias.....	77
5.3.1.4.3.	Latitudes baixas (climas quentes).....	80
5.3.1.4.4.	Síntese das considerações acerca de beirais.....	81
5.3.1.5.	O efeito das radiações térmicas provenientes da cobertura.....	82
5.3.1.5.1.	Composição da temperatura ambiente ( $t_{amb}$ )....	82
5.3.1.5.2.	O efeito do aumento da altura do galpão na temperatura ambiente.....	85
5.3.1.6.	Sombreamento das coberturas e áreas circunvizinhas.....	87
5.3.1.7.	Arrefecimento evaporativo.....	90
5.3.1.8.	Redução das oscilações térmicas diárias - O uso da inércia térmica da construção.....	90
5.4.	As Outras Variáveis Climáticas e seu Controle.....	92
5.4.1.	A Temperatura do Ar.....	93
5.4.1.1.	Situação de inverno.....	93
5.4.1.1.1.	Generalidades.....	93
5.4.1.1.2.	Perdas e ganhos de calor do galpão.....	93
5.4.1.1.2.1.	Perdas de calor..	93
5.4.1.1.2.2.	Ganhos de calor.....	96
5.4.1.1.3.	Determinação da temperatura interna ( $t_i$ ) através do equilíbrio entre perdas e ganhos	

têrmicos em galpões abertos.....	97
5.4.1.1.4. O aumento da temperatura interna através do controle da taxa de renovação do ar.....	99
5.4.1.2. Situação de verão.....	103
5.4.1.2.1. Ventilação natural por ação da temperatura.....	103
5.4.1.2.2. Ventilação natural por efeito do vento.....	106
5.4.2. Umidade do ar.....	109
6. PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS CONSTRUTIVAS PARA AS SITUAÇÕES CLIMÁTICAS TIPIFICADAS.....	111
6.1. Faixa A.....	111
6.1.1. Características da Faixa.....	111
6.1.2. Características do Galpão.....	111
6.2. Faixa B.....	116
6.2.1. Características da Faixa.....	116
6.2.2. Características do Galpão.....	117
6.3. Faixa C.....	118
6.3.1. Características da Faixa.....	118
6.3.2. Características do Galpão.....	118
6.4. Faixa D.....	120
6.5. Faixa E.....	120
7. CONCLUSÕES.....	121
SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS RELACIONADAS COM O TEMÁ.....	124
ANEXO I - DETERMINAÇÃO DO FLUXO TÉRMICO PROVENIENTE DAS RADIAÇÕES SOLARES.....	125
1.1. As Superfícies Opacas Frente as Radiações Solares.....	125

1.2. 0	Uso de Forro na Redução do Fluxo Térmico Proveniente das Radiações Solares.....	138
1.2.1.	Uso de Forro Não Ventilado	
1.2.2.	Uso de Forro Ventilado.....	140
ANEXO II - DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DAS ABERTURAS DOS LANTERNINS PARA VENTILAÇÃO NATURAL POR AÇÃO DA TEMPERATURA.....		
		145
BIBLIOGRAFIA.....		151

## LISTA DE FIGURAS

2.1 - Calor ganho ou incorporado pela ave.....	7
2.2 - Processos e mecanismos de perda de calor das aves.....	13
2.3 - Perda de calor de frangos de corte, à idade de mercado, em função da temperatura ambiente.....	18
2.4 - Variação da produção de calor e temperatura corporal de uma ave adulta em função da temperatura ambiental efetiva externa.....	27
3.1 - Fontes de radiação recebida por um animal sob um abrigo.....	31
3.2 - Correlação entre ITGU e conversão alimentar dos frangos de corte.....	33
3.3 - Zonas higrotérmicas de conforto para a criação de frangos de corte, na situação de ar calmo ( $v \leq 0,1$ m/s).....	35
3.4 - Correlação entre temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) e velocidade do ar (m/s), de preferência dos frangos, aos 28 dias de idade.....	36
3.5 - Zonas higrotérmicas de conforto das aves ampliadas pelo movimento do ar.....	38
3.6 - Efeito da velocidade do ar na ampliação das zonas de conforto das aves.....	39
5.1 - Espectro da radiação solar (a) e da radiação a temperaturas comuns (b).....	49
5.2 - Componentes do balanço de radiação da superfície terrestre.....	50
5.3 - A maneira como a terra gira ao redor do sol originando as estações.....	52

5.4	- Representação gráfica dos movimentos relativos ao sol nas latitudes de $0^{\circ}$ e $33^{\circ}\text{S}$ .....	53
5.5	- Coordenadas do sol.....	54
5.6	- Faixa do zodíaco.....	55
5.7	- Sistema de projeções estereográficas para a representação do movimento do sol.....	55
5.8	- Projeções estereográficas das trajetórias do sol para as latitudes de $0^{\circ}$ (a) e $33^{\circ}\text{S}$ (b).....	56
5.9	- Quantidades diárias de radiação solar direta, com céu claro, recebida por vários planos, em diferentes latitudes.....	59
5.10	- Intensidade das radiações solares diretas, sobre superfícies diversas, provenientes de céu claro, na forma de projeção estereográfica, segundo a posição do sol, em $\text{W}/\text{m}^2$ .....	61
5.11	- Intensidade das radiações solares difusas, sobre superfícies verticais, provenientes de céu claro, refletidas pelo solo com 20% de refletância e a soma de ambas, na forma de projeção estereográfica, segundo a posição do sol, em $\text{W}/\text{m}^2$ .....	62
5.12	- Projeção estereográfica das trajetórias do sol para a latitude $17^{\circ}\text{S}$ .....	63
5.13	- Determinação do ângulo $\alpha'$ de um beiral.....	71
5.14	- Projeção estereográfica da borda de um beiral.....	72
5.15	- Transferidor do ângulo de sombra de beirais.....	72
5.16	- Ação de um beiral $\alpha' = 40^{\circ}$ para uma edificação na latitude de $9^{\circ}\text{S}$ .....	73
5.17	- Variação típica da temperatura do ar no decorrer de um dia médio de verão em Santa Vitória do Palmar (RS).....	75

5.18 - Determinação dos ângulos $\alpha'$ (a) e do comprimento dos beirais (b) para galpões na latitude de $33^{\circ}\text{S}$ .....	75
5.19 - Variação típica da temperatura do ar no decorrer de um dia médio de verão em Paracatú - MG.....	78
5.20 - Determinação dos ângulos $\alpha'$ (a) e do comprimento dos beirais (b) para galpões na latitude de $17^{\circ}\text{S}$ .....	79
5.21 - Variação do comprimento dos beirais (m) em função da latitude (graus).....	81
5.22 - Parcelas de contribuição dos componentes da envolvente na temperatura de um ponto localizado ao centro do galpão.....	82
5.23 - Valor do fator de forma para o cálculo da temperatura radiante média em um ponto.....	83
5.24 - Absorção da radiação solar pelo elemento opaco da cobertura com pára-sol.....	88
5.25 - Componentes do galpão através dos quais é perdido o calor dissipado pelas aves.....	94
5.26 - Convecção do ar nas coberturas inclinadas.....	104
5.27 - Ilustração das aberturas de ventilação em uma cobertura.....	105
5.28 - Lanternim com proteção, proposto por BATURIN <sup>5</sup> .....	108
1.1 - Absorção da radiação solar pelos elementos opacos da construção.....	125
1.2 - Transmissão de calor em elementos opacos.....	130
1.3 - Resistência à transmissão do fluxo térmico pelos elementos opacos.....	134
1.4 - Incremento térmico na temperatura externa de um telhado devido as radiações solares.....	136

1.5 - Resistências impostas ao fluxo térmico em uma cobertura com forro não ventilado.....	138
1.6 - Emprego de ventilação no ático.....	140

## LISTA DE TABELAS

2.1 - Perda de calor dos frangos de corte à idade de mercado, em função da temperatura ambiente.....	18
2.2 - Efeito da umidade relativa e temperatura ambiental na perda de calor latente da ave adulta.....	21
2.3 - Preferência dos frangos aos 28 dias de idade quanto a temperatura e velocidade ao ar.....	23
3.1 - Valores de ITGU, umidade relativa e temperatura para as zonas higrotérmicas A, B, C, na situação de ar calmo ( $v \leq 0,1$ m/s).....	34
3.2 - Valores de ITGU, umidade relativa e temperatura para as zonas higrotérmicas A, B, C, para velocidade do ar igual a 0,3 m/s.....	37
5.1 - Influência das cores no fluxo térmico devido a insolação.....	65
5.2 - Fluxo térmico que penetra na edificação através da cobertura com telhas de barro ou de fibrocimento.....	67
5.3 - Efeito do uso de forro ventilado ou não ventilado em uma cobertura de fibrocimento.....	68
5.4 - A influência da pintura branca nas coberturas com telhas de barro ou de fibrocimento.....	69
5.5 - Valores dos fatores de forma de cada elemento da envolvente, quando o ponto p está localizado ao centro de um galpão convencional.....	83
5.6 - Valores dos fatores de forma de cada elemento da envolvente para um ponto p localizado a 1,0 m da mureta de um galpão convencional.....	84

5.7 - Valores de $t_{rm}$ e $t_{amb}$ em um ponto p situado ao centro de um galpão com altura convencional ou incrementada.....	87
5.8 - Amortecimento e retardo da onda térmica para alguns exemplos de cobertura.....	92
5.9 - Produção de calor de frangos de corte em função da idade.....	96
6.1 - Alternativas construtivas para o galpão situado na faixa climática A.....	112
1.1 - Coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) de alguns materiais de construção.....	128
1.2 - Propriedades térmicas de alguns materiais de construção.....	132
1.3 - Resistências térmicas superficiais.....	133

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	- área de uma superfície qualquer	$m^2$
$A_e$	- área de entrada do ar	$m^2$
$A_s$	- área de saída do ar	$m^2$
C	- condutância das penas de uma ave	$W/m^2 K$
$C_s$	- calor dissipado pela ave	W/kg
$c_p$	- calor específico do ar	$J/kg^{\circ}C$
d	- massa específica do ar	$kg/m^3$
$d_a$	- densidade de ocupação das aves	$aves/m^2$
e	- espessura de um material qualquer	m
E	- coeficiente de eficácia de uma abertura	-
$e_b$	- emissividade da superfície de uma ave	-
$e_s$	- emissividade do meio circundante	-
F	- fator de forma	%
$F_T$	- fator de conversão de temperatura para uma hora qualquer	-
G	- ganho de calor proveniente das aves	W
h	- altura entre dois pontos	m
$h_c$	- coeficiente de transmissão de calor por convecção	$W/m^2^{\circ}C$
$h_e$	- coeficiente superficial de troca térmica exterior	$W/m^2^{\circ}C$
$h_i$	- coeficiente superficial de troca térmica interior	$W/m^2^{\circ}C$
$h_r$	- coeficiente de transmissão de calor por radiação	$W/m^2^{\circ}C$

$i$	- inclinação da cobertura	%
$I$	- intensidade da radiação solar	$W/m^2$
$k_c$	- coeficiente de transferência de calor por convecção	$W/m^2 K \cdot \sqrt{m/s}$
$l$	- comprimento de uma cobertura	m
$L$	- largura interna do galpão	m
$M$	- altura da mureta de alvenaria	m
$n$	- número de renovações de ar por hora	RPH
$P, p$	- designação de um ponto qualquer	-
$P_m$	- peso médio de uma ave	kg
$q$	- fluxo térmico unitário	$W/m^2$
$Q$	- fluxo térmico	W
$Q_a$	- quantidade de umidade no ar ambiente	$g/m^3$
$Q_c$	- perda de calor por convecção	W
$Q_{cd}$	- perda de calor por condução	W
$Q_{cob}$	- perda de calor através da cobertura	W
$Q_{cort}$	- perda de calor através da cortina	W
$Q_e$	- perda de calor por evaporação	W
$Q_{ia}$	- calor a ser retirado pela ventilação	W
$Q_m$	- perda de calor através da mureta	W
$Q_r$	- perda de calor por radiação	W
$Q_{sat} T_b$	- quantidade de umidade no ar saturado à temperatura corporal da ave	$g/m^3$
$Q_T$	- perda de calor total	W
$Q_v$	- perda de calor através da ventilação	W
$R_e$	- resistência superficial externa	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$
$R_f$	- resistência térmica do forro	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$
$R_i$	- resistência superficial interna	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$
$R_m$	- resistência térmica de um elemento opaco	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$

$R_t$	- resistência térmica total	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
$T_a$	- temperatura absoluta do ar	K
$t_{amb}$	- temperatura ambiente	$^\circ\text{C}$
$t_{as}$	- temperatura ar-sol	$^\circ\text{C}$
$T_b$	- temperatura superficial absoluta do corpo da ave	K
$T_{bs}$	- temperatura do bulbo seco	$^\circ\text{C}$
$t_e$	- temperatura do ar externo, temperatura do ar de entrada	$^\circ\text{C}$
$t_i$	- temperatura do ar interno	$^\circ\text{C}$
$t_l$	- temperatura das laterais abertas	$^\circ\text{C}$
$t_m$	- temperatura média do ar	$^\circ\text{C}$
$t_{mf}$	- temperatura média do mês mais frio	$^\circ\text{C}$
$t_{mq}$	- temperatura média do mês mais quente	$^\circ\text{C}$
$t_{nm}$	- temperatura mínima média do ar exterior	$^\circ\text{C}$
$t_p$	- temperatura do piso e mureta	$^\circ\text{C}$
$T_{po}$	- temperatura do ponto de orvalho	K
$t_r$	- incremento térmico devido as radiações solares	$^\circ\text{C}$
$t_{rm}$	- temperatura radiante média	$^\circ\text{C}$
$t_s$	- temperatura do ar de saída	$^\circ\text{C}$
$T_s$	- temperatura absoluta média do meio	K
$t_{se}$	- temperatura superficial externa	$^\circ\text{C}$
$t_{si}$	- temperatura superficial interna	$^\circ\text{C}$
$t_{xm}$	- temperatura máxima média do ar exterior	$^\circ\text{C}$
$t_T$	- temperatura do ar em uma hora qualquer	$^\circ\text{C}$
$U$	- coeficiente de transmissão térmica	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
$U_{cob}$	- coeficiente de transmissão de calor da cobertura	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$U_{\text{cort}}$	- coeficiente de transmissão de calor da cortina	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$U_m$	- coeficiente de transmissão de calor da mureta	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$UR_a$	- umidade relativa média anual	%
$v$	- velocidade do ar	m/s
$V$	- vazão de ar	$m^3/s$
$V_p$	- taxa de ventilação pulmonar de uma ave	$m^3/h$
$\alpha$	- coeficiente de absorção das radiações solares	-
$\alpha'$	- ângulo de um beiral	graus
$\beta$	- contribuição das laterais abertas na temperatura de um ponto qualquer	%
$\gamma$	- contribuição do piso e muretas na temperatura de um ponto qualquer	%
$\Delta p$	- diferença de pressão	Pa
$\Delta t$	- diferença de temperatura	$^\circ C$
$\epsilon$	- emissividade de uma superfície	-
$\theta$	- contribuição do telhado na temperatura de um ponto qualquer	%
$\lambda$	- condutibilidade térmica	$W/m \text{ } ^\circ C$
$\mu$	- amortecimento da onda térmica	-
$\nu$	- definido segundo a expressão: $\frac{n [L(h+M) + \frac{i L^2}{400}]}{3}$	$W/^\circ C$
$\rho$	- coeficiente de reflexão das radiações solares	-
$\sigma$	= constante de Stefan Boltzman	$W/m^2 \text{ } K^4$
$\tau$	- refere-se a uma hora qualquer	-
$\phi$	- retardo da onda térmica	horas
$\Omega$	- área de entrada ou de saída do ar por metro linear do beiral	$m^2$

## RESUMO

O trabalho enfoca o projeto de galpões para a criação de frangos de corte, do ponto de vista do seu desempenho térmico, nas condições climáticas brasileiras. Define as margens das condições térmicas de rendimento, usando como indicador a conversão alimentar e, através da metodologia da especificação por desempenho, apresenta as características dos galpões, apontando as principais vias para a solução dos problemas higrotérmicos.

No trabalho há uma revisão bibliográfica em relação ao tema da fisiologia das aves, no que se refere a produção e dissipação do calor corporal para o meio ambiente. Foi dado um enfoque à análise do tema de transmissão de calor, com o intuito de servir de guia para os estudos dos profissionais da área de Ciências Agrárias.

## ABSTRACT

The work concentrates on the design of houses for raising broiler chickens, from the point of view of its thermal performance under Brazilian climatic conditions. The margins of the thermal performance conditions are defined therein, by using feed conversion as the indicator; and, through the performance specification methodology, the characteristics of houses are presented and the main ways for solution of hygrothermal problems are indicated.

A bibliographic research was made in the work concerning the physiology of birds as to production and dissipation of body heat to the environment. Heat transmission was analysed aiming to provide a guide to the studies of specialists in Agriculture Sciences.

4

## 1. INTRODUÇÃO

Durante a última década a produção avícola expandiu-se consideravelmente em várias zonas tropicais do mundo. Isto ocorreu devido ao grande potencial existente, principalmente nos países que contam com condições climáticas adequadas ao cultivo e a produção de insumos utilizados na alimentação das aves.

Uma atenção especial foi dada à produção avícola por ser esta uma atividade que se ajusta perfeitamente aos programas de desenvolvimento que visem atender a rápida e crescente demanda de alimentos para o consumo humano.

A expressiva produção mundial de frangos, alcançada nos últimos anos, resultou de melhoramentos na genética, na nutrição e nas instalações. A melhoria do rendimento de um lote de frangos depende, dentre outros fatores, do aperfeiçoamento das construções e das técnicas de manejo utilizadas, o que possibilita superar os efeitos prejudiciais de certos fatores climáticos críticos específicos de determinadas regiões.

É razoável assumir que existe para cada espécie animal um ambiente no qual ocorre a sua máxima produtividade. Este ambiente, formado pela combinação de vários parâmetros climáticos, dá opções ao projetista para dimensionar o microclima apropriado ao desenvolvimento animal em função de mais de uma variável.

O desempenho de uma ave, traduzido em consumo de alimentos e ganho de peso, está intimamente relacionado às condições ambientais em que ela vive. Ambiente de conforto para a ave pode ser considerado como sendo aquele no qual o calor produzido pelo seu metabolismo pode ser perdido para o meio ambiente sem prejuízo apreciável na relação consumo alimentar/ganho de peso, isto é, no seu rendimento, expresso pela conversão alimentar.

Existem várias maneiras que permitem melhorar um ambiente, porém, o mais importante é compreender os diferentes parâmetros climáticos envolvidos, os mecanismos através dos quais influenciam as reações fisiológicas da ave e a magnitude com que afetam o seu desenvolvimento.

Fundamentalmente a instalação deve manter a ave abrigada em um ambiente quente e livre de correntes de ar nas noites frias de inverno e ventilado e fresco nas épocas quentes de verão, sobretudo no final do ciclo de crescimento.

O ambiente no qual a ave vive depende de fatores físicos, sociais e térmicos<sup>2 5\*</sup>. Os fatores físicos abrangem, entre outros, as necessidades de espaço, intensidade de iluminação, ruídos e equipamentos. Os fatores sociais compreendem o número de aves por gaiola, comportamento e ordem social das aves no galpão, etc. e os fatores térmicos são constituídos pela temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação.

O controle máximo do ambiente, quanto aos fatores térmicos, abrange os quatro parâmetros mencionados no parágrafo anterior.

Este trabalho ocupa-se em analisar os parâmetros térmicos temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação, visando o seu controle, objetivando melhorar as condições ambientais de modo a fornecer um ambiente otimizado para a criação de aves de corte.

No desenvolvimento do trabalho foi aceito que:

- as instalações apresentam características lineares quanto à forma, buscando simplicidade construtiva e proporcionando ventilação higiênica adequada. As aberturas das laterais e cumeeira são protegidas com tela de arame de modo a permitir a ventilação e evitar a entrada de pássaros. A largura do galpão é escolhida em função do clima;

---

\* Os números indicam a ordem de chamada das referências bibliográficas listadas no final do trabalho.

- no Brasil, aceita-se, por razão econômica da criação de aves, galpões como sendo construções simples e sem instalações térmicas artificiais (acondicionamento térmico artificial), exceto o uso esporádico de ventiladores;

- no manejo, durante as primeiras três a quatro semanas de criação, denominado período inicial, os pintos são criados sob campânulas aquecidas artificialmente, localizadas em partes apropriadas do galpão;

- da 4.<sup>a</sup> ou 5.<sup>a</sup> a 7.<sup>a</sup> ou 8.<sup>a</sup> semana de crescimento, as exigências da ave quanto ao meio ambiente são diferentes em relação ao período inicial, dispensando os cuidados específicos mencionados anteriormente.

Este trabalho está relacionado com a 2.<sup>a</sup> fase de criação (período de acabamento), uma vez que no período inicial os pintos requerem ambientação artificial por não terem o aparelho termorregulador completamente desenvolvido. No período de acabamento as condições higrotérmicas influem diretamente no desempenho da ave e nesta fase se dispensa o aquecimento suplementar fornecido na 1.<sup>a</sup> fase de crescimento.

Em face do anteriormente exposto, os objetivos do nosso trabalho se limitam a:

- i) sistematizar conhecimentos relacionados à fisiologia das aves no que se refere a produção e dissipação do calor corporal para o meio ambiente e a influência dos parâmetros ambientais no rendimento das aves;

- ii) fornecer subsídios e informações operativas sobre aspectos climáticos, movimentos do sol e desempenho térmico dos materiais (docência elementar de transmissão de calor) aos profissionais da área de Ciências Agrárias (engenheiros agrícolas, engenheiros agrônomos, veterinários, zootecnistas), de modo a facilitar o planejamento, projeto e avaliação do desempenho térmico das instalações zootécnicas;

- iii) propor alternativas construtivas de galpões para as situações climáticas brasileiras tipificadas.

O enfoque adotado para o desenvolvimento do tema foi o seguinte:

- O segundo capítulo consta de um levantamento bibliográfico e sistematização de informações sobre fisiologia das aves, no que diz respeito à produção e perda de calor corporal. Aborda também o efeito dos parâmetros térmicos (temperatura, umidade relativa, movimento do ar e radiação) no rendimento das aves.

- O terceiro capítulo destina-se ao equacionamento dos parâmetros climáticos e a definição de seus limites aceitáveis, correlacionados ao ganho de peso e conversão alimentar. São definidas as zonas de conforto consideradas de ótimo rendimento e rendimento compensatório, assim como a ampliação destas zonas em função da combinação das variáveis climáticas.

- O quarto capítulo trata da tipificação de situações climáticas brasileiras, ou seja, a definição de faixas aptas ou marginais à criação de aves de corte.

- O quinto capítulo analisa o desempenho térmico dos componentes de um galpão de frangos de corte, objetivando fundamentalmente minimizar o efeito da radiação solar, sob forma direta ou indireta, na temperatura interna, através dos meios naturais de controle.

- O sexto capítulo propõe alternativas construtivas para as diferentes situações climáticas brasileiras, tipificadas no quarto capítulo, aplicando os conceitos de desempenho térmico dos materiais estudados no quinto capítulo e os parâmetros climáticos, definidos no terceiro capítulo.

No entanto, deve ser salientada a grande dificuldade no levantamento de bibliografia específica devido a dispersão de informações, a falta de pesquisas aplicadas e a pouca confiabilidade nos resultados encontrados, uma vez que os mesmos, quando existentes, foram de fontes e condições experimentais diferentes.

## 2. BASES FISIOLÓGICAS DAS AVES

As aves são homeotérmicas. Isto significa que a temperatura dos seus órgãos vitais deve manter-se constante dentro de uma faixa relativamente estreita de temperatura, para que não haja alterações em suas funções normais.

Quando uma ave está sujeita a um ambiente mais frio que a temperatura de seu corpo, de acordo com as leis físicas de transferência de calor, certa quantidade de calor é removida de seu corpo. Se isto continua, por muito tempo, sem nenhuma compensação fisiológica, sua temperatura corporal decrescerá. A ave poderá compensar esta perda adicional de calor, aumentando sua produção de calor e/ou reduzindo a perda, por uma série de ajustamentos físicos<sup>25</sup>.

Com o objetivo de manter uma temperatura relativamente constante para os seus órgãos vitais, o calor corporal da ave deve ser conservado, ou liberado, como resposta a mudanças do meio ambiente. Durante o período frio, o problema é conservar o calor e no período quente o problema da ave é liberar o excesso de calor corporal.

### 2.1. Ganhos e Perdas de Calor Corporal

#### 2.1.1. Ganhos

A quantidade de calor produzida ou incorporada ao corpo de uma ave provém do metabolismo basal, da atividade muscular, da produção de ovos, da alimentação ou digestão e do meio ambiente térmico<sup>25</sup>.

O calor metabólico basal refere-se à quantidade de calor produzido, quando uma ave encontra-se em completo repouso, num microclima confortável e de descanso. Porém, com o aumento da atividade aumenta a produção de calor.

A ingestão de alimentos também aumenta a taxa metabólica e, conseqüentemente, a quantidade de calor corporal que deve ser transferida ao meio ambiente. Depois da ingestão, a digestão das substâncias alimentares e a absorção de nutrientes gera considerável quantidade de energia degradada e liberada como calor corporal.

O processo anabólico de armazenamento da energia ou a síntese de ovos acarreta certo número de reações metabólicas que envolve a transferência de energia química. Tais reações contribuem para uma produção extra de calor corporal<sup>18</sup>.

A radiação solar, influenciando a temperatura ambiente, também contribui para o aumento da quantidade de calor ganho pela ave, através dos mecanismos que adiante serão analisados.

A figura 2.1 apresenta os ganhos de calor pela ave<sup>25</sup>.

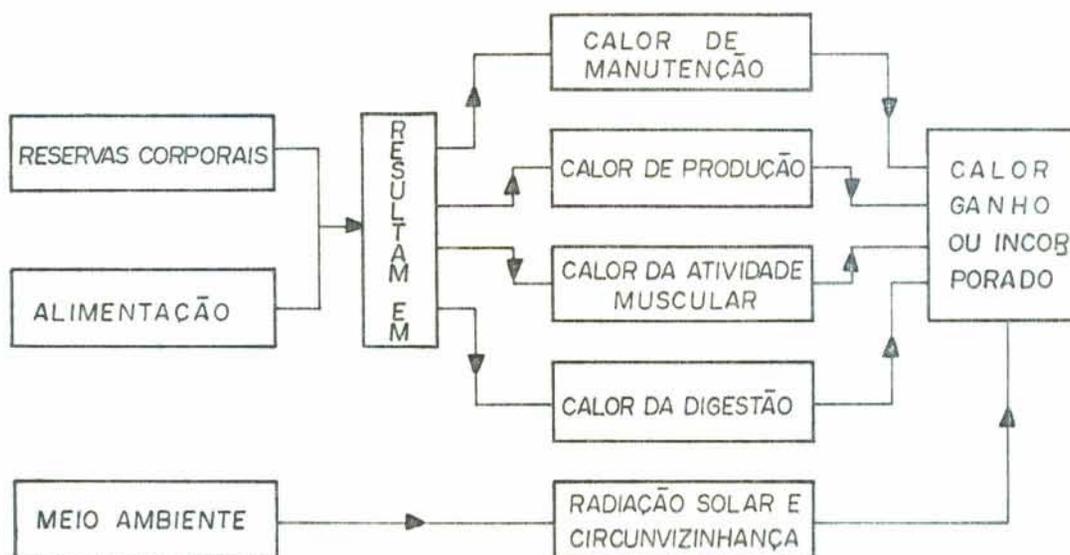


FIGURA 2.1 - Calor ganho ou incorporado pela ave.

### 2.1.2. Perdas de Calor

Para se defenderem das altas e baixas temperaturas as aves mudam de comportamento e utilizam seus recursos fisiológicos.

A ave não voadora, como a galinha, quando se expõe ao calor, reduz sua atividade e produção de calor e mantém suas asas separadas do corpo para aumentar a perda de calor nas superfícies pouco isoladas.

A galinha quando sente calor pode beber mais água do que o usual. O consumo de água é, portanto, maior em ambientes quentes do que nos ambientes frios e o mesmo acontece com o volume de fezes. O livre acesso à água é um fator importante na resistência das aves à exposição ao calor<sup>4,9,53</sup>.

As aves, além de não possuírem glândulas sudoríparas, as superfícies não cobertas de penas, como a crista, barbelas, pernas, etc., constituem apenas 10% da superfície cor-

poral total, o que dificulta certamente a dissipação do calor<sup>18</sup>.

Empapar a crista, barbela e penas com água, constitui um meio usual para o arrefecimento do corpo. Também está provado<sup>49</sup> que as aves buscam lugares mais frescos e reduzem sua atividade durante o período mais quente do dia.

O mecanismo mais importante para controlar a temperatura corporal durante períodos de calor é a variação da taxa respiratória, com um aumento da ventilação pulmonar. Aumentando a frequência respiratória pode ser evaporada maior quantidade de água da superfície dos pulmões e, deste modo, consegue-se um arrefecimento efetivo do corpo<sup>18</sup>.

Em um ambiente frio uma ave pode encurvar-se e reduzir sua área superficial e com isto sua perda de calor. Também pode arrepiar suas penas, englobando uma camada de ar e aumentando seu isolamento. A plumagem das aves atua como um manto de isolamento, formando um meio eficiente para a conservação do calor corporal.

O ato de introduzir a cabeça sob a asa é uma forma eficaz de reduzir a perda de calor, cuja redução pode ser quantificada em 12%<sup>49</sup>.

O agrupamento das aves é outro meio de conservar o calor em ambientes frios.

Um método comum para reduzir as perdas de calor das partes sem penas das pernas das aves é "sentar-se" sobre elas. A perda de calor pela ave quando está de pé é de 40 a 50% maior do que quando está sentada<sup>49, 53</sup>.

#### 2.1.2.1. Formas de Dissipação de Calor pelas Aves

O calor produzido pela ave perde-se para o meio ambiente através dos seguintes processos:

##### 2.1.2.1.1. Radiação

O calor perde-se por radiação sempre que a temperatura superficial da ave seja superior à temperatura dos obje-

tos e superfícies do meio ambiente<sup>49</sup>.

A radiação é composta de ondas eletromagnéticas com comportamento corpuscular, provenientes do calor interno de cada corpo. A emissão desta energia interna se realiza sempre que o meio circundante ao corpo seja transparente a essa energia. O intercâmbio da energia radiante entre dois corpos exige que todo o meio que os separa permita a passagem das radiações por eles emitidas. Isto se realiza graças à transparência do ar a todos os comprimentos de onda. Quando troca onda eletromagnética o corpo cede e recebe calor simultaneamente.

A quantidade e características da energia radiante emitida por um material depende da natureza deste material, da sua estrutura molecular e da sua temperatura absoluta<sup>25</sup>.

A perda de calor por radiação depende da área superficial radiante efetiva da ave, da emissividade e da temperatura absoluta da ave, da emissividade e da temperatura absoluta do meio circundante.

A emissividade é um parâmetro que identifica a facilidade com que uma superfície cede calor por radiação (ver Anexo-t).

A perda de calor por radiação pode ser definida pela equação<sup>49</sup>.

$$Q_r = A \sigma \cdot (e_b T_b^4 - e_s T_s^4) \quad (2.1)$$

onde

$Q_r$  = perda de calor por radiação (W)

$A$  = área radiante efetiva da ave ( $m^2$ )

$\sigma$  = Constante de Stefan Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ )

$e_b$  = emissividade da superfície da ave

$T_b$  = temperatura absoluta média da superfície radiante da ave (K)

$e_s$  = emissividade do meio circundante

$T_s$  = temperatura absoluta média do meio circundante (K)

### 2.1.2.1.2. Condução

Condução é a passagem do calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos em íntimo contato, devido ao movimento molecular dos mesmos, sem que se verifiquem deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado. As moléculas dos corpos acham-se animadas de movimento vibratório, cuja velocidade é tanto maior quanto mais elevada é a sua temperatura. Esse movimento vibratório permite um intercâmbio de energia cinética entre as moléculas, das quais, as de maior temperatura cedem, por choques, energia às de menor temperatura, originando-se, assim, a transmissão de calor por meio de condução<sup>16</sup>.

A perda de calor por condução implica a transferência direta de calor da superfície corporal da ave ao ar e a qualquer objeto sólido com o qual possa estar em contato.

Devido a baixa condutibilidade térmica do ar a perda de calor por condução, da superfície corporal da ave ao ar ambiente, é praticamente desprezível.

A condutibilidade térmica da pele com penas também é baixa, fazendo com que a condução térmica seja responsável somente por uma parte muito pequena da transmissão de calor dos tecidos até a superfície das penas<sup>19</sup>. Somente quando a ave se "senta" sobre uma superfície é que este efeito se faz importante.

A perda de calor por condução pode ser definida pela equação<sup>16</sup>.

$$Q_{cd} = AC (T_b - T_s) \quad (2.2)$$

onde

$Q_{cd}$  = perda de calor por condução (W)

$A$  = área superficial através da qual se dá a passagem de calor ( $m^2$ )

$C$  = condutância das penas ( $W/m^2 K$ )

$T_b$  = temperatura superficial do corpo da ave (K)

$T_s$  = temperatura média da superfície em contato (K)

### 2.1.2.1.3. Convecção

Para que ocorra transmissão de calor por convecção entre dois corpos é necessário que um deles, pelo menos, seja um fluido e que ambos estejam em contato molecular, de forma que o começo do processo se realize por condução<sup>43</sup>.

Basicamente se distinguem duas formas de transmissão de calor por convecção: a convecção natural e a convecção forçada. Na primeira, o único movimento do ar é aquele gerado pela diferença de temperatura entre suas partes; na segunda, o ar tem uma velocidade própria.

A perda de calor por convecção natural se produz devido ao ar que está em contato direto com o corpo da ave se aquece, dilata-se e diminui sua densidade. O ar quente se eleva e é substituído por ar mais frio.

A perda de calor por convecção forçada depende da taxa de movimento do ar (maior velocidade do ar, maior perda), da temperatura do ar (maior diferença de temperatura entre a superfície corporal da ave e o ar, maior a perda) e também da área de superfície corporal em contato com o ar.

A perda de calor por convecção forçada, definida por STURKIE<sup>49</sup>, segundo a equação 2.3, leva em conta a influência da velocidade do ar em contato com a ave. Portanto:

$$Q_c = A k_c \sqrt{v} (T_b - T_a) \quad (2.3)$$

onde:

$Q_c$  = perda de calor por convecção (W)

$A$  = área superficial em contato com o ar ( $m^2$ )

$k_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/m^2 \cdot K \sqrt{m/s}$ )

$v$  = velocidade do vento (m/s)

$T_b$  = temperatura superficial média absoluta da ave (K)

$T_a$  = temperatura absoluta do ar (K)

#### 2.1.2.1.4. Evaporação

As aves não possuem glândulas sudoríparas, porém isto não impede uma certa quantidade de perda de calor pela dessecação constante da umidade da pele. Este fenômeno não chega a constituir um mecanismo de regulação térmica importante. O principal recurso está no fato das aves serem ofegadoras e o arrefecimento evaporativo se produzir, principalmente, através das membranas que envolvem as vias respiratórias.

A quantidade de calor perdido por evaporação da umidade depende da diferença entre a pressão do vapor aquoso na superfície de evaporação e o ar, assim como da velocidade do ar em movimento sobre a superfície úmida.

A perda de calor por evaporação pode ser definida pela equação<sup>49</sup>.

$$Q_e = V_p (Q_{sat T_b} - Q_a) \times 0,682 \quad (2.4)$$

onde:

- $Q_e$  = perda de calor por evaporação (W)
- $V_p$  = taxa de ventilação pulmonar ( $m^3/h$ )
- $Q_{sat T_b}$  = quantidade de umidade no ar saturado à temperatura corporal da ave ( $g/m^3$ )
- $Q_a$  = quantidade de umidade no ar ambiente ( $g/m^3$ )
- 0,682 = calor latente de vaporização da água (em Wh/g)

Em Resumo:

O calor produzido ou incorporado ao corpo da ave perde-se para o ambiente através dos processos de radiação, condução, convecção e evaporação da umidade.

A perda de calor total é o resultado do calor dissipado pelas vias sensível e latente.

Calor sensível ou não evaporativo é o calor liberado pelas aves através da radiação, convecção, condução e que acaba afetando a temperatura do ambiente.

Perda de calor latente ou evaporativa é aquela que se produz através da evaporação da umidade. Esta não determina mudança na temperatura ambiental. A energia é retida pela água evaporada.

A figura 2.2 apresenta, de forma esquemática, a perda de calor pelas aves<sup>25</sup>.

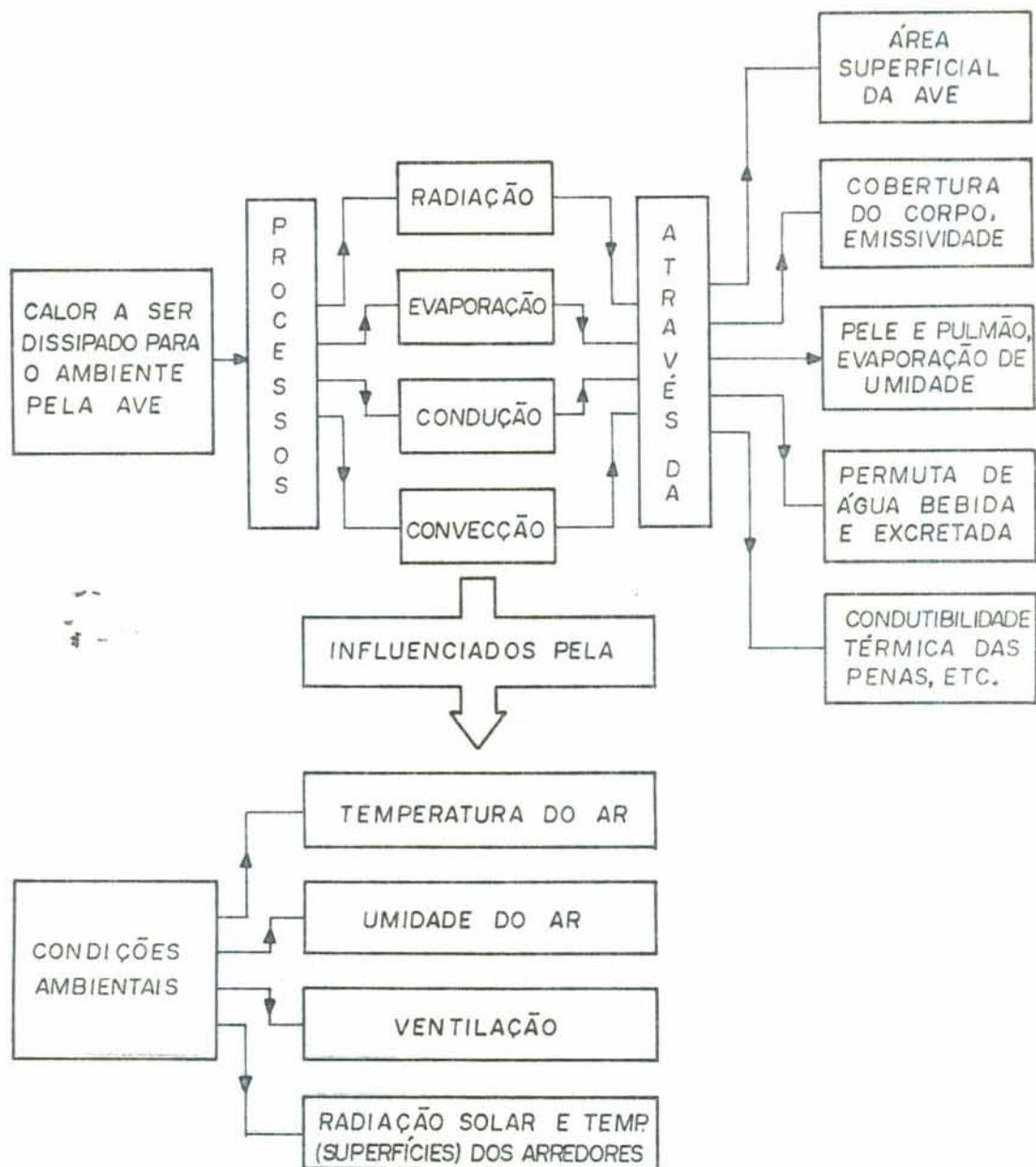


FIGURA 2.2 - Processos e mecanismos de perda de calor das aves.

### 2.1.3. Equilíbrio Térmico das Aves

Para manter a homeotermia na ave, a quantidade de calor produzida deve ser igual a quantidade de calor dissipada para o ambiente.

STURKIE<sup>49</sup> resume este equilíbrio entre o ganho e a perda de calor nesta equação:

$$M \pm S = Q_e \pm Q_r \pm Q_c \pm Q_{cd} \quad (2.5)$$

onde:

M = quantidade de calor produzida,

S = calor armazenado no corpo,

$Q_e$  = quantidade de evaporação de umidade, sendo sempre perda de calor e portanto sempre positiva

$Q_r$  = perda de calor por radiação,

- Positivo: a temperatura superficial da ave é maior que a temperatura do meio circundante. O corpo da ave perde calor,

- Negativo: o inverso do caso anterior. A ave ganha calor como resultado da radiação,

$Q_c$  = perda de calor por convecção,

- Positivo: a temperatura superficial da ave é maior que a temperatura do meio,

- Negativo: ocorre o contrário do caso anterior,

$Q_{cd}$  = perda de calor por condução,

- Positivo ou negativo, dependendo da temperatura do ar e dos objetos em contato com a ave, em relação à temperatura superficial da ave.

### 2.2. Efeito da Temperatura Ambiental

A temperatura ambiental compreende a temperatura do ar e das superfícies circunvizinhas.

A temperatura do ar deve ser considerada a maior variável do ambiente térmico<sup>2</sup>, uma vez que a dissipação do ca-

lor sensível da ave é, fundamentalmente, função da diferença entre as temperaturas do corpo da ave e o ar.

A temperatura ambiental exerce influência sobre a dissipação de calor na forma sensível e latente. Diminuindo a temperatura aumenta a influência do calor sensível; aumentando a temperatura aumenta a importância da perda de calor latente<sup>18</sup>.

São numerosas as experiências realizadas que comprovam a inter-relação entre a temperatura ambiental e as reações fisiológicas da ave. Citaremos apenas as mais relevantes:

Segundo STURKIE<sup>49</sup>, nas galinhas criadas a uma temperatura ambiente de 29,4°C desenvolveram cristas maiores que nas criadas a 2,2°C. Na evidência de que as cristas têm uma função termorreguladora, é razoável aceitar que a perda de calor sensível seja facilitada nas aves com cristas grandes.

Experimentos realizados por DEATON, REECE, VARDAMAN<sup>20</sup>, mostraram que frangos criados nas últimas cinco semanas de idade, em temperaturas acima de 26,7°C durante pelo menos doze horas por dia, tiveram menor ganho de peso quando comparados aos criados em temperaturas mais amenas. Resultados semelhantes foram encontrados por HUSTON<sup>32</sup>, quando comparou o crescimento de galinhas criadas a temperaturas ambiente de 8, 19 e 30°C. As aves criadas a 19°C foram as que tiveram maior crescimento.

DODGEN et alii<sup>23</sup> concluíram que a temperatura cíclica que resultou melhor crescimento dos frangos foi a mínima-máxima de 18,3 a 23,9°C. Nenhuma diferença significativa no crescimento foi notada entre este ciclo e a temperatura constante de 23,9°C. Um decréscimo linear no consumo de ração e ganho de peso ocorreu quando a temperatura mínima ou máxima se afastou dos limites antes mencionados. Resultados semelhantes foram encontrados por DEATON et alii<sup>21</sup>. O máximo crescimento dos frangos, criados da 4ª semana de idade até o abate, deu-se à temperatura de 18°C. A ótima utilização da alimentação, baseada na quantidade de ração requerida para produzir uma unidade de carne, foi obtida à temperatura de

24°C e o maior ganho de peso foi à temperatura de 21°C. Estes resultados parecem confirmar os dos experimentos realizados por PRINCE et alii<sup>39</sup>. Para baixas temperaturas, o maior crescimento foi obtido à temperatura cíclica de 4°C a 16°C, num período de 24 horas, quando comparado à temperatura constante de 10°C.

Noutro experimento DEATON et alii<sup>22</sup> concluíram que frangos criados, da 4<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> semana, à temperatura constante de 29,4°C, tiveram o mesmo ganho de peso e consumo de ração que os criados à temperatura cíclica de verão de 23,9 a 35°C, num período de 24 horas. O estudo foi importante pois mostrou ser mais fácil e mais barato coletar dados de respostas das aves à temperatura constante do que em temperaturas cíclicas.

Concluindo:

MILLIGAN & WINN<sup>36</sup> sugeriram que a faixa ótima de temperatura ou de conforto para o melhor desempenho das aves de corte parece ser 15,5 a 26,5°C, baseada no critério de ganho de peso, conversão alimentar, pigmentação e empenamento. Para todos estes critérios, exceto conversão alimentar, 15,5°C parece ser a temperatura preferida pelos frangos.

Mortalidade de frangos devido a prostração pelo calor é um sério problema quando a temperatura de verão é próxima de 38°C, principalmente nas áreas úmidas<sup>41</sup>.

A temperatura corporal da ave varia de acordo com a temperatura ambiental<sup>49</sup>, principalmente quando está acima de 32°C<sup>46</sup>.

A temperatura corporal das aves é a seguinte:

- letal máxima para aves adultas: 46 a 47,8°C (segundo RANDAL, citado por ZIRLIS et alii)<sup>53</sup>  
47,3°C (SMITH & OLIVER)<sup>46</sup>
- letal máxima para fêmea adulta: 47°C (STURKIE)<sup>49</sup>
- letal mínima (varia de acordo com a idade)
  - para pintos de um dia: 15,5°C (segundo MORENG & SHAFFNER, citado por ZIRLIS et alii)<sup>53</sup>.

- para pintos com 4 dias: 16,1 a 16,6°C (segundo MORENG & SHAFFNER, citado por ZIRLIS et alii)<sup>53</sup>
- para pintos com 10 a 21 dias: 18,3 a 20,5°C (segundo MORENG & SHAFFNER, citado por ZIRLIS et alii)<sup>53</sup>
- para fêmea adulta: 23,4°C (STURKIE)<sup>49</sup>
- para macho adulto: 20,7°C (STURKIE)<sup>49</sup>.

Segundo SMITH & OLIVER<sup>46</sup>, a temperatura ambiente na qual a galinha pode manter sua temperatura corporal dentro do limite letal é bastante ampla. A temperatura ambiente letal máxima para a galinha Leghorn branca é de aproximadamente 40,5°C. Acima deste limite a produção de calor excede a perda e a temperatura corporal aumenta incontrolavelmente. A temperatura ambiente letal inferior não foi precisamente definida.

Quando a temperatura ambiente é igual à temperatura corporal, a ave não pode perder calor por meios não evaporativos, todavia pode perder pela evaporação da água no aparelho respiratório. Na galinha, sob condições muito quentes, aproximadamente 84% da perda de calor total se dá por meio evaporativo<sup>49</sup>. Em condições normais, 75% do calor produzido pelas aves é perdido por meio não evaporativo, ou seja, radiação, condução e convecção<sup>18</sup>.

STROM<sup>48</sup>, através de seus experimentos, apresentou valores da perda de calor das aves em função da temperatura ambiente. Este autor definiu uma unidade de perda de calor, o vpe, ou "unidade de calor produzido" estimado como sendo 1.000 watts a 20°C, para qualquer espécie animal. Definiu, também, que a perda de calor de 80 frangos, com peso médio de 1,5 kg, equivale a 1 vpe.

A tabela 2.1 apresenta o resumo da perda de calor dos frangos de corte à idade de mercado, em função da temperatura ambiente, proposta por STROM<sup>48</sup>.

TABELA 2.1 - Perda de calor dos frangos de corte à idade de mercado, em função da temperatura ambiente.

Temperatura Ambiente °C	Perda de calor*				
	Sensível		Latente		TOTAL
	W/kg	%	W/kg	%	W/kg
10	6,67	77	2,00	23	8,67
15	6,08	73	2,29	27	8,37
20	5,42	65	2,92	35	8,34
25	4,33	52	3,96	48	8,29
30	2,63	33	5,38	67	8,00
35	0,29	4	6,92	96	7,21

\* valores elaborados pelo autor, a partir da proposta de STROM<sup>48</sup>.

Os valores da tabela 2.1 estão representados na figura 2.3.

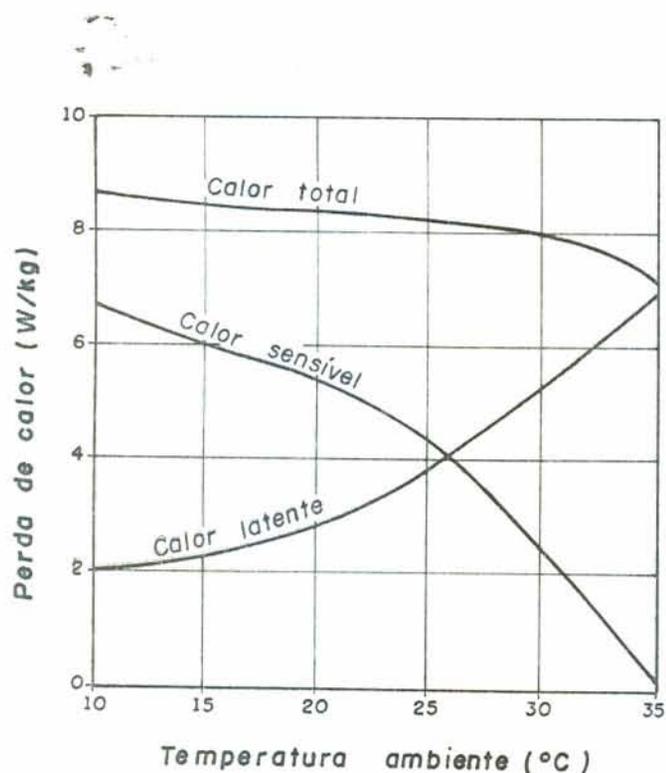


FIGURA 2.3 - Perda de calor de frangos de corte, à idade de mercado, em função da temperatura ambiente.

Os valores da tabela 2.1 e as curvas da figura 2.3 parecem confirmar os valores e as curvas de perda de calor em função da temperatura ambiente, apresentados por COSTA & HUNTON<sup>18</sup>. Porém, existe uma diferença que pode ser vista na figura 2.3 onde, após o cruzamento das curvas de perda de calor sensível e calor latente, a curva de perda de calor total é decrescente e na figura proposta por COSTA & HUNTON<sup>18</sup> é crescente.

Em temperaturas baixas a maior parte do calor total (cerca de 77%) é dissipado para o ambiente sob a forma de calor sensível, devido a diferença de temperatura entre o ambiente e o corpo da ave, pelos processos de radiação, condução e convecção.

Em temperaturas altas o meio de dissipação de calor mais eficaz para a ave é por via evaporativa, sob a forma de calor latente. A eficiência de dissipação vai depender da umidade relativa do ar.

A importância relativa da perda de calor latente tem início ao redor dos 27°C, que é quando as aves começam a ofegarem. Ao ofegar, aumenta a frequência respiratória, mas a quantidade de ar aspirado em cada respiração diminui<sup>18</sup>.

### 2.3. Efeito da Umidade Relativa

A segunda variável do ambiente térmico, em importância, é a umidade relativa do ar<sup>2</sup>, constituindo o maior problema nas áreas tropicais quentes e úmidas<sup>18</sup>. A umidade relativa tem, portanto, um significativo efeito na taxa de perda de calor das aves, particularmente em ambientes com altas temperaturas<sup>25</sup>.

Vários experimentos tem sido realizados com o objetivo de correlacionar os efeitos da umidade relativa no desempenho das aves.

REECE, DEATON, KUBENA<sup>41</sup> concluíram que, com o aumento da temperatura ambiente, a perda de calor pelo trato respiratório da ave, na forma latente, torna-se progressivamente mais importante. Quando a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal da ave, toda a dissipação de ca-

lor se dá sob a forma latente. Conseqüentemente, para temperatura ambiente próxima de  $41^{\circ}\text{C}$ , a umidade relativa do ar torna-se um fator crítico na dissipação de calor da ave. Segundo estes autores os limites de tolerância ao calor, quando correlacionados com a umidade relativa, não estão claramente definidos.

Experimentos realizados por REECE & DEATON<sup>40</sup> comparando os efeitos de várias temperaturas e umidade relativa, mostraram que frangos com 8 semanas de idade, criados em ambiente com  $26,7^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 76%, tiveram um ganho de peso de 20% superior aos criados à  $35^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 38%. A diferença na conversão alimentar, nos testes realizados, não foi significativa.

MILLIGAN & WINN<sup>36</sup> realizando estudos sobre a interação temperatura-umidade, concluíram que:

i) frangos mantidos em temperaturas constantes de  $35$  a  $37^{\circ}\text{C}$  são extremamente sensíveis às condições ambientais de alta umidade relativa do ar;

ii) para temperaturas acima de  $24^{\circ}\text{C}$ , o aumento da umidade relativa influencia adversamente os parâmetros de produção das aves;

iii) à temperaturas de  $15,5$  a  $26,7^{\circ}\text{C}$ , a umidade relativa do ar parece não exercer influência no desempenho dos frangos;

iv) a influência da umidade relativa do ar para baixas temperaturas não está claramente definida.

COSTA & HUNTON<sup>18</sup> comentam que, quando o ar está seco, a perda de calor latente é um processo bastante eficiente. Quando o ar já está úmido a ave não pode eliminar muita água dos pulmões e por isso começa a ofegar mais rapidamente que o normal. Quando a umidade relativa e a temperatura são altos, a ave não pode ofegar com a rapidez suficiente para remover todo calor que precisa dissipar de seu corpo. O mesmo não acontece quando a umidade relativa é baixa. Desta forma, a umidade relativa limita os níveis de temperatura ambiental que a ave consegue suportar.

A tabela 2.2 mostra os efeitos da umidade e da temperatura sobre a perda de calor latente nas aves<sup>18</sup>.

TABELA 2.2 - Efeito da umidade relativa e temperatura ambiental na perda de calor latente da ave adulta.

Condições climáticas	Temperatura °C	Umidade relativa %	Perda de calor la- tente como % do total
● normal seco	20	40	25
● normal úmido	20	87	25
● temperado seco	24	40	50
● temperado úmido	24	84	22
● quente seco	34	40	80
● quente úmido	34	90	39

A uma temperatura média de 20°C, a perda de calor latente representa somente cerca de 25% da perda de calor total, qualquer que seja a umidade relativa.

Quando a temperatura aumenta para 24°C, o arrefecimento por meio evaporativo é um processo eficiente de dissipação de calor, sempre que o ar estiver seco. Nestas circunstâncias, a ave pode dissipar 50% de seu calor corporal por via evaporativa.

Se o ar estiver úmido, a dissipação de calor, por via evaporativa, representa somente 22% do total, o que significa que a ave deve reduzir sua produção de calor mediante diminuição da atividade e redução no consumo de alimentos.

A 34°C, em um ambiente seco, a perda de calor latente é a melhor maneira de arrefecer o corpo da ave, cerca de 80% do total. Quando está úmido, somente 39% do calor produzido ou incorporado ao corpo da ave é dissipado deste modo.

A 34°C, a taxa de perda de calor através dos processos de radiação e convecção é baixa. Em condições ambientais quentes e úmidas a troca térmica é, portanto, um processo extremamente difícil para as aves<sup>18,46</sup>.

A faixa de umidade relativa considerada satisfatória para criação de frangos é de 50 a 80%<sup>1,2</sup>.

Além de interferir no sentido de facilitar ou dificultar o processo de transmissão de calor, do corpo da ave para o ar, a umidade relativa apresenta alguns inconvenientes quanto ao aspecto sanitário das aves.

Umidade relativa elevada provoca umidecimento da cama das aves, proliferação de microorganismos patogênicos e o conseqüente aparecimento de doenças.

Umidade relativa abaixo do nível de conforto, em conjunção com alta temperatura, provoca dessecação das vias respiratórias da ave causando desconforto, o que pode ser traduzido em redução no consumo de alimento e no ganho de peso.

A inter-relação de temperatura e umidade, embora tendo sido estudada, os resultados estão longe de serem completos<sup>2</sup>.

#### 2.4. Efeito da Ventilação

O movimento do ar não foi ainda extensivamente estudado para definir com clareza seus efeitos em termos de conforto das aves. Estudos mostram que o movimento do ar acima do requerido para remover camadas estagnadas, vapor d'água e amônia, têm benefício duvidoso<sup>2</sup>.

O movimento do ar sobre a superfície corporal da ave é um meio efetivo de dissipação de calor, influenciando as taxas de dissipação do calor evaporativo e não evaporativo<sup>25</sup>, sobre todo o corpo e em particular sobre a cabeça.

O aumento da velocidade do ar próximo às aves, num ciclo de alta temperatura diurna, melhora a taxa de crescimento, mas não altera a conversão alimentar<sup>29</sup>.

Segundo STURKIE<sup>49</sup>, os ventos frios afetam adversamente a velocidade de crescimento dos frangos. Provavelmente a causa é a acelerada perda de calor e a energia que, de outra forma, poderia ser usada para o crescimento e, nestas circunstâncias, usada para manter a temperatura corporal.

WILSON et alii, citado por ZIRLES et alii<sup>53</sup>, realizando trabalho sobre o efeito da velocidade do ar no desempenho do frango, concluíram que:

i) vento frio, com velocidade de 1,5 m/s ou mais, reduz o ganho de peso;

ii) as aves Leghorn são mais sensíveis aos ventos que as New Hampshire;

iii) o índice de mortalidade foi mais elevado nas aves submetidas a ventos com velocidade de 2,5 m/s;

iv) correntes de ar, de natureza normal, não apresentaram conseqüências para as aves com mais de duas semanas de idade.

As aves, aos 28 dias de idade, preferem áreas com fluxo de ar nas condições expressas na tabela 2.3<sup>2</sup>.

TABELA 2.3 - Preferência dos frangos aos 28 dias de idade quanto a temperatura e velocidade do ar.

Temperatura °C	Velocidade do ar m/s
15	0,28
21	0,51
24	0,75

A velocidade do ar pode ser de até 1,0 m/s sem provocar qualquer dano às aves<sup>18</sup>, porém se for aumentada para 2,5 m/s, a temperatura do ar poderá passar de 24°C para 35°C, mas ocorrerá, conseqüentemente, stress por calor<sup>2</sup>.

Em temperatura moderada ( $20^{\circ}\text{C}$ ), a perda de calor por radiação é uma parcela muito importante das perdas de calor sensível, que, como foi visto, é a via mais importante de perda de calor<sup>18</sup>.

A quantidade de calor que é dissipado depende da diferença de temperatura entre a cobertura de penas da ave e o ambiente que a circunda. Nestas circunstâncias, o movimento e a velocidade do ar não são fatores primordiais na perda de calor, apesar de que a baixas temperaturas podem produzir aumentos consideráveis.

Em condições de alta temperatura e ambiente seco, a perda de calor evaporativo (latente) é o mecanismo mais importante de perda de calor. A velocidade do ar não é um fator muito importante, mas o movimento do ar é necessário para eliminar a umidade da respiração e para manter um ambiente seco ao redor das aves.

É em áreas quentes e úmidas que o movimento do ar e sua velocidade são fatores extremamente importantes. Nestas circunstâncias a perda de calor por convecção é quase a única possibilidade de eliminar calor corporal das aves, o que justifica sua grande importância.

## 2.5. Efeito da Radiação

Poucos dados estão disponíveis para mostrar os efeitos da carga de energia radiante sobre o desempenho dos frangos na idade de abate, durante o período de alta temperatura e/ou alta umidade relativa.

As aves sendo criadas, na maioria das vezes, em galpões com laterais abertas, tetos sem isolamento e ventilados, estão sujeitas, fundamentalmente, ao efeito da cobertura quente, mas não é desprezível o efeito do piso, das paredes e da circunvizinhança externa.

Autores citados por GRIFFIN & VARDAMAN<sup>30</sup>, ao compararem a mortalidade de frangos em galpões com cobertura sem isolamento e galpões com cobertura isolada, observaram que a

mortalidade foi maior nos galpões sem isolamento, embora a diferença na temperatura ambiente, a nível do piso, nos dois galpões tenha sido somente de 1,5 a 2,5°C.

GRIFFIN & VARDAMAN<sup>30</sup> estudaram os efeitos do calor por radiação adicional em frangos à idade de abate, para diferentes ciclos de temperatura e/ou umidade relativa. Os resultados encontrados, quando comparados ao grupo controle, sem calor por radiação adicional, foram:

i) frangos a temperaturas de 22,2 a 34°C, umidade relativa de 42% ± 2% e sujeitos ao calor radiante adicional tiveram ganho de peso e conversão alimentar significativamente menores, mas não houve diferença na taxa de mortalidade;

ii) frangos a temperaturas de 22,2 a 34°C, umidade relativa de 60% ± 2% e sujeitos ao calor radiante adicional tiveram significativamente maior mortalidade e menor ganho de peso;

iii) frangos a temperaturas de 24,2 a 37,2°C, umidade relativa de 35% ± 2% e sujeitos ao calor radiante adicional, tiveram significativamente maior mortalidade e menor ganho de peso (não significativo a nível de 5%).

Segundo HARWOOD & REECE<sup>31</sup>, o efeito de uma cobertura isolada termicamente implica em redução da taxa de mortalidade de frangos na última etapa de crescimento. Os resultados dos experimentos realizados por estes autores parecem confirmar GRIFFIN & VARDAMAN<sup>30</sup> no trabalho onde concluem que a radiação similar a de um telhado quente afeta significativamente a taxa de mortalidade dos frangos à idade de abate.

O tempo de sobrevivência das aves, a uma dada temperatura, segundo STURKIE<sup>49</sup> depende, entre outros fatores, da quantidade de calor por radiação a que estão expostas.

Por outro lado, existem trabalhos<sup>42</sup> que mostram não ter efeito significativo no ganho de peso e conversão alimentar a adição de radiação térmica em coberturas sem isolamento, quando o ciclo de temperatura ambiente varia de 24 a 35°C, para frangos na 4.<sup>a</sup> à 8.<sup>a</sup> semana de idade.

Adiante serão tentadas algumas explicações para esta complexa influência das radiações pela cobertura.

## 2.6. Efeito Combinado dos Parâmetros Ambientais

Pode ser observado nos itens 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5 que existe uma inter-relação nos efeitos da temperatura do ar, umidade relativa, ventilação e radiação e que nenhum deles pode ser tratado isoladamente.

Em face disto, pode ser concluído que todos os fatores ambientais exercem influência no desempenho do frango.

ESMAY<sup>25</sup> define um conceito que engloba todas as variáveis ambientais que influem no desempenho das aves. Este conceito, porém, não tem caráter comparativo físico definido, apenas conceitual.

A "temperatura ambiental efetiva externa"<sup>25</sup> leva em consideração todos os parâmetros climáticos e não somente a temperatura do bulbo seco, mas também a do bulbo úmido, o movimento do ar, a radiação e a temperatura da circunvizinhança.

Através desta definição, ESMAY<sup>25</sup> desenvolveu um gráfico (figura 2.4) que mostra a variação das respostas da ave em função dos parâmetros ambientais.

A homeotermia da ave é definida pela faixa de temperatura situada entre a temperatura crítica inferior e temperatura crítica superior<sup>46</sup>, na qual a temperatura corporal é praticamente constante (segmento AB), (figura 2.4).

O segmento B'B define a faixa de temperatura onde a produção de calor é mínima, suficiente para manter a homeotermia, chamada zona de termoneutralidade. Nesta faixa de temperatura ambiental, a ave pode manter seu estado homeotérmico automaticamente com compensações físicas, através do controle físico de temperatura. A zona de termoneutralidade pode ser considerada como sendo a zona de conforto da ave. No ponto C a produção de calor é mínima. O corpo da ave se ajusta e ela não sente calor nem frio.

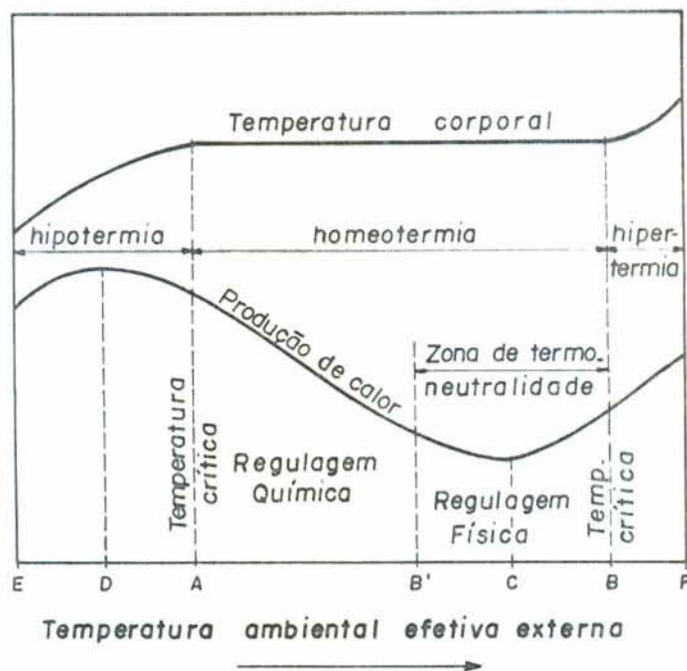


FIGURA 2.4 - Variação da produção de calor e temperatura corporal de uma ave adulta em função da temperatura ambiental efetiva externa.

O limite inferior de temperatura da zona de termoneutralidade, para uma ave adulta, está na faixa de 16,5 a 20°C. O limite superior não foi precisamente definido. Várias temperaturas foram sugeridas: 26°C, 27,5°C e até 34°C<sup>46</sup>.

Do limite inferior da zona de termoneutralidade até a temperatura crítica inferior do limite de homeotermia, segmento B'A (figura 2.4), cresce a produção de calor para compensar a perda. A ave torna-se mais ativa e consome mais alimento do que se estivesse exposta a uma temperatura dentro da zona de termoneutralidade. O controle químico da temperatura atua nesta faixa.

A partir do ponto A a temperatura corporal da ave começa a declinar.

No ponto D a produção de calor atinge o seu ponto máximo. Se a temperatura ambiente cair ainda mais, a perda não poderá ser balanceada com a produção de calor. A produção de calor e a temperatura corporal caem sensivelmente. Quando a perda de calor exceder a produção, haverá queda da temperatu-

ra corporal e a ave torna-se-ã hipotérmica. Morte por hipotermia ocorrerã certamente quando a temperatura ambiental efetiva externa atingir o ponto E.

Acima do limite superior da zona de termoneutralidade, ponto B, o crescimento da temperatura ambiental efetiva externa torna crítico mais rapidamente que o declínio das condições abaixo de B'. Redução metabólica não pode ser usada como meio de redução da perda de calor proveniente do corpo. A ave coloca seus meios reguladores de maximização de perda de calor em operação quando a temperatura ambiental efetiva externa cresce além do ponto B. Aqui inclui a maximização da perda de calor por meio evaporativo.

O crescimento das condições ambientais de B para F, traz um crescimento da temperatura corporal e com a quebra dos mecanismos reguladores, ocorre um aumento na produção de calor e um consequente aumento na temperatura corporal.

Quando a temperatura corporal atingir o limite letal superior, a ave já no estado de hipertermia, morrerã por excesso de calor.

### 3. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS PARA UMA MELHOR CONVERSÃO ALIMENTAR DOS FRANGOS DE CORTE

#### 3.1. Generalidades

O ambiente do animal é constituído por todas as condições externas que afetam seu desempenho, em termos de desenvolvimento, crescimento e resposta ao manejo aplicado. O ambiente térmico, parte crítica destas condições, afeta diretamente a produção e o crescimento dos animais domésticos, inclusive as aves. Estes animais, sendo homeotérmicos, como já foi citado anteriormente, necessitam manter um balanço entre o calor corporal produzido ou incorporado e o calor dissipado para o ambiente. A termovizinhança do animal tem uma influência marcante na quantidade de calor trocado entre o seu corpo e o ambiente, regulando assim o balanço térmico.

Stress por calor ou por frio é definido como qualquer combinação das condições ambientais que poderá causar temperatura efetiva do ambiente maior ou menor que a faixa de temperatura da zona termoneutral do animal<sup>12</sup>.

Os quatro maiores fatores ambientais que influenciam esta temperatura efetiva são a temperatura do bulbo seco, a umidade, a radiação e o movimento do ar. A exata combinação das condições ambientais, nas quais começam o stress por calor ou por frio, é difícil ou praticamente impossível de ser especificada para qualquer espécie animal, em particular, devido a falta de pesquisa aplicada.

O grau de efetividade das várias modificações das características de um determinado ambiente pode ser avaliado em termos de benefícios econômicos ou de conforto animal<sup>37</sup>.

A conversão alimentar será o indicador do principal desempenho, neste estudo.

### 3.2. Definição de Índices Higrotérmicos

#### 3.2.1. O Índice de Temperatura e Umidade - ITU

Na tentativa de prever o conforto ou desconforto animal em relação às condições ambientais, vários índices foram estabelecidos e usados. Em geral, somente dois parâmetros ambientais, a temperatura do bulbo seco e a umidade relativa, têm sido considerados.

Um índice de conforto bastante usual é o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), originalmente desenvolvido em 1958, por THOM<sup>51</sup> e citado por vários autores<sup>12,37,50</sup>.

O Índice de Temperatura e Umidade, ITU, é determinado pela equação:

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (3.1)$$

sendo:

$T_{bs}$  = temperatura do bulbo seco, K

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

O Índice de Temperatura e Umidade relata os efeitos combinados da temperatura do bulbo seco e umidade relativa para o conforto e desempenho animal<sup>12</sup>.

Sob condições de clima tropical e subtropical, um animal pode estar exposto a uma carga térmica de radiação maior do que sua produção de calor metabólico, resultando, portanto, em alto nível de desconforto.

Um animal mesmo estando sob abrigo coberto, embora não recebendo radiação solar direta, pode receber radiação solar indiretamente como radiação difusa do céu, ou energia refletida a partir do solo e objetos da circunvizinhança, bem como radiação térmica proveniente dos fechamentos aquecidos pela radiação solar.

A quantidade desta energia radiante recebida depende das características da instalação e da época do ano.

A figura 3.1 mostra os principais componentes da carga de radiação sobre a ave em um abrigo coberto<sup>50</sup>.

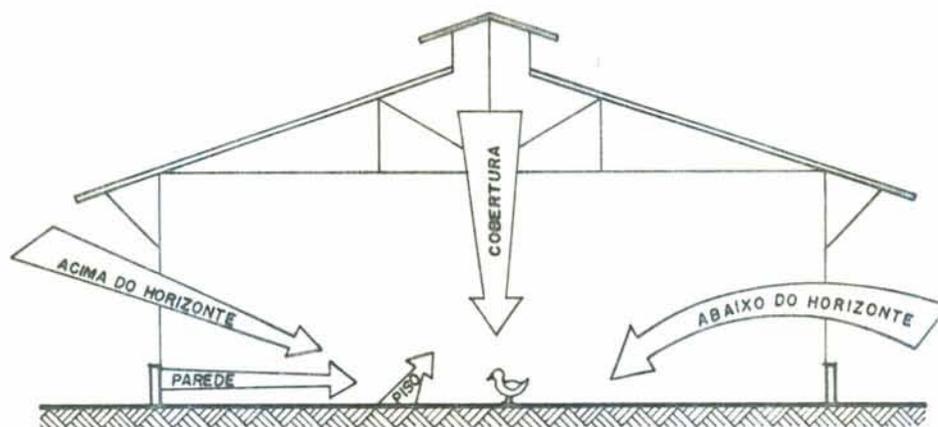


FIGURA 3.1 - Fontes de radiação recebida por um animal sob um abrigo.

O Índice de Temperatura e Umidade - ITU - não reflete a carga térmica radiante, portanto não pode ser usado para prever o desconforto e conseqüente perda de produção e reprodução dos animais em climas quentes<sup>37</sup>.

### 3.2.2. O Índice de Temperatura do Globo e Umidade - ITGU

Para corrigir este defeito apontado ao ITU, outro índice, conhecido como Índice de Temperatura do Globo e Umidade, ITGU, integra a temperatura do bulbo seco, a temperatura do bulbo úmido, a radiação e o movimento do ar. Este índice foi criado pela inclusão da temperatura do globo preto na equação do ITU, no lugar da temperatura do bulbo seco<sup>12, 37</sup>.

O termômetro de globo preto utilizado para determinar o ITGU e a carga térmica radiante é uma esfera enegrecida, diâmetro de 15 cm, em cujo interior aloja-se um termômetro, que fornece uma indicação dos efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar.

A diferença entre a temperatura do globo e a do ar reflete o efeito das radiações sobre a ave<sup>37</sup>.

O Índice de Temperatura do globo e Umidade, ITGU, resultou na equação:

$$ITGU = T_{gp} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (3.2)$$

sendo:

$$T_{gp} = \text{temperatura do globo preto em K}$$

$$T_{po} = \text{temperatura do ponto de orvalho em K}$$

### 3.3. Correlação entre ITGU e Conversão Alimentar: definição das Zonas Higrotérmicas

Considerando as referências bibliográficas de temperatura e conversão alimentar que influenciam o crescimento e desempenho das aves, foi traçada uma curva aproximada da relação entre conversão alimentar e ITGU. A figura 3.2 apresenta os resultados conseguidos.

Os valores do ITGU foram obtidos através das pesquisas referidas no mesmo gráfico. Pode ser observado:

i) uma dispersão importante nos dados coletados. As informações que permitiram montar o gráfico são de diferentes origens (linhagens de aves, marca de ração, países, pesquisadores, etc.) e isto pode explicar a dispersão observada;

ii) no entanto, é clara a tendência expressa pela curva. Os valores da conversão alimentar decrescem até uma faixa aproximadamente compreendida entre ITGU de 63 a 71, e a partir daí crescem rapidamente;

iii) através desta curva que usa como indicador do desempenho da ave a conversão alimentar, o autor definiu as zonas de ótimo rendimento, de rendimento compensatório e zona não rentável.

Na definição das zonas higrotérmicas foram usados os seguintes critérios:

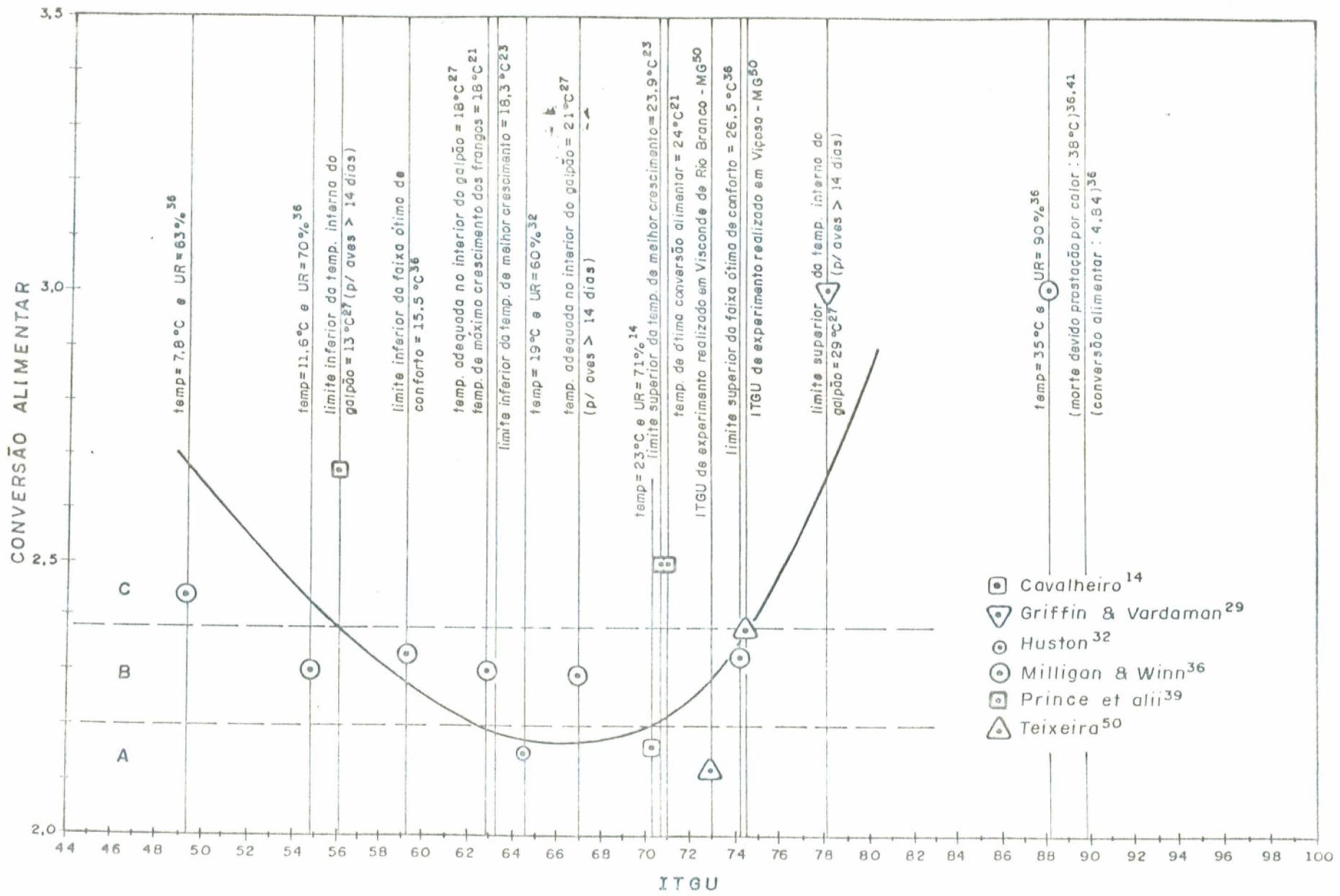


FIGURA 3.2 - Correlação entre ITGU e conversão alimentar dos frangos de corte.

Zona A: mínimos gastos de energia na regulação da temperatura corporal da ave. É a zona de termoneutralidade para ESMAY<sup>25</sup>. Regulagem da temperatura corporal através de mecanismos físicos.

Zona B: são necessários regulagem química além das físicas (superalimentação ou subalimentação e superingestão ou subingestão de água) para compensar déficit ou excesso de calor, para manter a homeotermia.

Zona C: os recursos da ave não são suficientes para manter a homeotermia. Surgirá hipotermia no caso do frio e hipertermia no caso de calor.

A tabela 3.1 apresenta o resumo das zonas de ótimo rendimento, rendimento compensatório e não rentável, em ITGU e temperatura do globo ( $^{\circ}\text{C}$ ), para vários níveis de umidade relativa, para frangos de corte da 4.<sup>a</sup> semana de idade até o abate (8.<sup>a</sup> semana), na situação de ar calmo ( $v \leq 0,1$  m/s).

TABELA 3.1 - Valores de ITGU, umidade relativa e temperatura para as zonas higrotérmicas A, B, C, na situação de ar calmo ( $v \leq 0,1$  m/s).

ITGU \ UR %	< 56	56	63	70,85	74	> 74
	Temperaturas do Termômetro de Globo (T <sub>gp</sub> )					
40	< 14,3	14,3	19,7	25,5	27,8	> 27,8
60	< 13,0	13,0	18,0	24,0	26,5	> 26,5
80	< 11,8	11,8	16,8	23,0	25,0	> 25,0
	A					
	B					
	C					

Para velocidade do ar igual a 0,1 m/s e umidade relativa de 60%, a zona de ótimo rendimento, A, corresponde a ITGU de 63 a 70,9 (18 a 24°C); a zona de rendimento compensatório, B, ITGU de 56 a 63 (13 a 18°C) e 70,85 a 74 (24 a 26,5°C) e zona não rentável, C, ITGU menor que 56 (temperatura menor que 13°C) e maior que 74 (temperatura maior que 26,5°C).

Segundo TEIXEIRA<sup>50</sup> os valores de ITGU, variando de 73,3 a 80,5, para o período de crescimento de 43 a 49 dias de idade das aves, refletiram um pior de 41% na conversão alimentar e uma redução de 37,2% no ganho de peso das aves, ocorrendo, portanto, um desconforto devido às condições de calor.

A figura 3.3, montada sobre o gráfico psicrométrico, mostra a inter-relação dos fatores ambientais temperatura, umidade relativa e movimento do ar, através das zonas higrotérmicas anteriormente definidas, para a situação normal de ar calmo ( $\leq 0,1$  m/s).

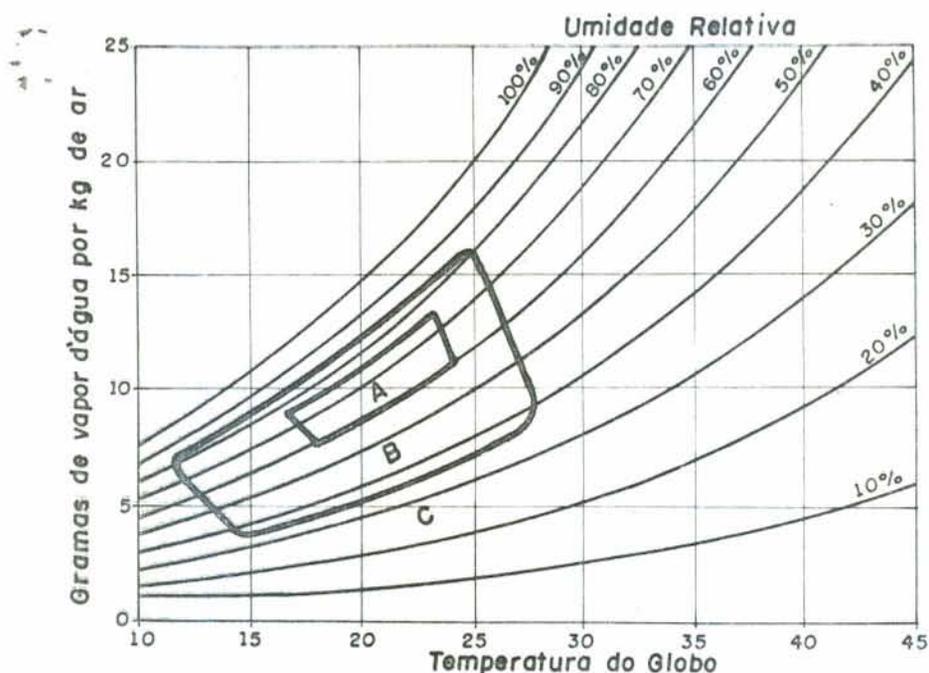


FIGURA 3.3 - Zonas higrotérmicas de conforto para a criação de frangos de corte, na situação de ar calmo ( $v \leq 0,1$  m/s).

### 3.4. Inclusão do Movimento do Ar na Ampliação das Zonas Higrotérmicas

Considerando a limitação dos dados disponíveis no que se refere à escassez de informações e pesquisas no setor avícola, foi feita uma tentativa de estabelecer uma correlação entre o movimento do ar e a ampliação da zona de conforto da ave. O método usado está representado na figura 3.4.

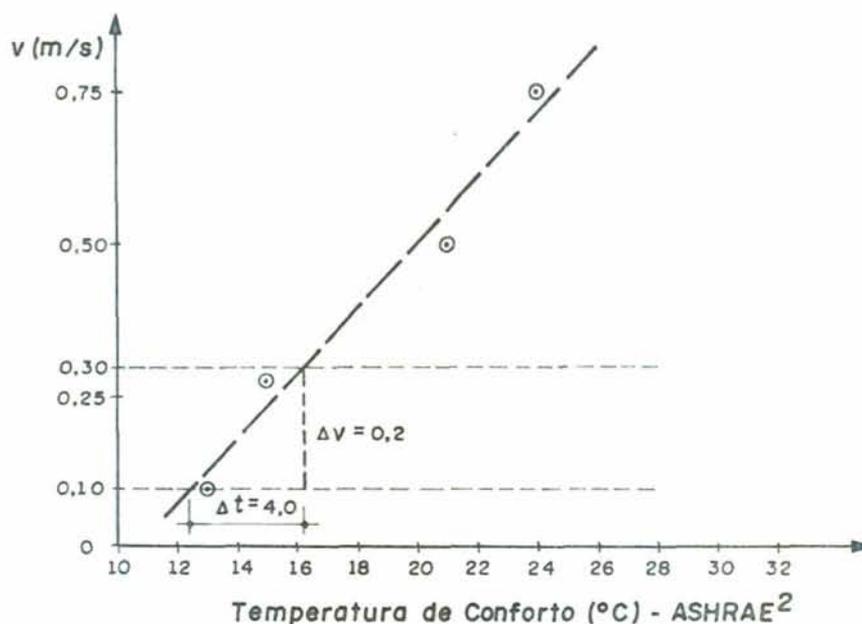


FIGURA 3.4 - Correlação entre temperatura ambiente (°C) e velocidade do ar (m/s), de preferência dos frangos, aos 28 dias de idade<sup>2</sup>.

A fundamentação do método se baseia numa comprovada linearidade na correlação  $\Delta v \rightarrow \Delta t$  (aumento da temperatura de conforto das aves), se bem que dentro de limites restritos a baixas velocidades.

Os objetivos limitados deste método são:

i) incorporar a variável  $v$  nas condições de conforto para baixas velocidades do ar;

ii) ampliar as zonas A e B do gráfico de conforto (figura 3.3).

Considerando que velocidade de movimento do ar acima de 0,3 m/s não é possível de ser conseguida de maneira constante, por meios naturais, ao nível dos frangos, esta foi considerada a máxima velocidade na ampliação da zona de conforto.

Pela figura 3.4, a seguinte relação é obtida:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{4^{\circ}\text{C}} = 0,05 \left[ \frac{\text{m/s}}{^{\circ}\text{C}} \right], \text{ o que permite estimar os novos}$$

valores de ITGU e os limites de temperatura do globo para as zonas higrotérmicas ampliadas.

A tabela 3.2 apresenta o resumo de ITGU, temperaturas do globo ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa (%), para as zonas de ótimo rendimento, A, rendimento compensatório, B, e zona não rentável, C, para frangos de corte, da 4.<sup>a</sup> a 8.<sup>a</sup> semana de idade, para velocidade do ar de 0,3 m/s.

TABELA 3.2 - Valores de ITGU, umidade relativa e temperatura para as zonas higrotérmicas A, B, C, para velocidade do ar igual a 0,3 m/s.

ITGU \ UR %	ITGU	< 61,44	61,44	68,24	76,22	79,62	> 79,62
	Temperaturas do Termômetro de Globo (T <sub>gp</sub> )						
40	< 18,5	18,5	23,5	29,5	32,0	> 32	
60	< 17,0	17,0	22,0	28,0	30,5	> 30,5	
80	< 16,0	16,0	21,0	27,5	29,5	> 29,5	
				A			
				B			
				C			

A variação de ITGU da tabela 3.1, quando comparado aos valores do ITGU da tabela 3.2, reflete o efeito da ampliação da velocidade do ar de 0,1 m/s para 0,3 m/s e a consequente ampliação das zonas higrotérmicas de desempenho das aves.

A figura 3.5 apresenta na carta psicrométrica as zonas de conforto ampliadas, para velocidade do movimento do ar de 0,3 m/s.

As faixas A, B, C, definidas pelo autor, representam, respectivamente, as zonas de ótimo rendimento, rendimento compensatório e zona não rentável, para velocidade do ar de 0,3 m/s.

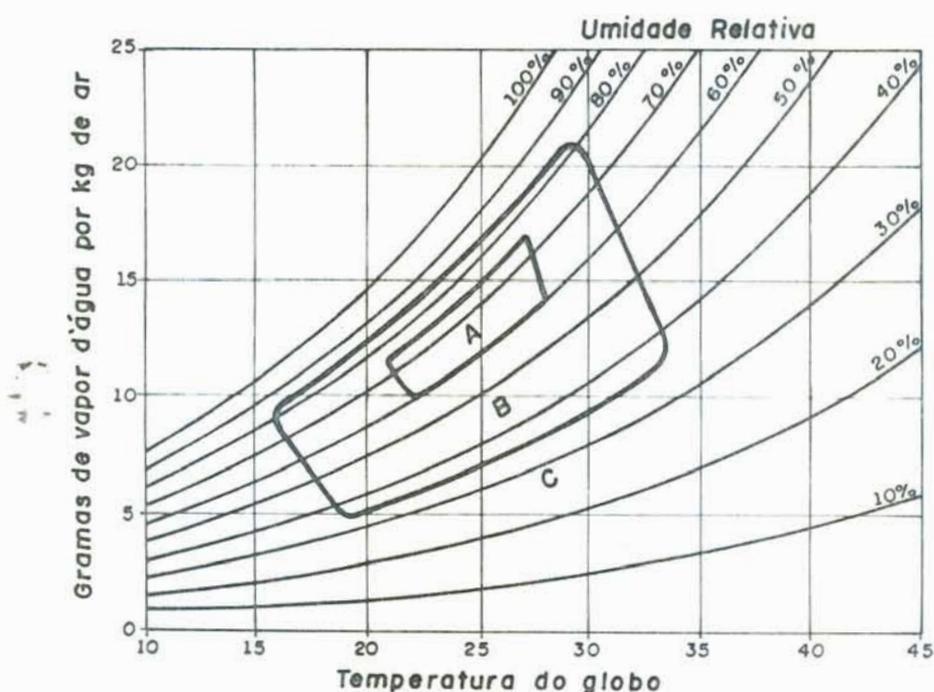


FIGURA 3.5 - Zonas higrotérmicas de conforto das aves ampliadas pelo movimento do ar.

Pelo exposto, ao incorporar o fator ambiental movimento do ar nos limites aconselhados, pode-se ampliar, à medida que aumenta a velocidade do ar, a zona de conforto das aves.

A figura 3.6 mostra o efeito da velocidade do ar nas zonas higrotérmicas quando a velocidade passa de 0,1 m/s para 0,3 m/s.

A inclinação das retas reflete o efeito da ampliação da velocidade do ar e a conseqüente alteração das zonas de conforto.

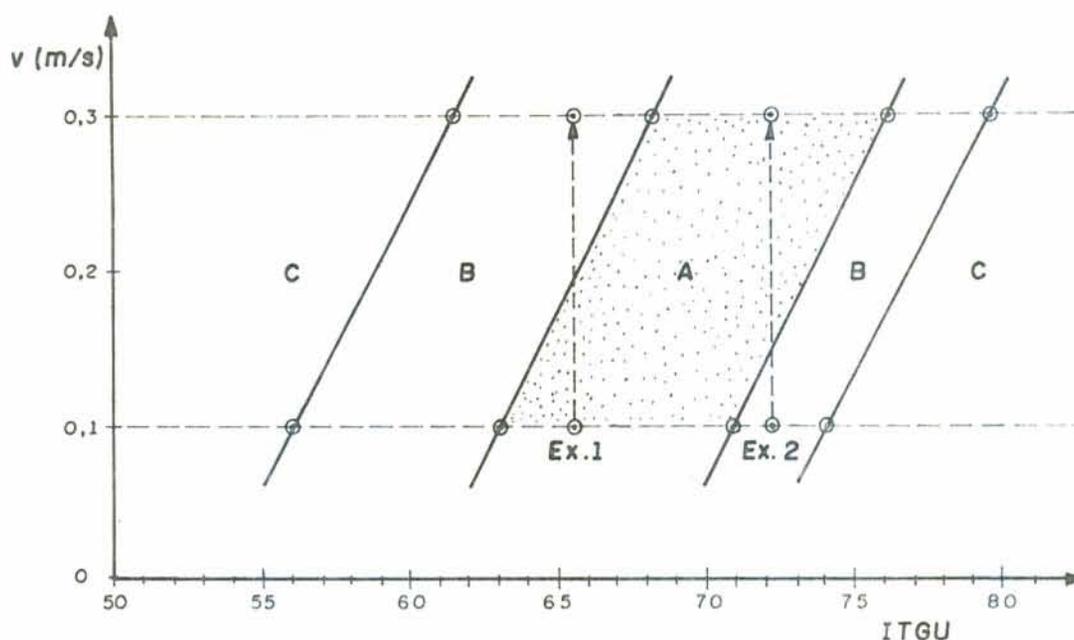


FIGURA 3.6 - Efeito da velocidade do ar na ampliação das zonas de conforto das aves.

No exemplo 1, tem-se que para uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa de 60%, o índice de temperatura do globo e umidade, ITGU, é de 65,5. Pela figura 3.6 este valor encontra-se dentro da zona de ótimo rendimento, A, quando a velocidade do ar é 0,1 m/s (ar calmo). Se a velocidade do ar for ampliada para 0,3 m/s, este índice não mais pertencerá à zona de ótimo rendimento, A, e se situará na zona de rendimento compensatório, B. Certamente as aves terão pior conversão alimentar e menor ganho de peso, quando comparadas às de um ambiente com as mesmas condições higrótêmicas e com velocidade do ar igual a 0,1 m/s.

Quando o ar está calmo e a temperatura está acima da faixa de conforto e se situa na zona de rendimento compensatô-

rio, com a ampliação da velocidade do ar para 0,3 m/s, este ambiente tornar-se-á ótimo para o desempenho das aves.

No exemplo 2, para uma temperatura de 25°C, umidade relativa de 60%, o Índice de Temperatura do Globo e Umidade, ITGU, é de 72,2. De acordo com a figura 3.6, este valor encontra-se na zona de rendimento compensatório, B, quando a velocidade do ar é de 0,1 m/s. Ampliando a velocidade do ar para 0,3 m/s, este valor de ITGU, 72,2, se situará na zona de ótimo rendimento, A.

## 4. TIPIFICAÇÃO DE SITUAÇÕES CLIMÁTICAS NO BRASIL

### 4.1. Generalidades

Pelo fato de ser cortado pela linha do Equador e pelo trópico de Capricórnio, o Brasil apresenta uma dominante em seu clima: a tropicalidade. Apenas no sul do país esta característica desaparece, surgindo o clima subtropical<sup>35</sup>.

Grandes domínios climáticos caracterizam o Brasil, abrangendo os climas quentes e úmidos, quentes e secos, tropicais de altitude e subtropicais<sup>33</sup> e cada um apresenta suas características próprias e marcantes.

Devido a esta predominância de tropicalidade climática, os animais domésticos estão sujeitos a condições ambientais que provocam stress por calor praticamente ao longo de todo o ano.

Nas áreas subtropicais, geralmente, se evidencia stress por calor e por frio em épocas distintas do ano.

Produção racional dos animais domésticos tem sido um grande desafio nas áreas tropicais e subtropicais devido a alta carga de calor. Neste desafio envolve a participação da comunidade técnico-científica do ramo, no sentido de se produzir animais mais resistentes, de maior potencial genético e de se conseguir instalações adequadamente projetadas, para um melhor desempenho destes animais. Segundo OLIVEIRA & ESMAY<sup>37</sup> aliviar o stress por calor (e por frio) através da modificação do ambiente, em áreas tropicais (e subtropicais), pode ser um importante passo na solução deste desafio.

Para que se possa fazer um mapeamento da aptidão climática ou uma tipificação de situações climáticas para avicultura, é necessário, primeiramente, conhecer as exigências para o ótimo desempenho das aves e as características climáti-

cas de cada região.

Sendo a avicultura comercial uma atividade intensiva, torna-se essencial corrigir, o máximo possível, as condições adversas do clima em seus aspectos macroclimáticos. Os elementos do clima, como temperatura, umidade do ar, radiação, poderão ser atenuados microclimaticamente, através da utilização de instalações construídas com meios de proteção adequados.

Considera-se que em região de condições macroclimáticas mais favoráveis serão mais simples e mais baratas as medidas de proteção a serem dispensadas ao aviário, para condicionar seu microclima. Em regiões com clima menos favorável, maiores e mais dispendiosas serão as medidas de proteção necessárias.

As características do clima vão decidir, em maior grau, se a região climática é considerada apta, marginal ou inapta, para o desenvolvimento racional e econômico da avicultura.

#### 4.2. Parâmetros Climáticos Adotados

Para definir os parâmetros climáticos para a avicultura de corte, neste trabalho foi seguido com algumas modificações o zoneamento climático proposto por ZIRLIS et alii<sup>53</sup> para a avicultura no estado de São Paulo.

Foi também observado, em termos de realidade brasileira, as características climáticas das regiões onde a criação de aves encontra-se desenvolvida e explorada intensivamente.

Para a avicultura de corte foram adotados os seguintes parâmetros:

- i)  $t_{mq}$  → temperatura média do mês mais quente, em  $^{\circ}C$ ;
- ii)  $t_{mf}$  → temperatura média do mês mais frio, em  $^{\circ}C$ ;
- iii)  $UR_a$  → umidade relativa média anual, em %.

- Valores de  $t_{mq}$  superiores a  $25^{\circ}\text{C}$  correspondem a marginalidade climática por excesso de calor. Esta condição indica que a região está sujeita a verões muito quentes, com períodos de temperaturas demasiadamente elevadas, provocando stress frequente nas aves.

- Valores de  $t_{mf}$  inferiores a  $14^{\circ}\text{C}$  indicam que a região está sujeita a invernos muito frios, requerendo dispositivos especiais de proteção nas instalações, porém não constituem marginalidade térmica climática.

- Valores de  $UR_a$  elevados, entre 80 e 85%, embora ainda corresponda à aptidão térmica climática, poderão trazer restrições por excesso de umidade. Valores de  $UR_a$  superiores a 85% indicam umidade atmosférica excessiva, trazendo problemas sanitários e marginalidade climática.

Os demais fatores térmicos citados, radiação e movimento do ar, não foram considerados na definição dos parâmetros climáticos. A radiação solar, sob a forma direta ou indireta, influencia a temperatura do ar e esta já foi considerada. O ar, por não ter velocidade constante e movimento frequente, não pode ser considerado como fator capaz de tornar uma região climática apta ou marginal à avicultura.

Salienta-se, no entanto, que a redução da influência da radiação solar no microclima interno da instalação e o movimento do ar têm caráter importante na ampliação da zona de conforto das aves. A velocidade e direção predominante do ar devem ser consideradas, para tornar o ambiente mais adequado ao desenvolvimento das aves.

#### 4.3. Situações Climáticas Tipificadas

- i) Faixa A: Plenamente APTA: -  $t_{mq}$  inferior a  $25^{\circ}\text{C}$ ;  
 -  $t_{mf}$  superior a  $14^{\circ}\text{C}$ ;  
 -  $UR_a$  inferior a 80%.

As condições de temperatura e umidade atmosférica são satisfatórias.

- ii) Faixa B: APTA, com restrições devido ao excesso de umidade atmosférica. As condições térmicas são idênticas às da faixa A.  $UR_a$  entre 80 a 85%. A umidade atmosférica elevada pode trazer problemas sanitários com certa frequência.
- iii) Faixa C: APTA, com restrição devido ao frio:  $t_{mf}$  inferior a  $14^{\circ}\text{C}$ . Temperaturas muito baixas frequentes no inverno.
- iv) Faixa D: MARGINAL, por excesso de umidade atmosférica:  $UR_a$  superior a 85%. Umidade relativa demasiadamente elevada, ocasionando problemas sanitários.
- v) Faixa E: MARGINAL, por excesso de calor;  $t_{mq}$  superior a  $25^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas demasiado elevadas são frequentes no verão, trazendo problemas de stress por calor.

## 5. DESEMPENHO TÉRMICO DOS GALPÕES PARA A CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

### 5.1. Introdução

O enfoque do desempenho das construções é feito de acordo com as recomendações metodológicas do CIB - Conseil International du Bâtiment - através do confronto de duas vertentes:

. de uma parte as exigências estabelecidas pelo usuário, neste caso as exigências de máximo rendimento na conversão alimentar (relação produção/consumo).

. da outra parte as exigências do meio ambiente, as exigências climáticas.

Deste confronto serão postos em evidência os desempenhos requeridos ao edifício e a seus elementos componentes, para que o microclima seja aceitável.

Nesta metodologia nos capítulos 3 e 4 já houve a discussão e elaboração das duas vertentes do problema, com o que nos resta abordar o estabelecimento das exigências de desempenho térmico dos galpões de criação de aves.

O objetivo deste capítulo será então estabelecer os desempenhos exigidos ao galpão, visando colocar sua temperatura interna mais próxima da zona de ótimo rendimento, definida no capítulo 3, para as situações climáticas brasileiras.

A hipótese que organiza esta abordagem é a de que nas condições climáticas brasileiras o problema térmico principal, colocado aos galpões de criação, é o da redução da carga térmica originária das radiações solares. Outros problemas térmicos ficam resolvidos no bojo deste, ou podem sê-lo com singelos dispositivos.

Esta hipótese foi baseada nas seguintes considerações:

i) A observação do mapa de isotermas do país<sup>6</sup> mostra que os valores médios dos meses mais frios pouco ultrapassam o limite inferior da zona de rendimento compensatório ( $\geq 12^{\circ}\text{C}$ ), ver capítulo 3), para galpões convencionais nas regiões da pesquisa referida, exceto em determinadas áreas de altitudes mais elevadas situadas ao sul do país. Nestas áreas a avicultura de corte encontra-se, porém, em franco desenvolvimento. Isto se explica porque, embora exijam condições especiais, não podem ser consideradas como áreas de marginalidade climática, uma vez que se obtém rendimento compensatório com dispositivos de proteção ao frio, simples e baratos. Resulta fácil controlar o frio nestas condições.

ii) Entretanto são muito extensas as áreas do território onde as temperaturas médias dos meses mais quentes, conjugadas com altas umidades relativas, determinam a impossibilidade de criação industrial de aves, tanto por razões sanitárias quanto pelo baixo rendimento.

Disto depreende-se de imediato que a fronteira de ampliação da produção está limitada fundamentalmente pelos problemas de calor.

As exigências colocadas ao galpão nas margens limitantes por calor e por frio, podem ser consideradas as seguintes:

Quando se trata do problema de calor excessivo, expresso pelas médias das máximas temperaturas do ar, é evidente que as radiações solares incidentes sobre o telhado de forma predominante constituem o principal problema, pois representam sempre um incremento líquido sobre as temperaturas do ar. Nestas condições, como já foi analisado no capítulo 2, a ventilação se faz imprescindível. Com isto o galpão deve ser aberto amplamente nas faces laterais e ainda na cumeeira, de onde a temperatura interna do ar só poderá ser, na melhor das hipóteses, igual à do ar externo. Ao edifício somente lhe resta procurar a minimização dos incrementos térmicos devidos ao sol. Pouco se pode esperar de recursos baseados na inércia térmica do local, nas condições de uma altíssima taxa de ventilação.

No outro extremo, quando se trata do problema de frio, expresso pelas médias das mínimas dos meses frios, encontramos-nos frente a uma situação mais complexa. Os valores mínimos das temperaturas do ar ocorrem nas horas da madrugada ou em conjunção com ausência das radiações solares. Disto concluimos que neste caso interessa que o galpão tenha condições de isolar seu microclima interno, vedando as perdas do calor gerado ou acumulado durante o dia, para o meio externo. Nesta circunstância o galpão deve atender as duas vias principais de saída do calor: a ventilação e o telhado. Quanto a isto, adiante serão estudadas técnicas adequadas. Nesta situação, continua sendo válido como objetivo principal a redução da carga térmica solar? Para responder é preciso observar que entre as características climáticas destas mesmas regiões de invernos frios, com exceção de zonas frias devido a altitude (mais de 800 metros acima do nível do mar), está a de possuir também verões quentes. Observe-se as zonas sobre o Rio Uruguai na fronteira sul, com verões de temperatura média das máximas acima de  $30^{\circ}\text{C}$ <sup>6</sup>. Isto significa que durante vários meses ocorre uma situação muito semelhante a analisada para climas quentes. A diferença radica em que o galpão deverá contemplar as duas situações. Felizmente isto é possível, na medida em que a luta por impedir a penetração do calor das radiações solares é compatível, em seus recursos técnicos, com a luta para impedir a saída do fluxo térmico nas condições de inverno, como será analisado adiante.

Após estas considerações ficou demonstrado que o enfoque central da análise do desempenho térmico do galpão deve ser a redução dos efeitos das radiações solares sobre o microclima interno, já que sua solução é chave para ampliar as áreas produtivas e tem validade sobre todo o território nacional, seja durante alguns meses ou todo o ano.

O enfoque terá como consequência a seguinte ordem:

- i) Caracterização e quantificação das radiações solares.
- ii) A redução do efeito térmico das radiações solares através da cobertura e laterais do galpão.

iii) Análise e compatibilização de soluções em situações de frio.

## 5.2. Caracterização e Quantificação das Radiações Solares

### 5.2.1. Caracterização da Radiação Solar e de Onda Longa

A radiação solar é uma fonte térmica emitida a milhares de graus (cerca de  $5.500^{\circ}\text{C}$ ), com características bem diferentes da radiação emitida por corpos aquecidos a baixa temperatura (geralmente menor que  $100^{\circ}\text{C}$ ). A radiação solar tem o máximo de energia nas ondas curtas, enquanto a radiação a baixas temperaturas tem o máximo de energia nas ondas de grande comprimento. A figura 5.1 mostra, como ilustração, o espectro da radiação solar e da radiação a baixas temperaturas<sup>19</sup>.

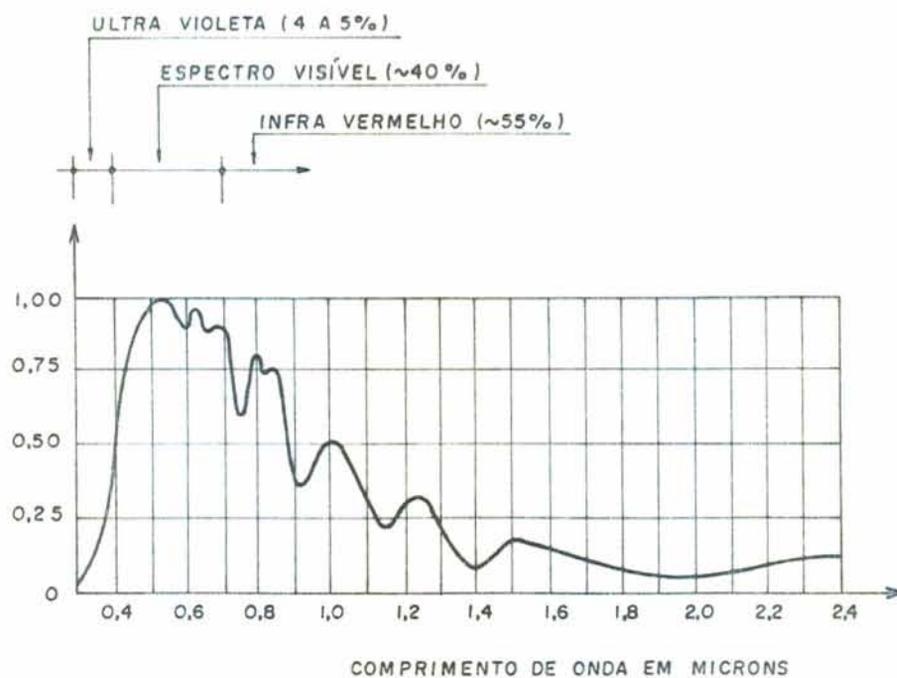
Ao atravessar a atmosfera, mesmo perpendicularmente, as radiações solares sofrem uma redução devido à turbidez da mesma, a qual em dias completamente límpidos (na espessura correspondente à vertical - ZENITE) varia de 0,72 a 0,79, ou seja, é retido 1/4 do que atinge o topo da atmosfera até chegar ao nível do mar.

Quando as radiações solares não incidem perpendicularmente à superfície, a energia recebida por metro quadrado fica reduzida em função do cosseno do ângulo de inclinação dos raios solares<sup>15</sup>. Assim sendo, a intensidade de energia recebida, em um determinado local, depende da orientação do plano, da latitude, do mês do ano, da hora, da altitude sobre o mar e da turbidez da atmosfera.

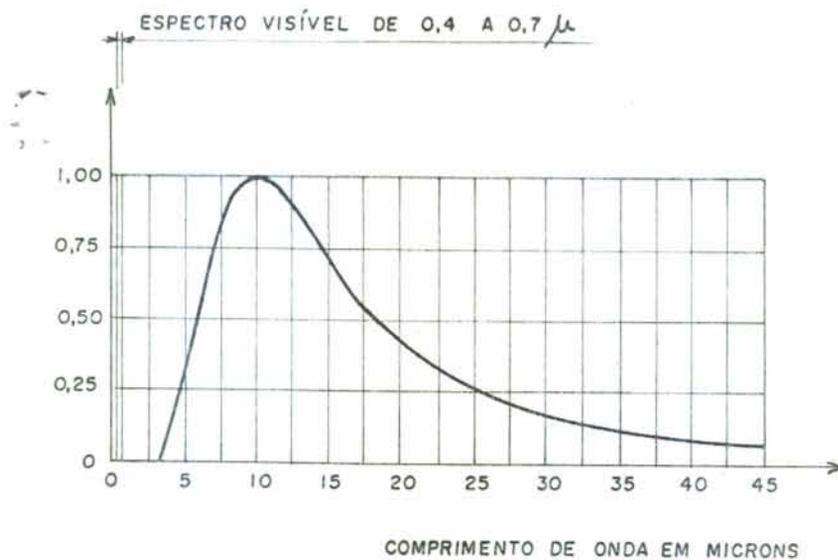
Os aspectos relativos ao movimento aparente do sol serão analisados no item seguinte.

Vejamos agora os aspectos relativos à transmissão de energia térmica das radiações solares.

Um balanço detalhado da energia que atinge o topo da atmosfera e que chega à superfície da terra, pode ser colocado em forma gráfica na figura 5.2<sup>52</sup>.



a) Distribuição percentual da radiação solar.



b) Radiação de um corpo negro à temperaturas comuns na construção.

FIGURA 5.1 - Espectro da radiação solar e radiação à temperaturas comuns.

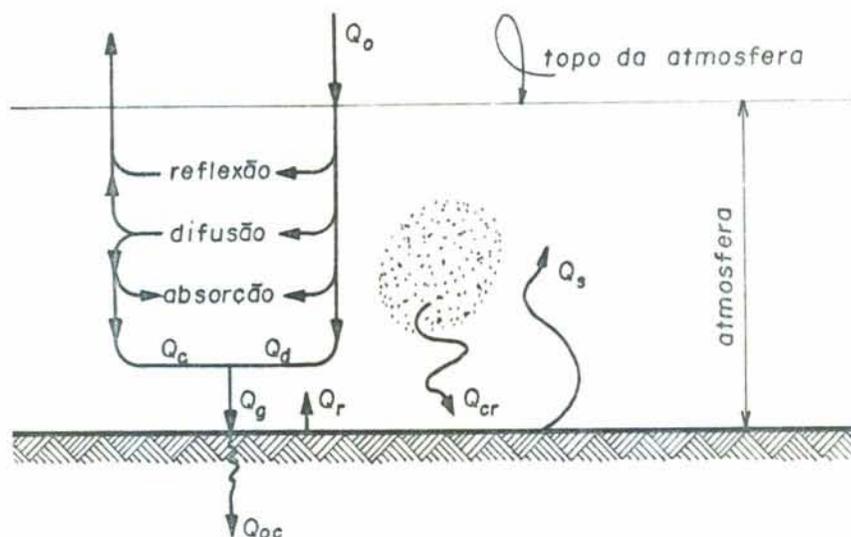


FIGURA 5.2 - Componentes do balanço de radiação da superfície terrestre.

$Q_0$  → radiação solar que chega a uma superfície horizontal no topo da atmosfera;

$Q_d$  → radiação solar direta: parte da radiação solar que atinge diretamente a superfície terrestre;

$Q_c$  → radiação solar difusa do céu: parte que atinge a superfície terrestre após sofrer o processo de difusão;

$Q_g$  → radiação solar global: os dois fluxos ( $Q_d + Q_c$ ) chegam à superfície concomitantemente e representam o total de radiação solar que atinge a superfície terrestre;

$Q_{oc}$  → radiação solar absorvida: parte da radiação solar global que é absorvida pela superfície terrestre;

$Q_r$  → radiação solar refletida: parte da radiação solar é refletida.

A expressão  $Q_{oc} = Q_g - Q_r$  representa a diferença entre o recebimento e a devolução da radiação solar, ou seja, o balanço de radiação de ondas curtas.

$Q_s$  → radiação terrestre: a superfície terrestre emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas não visíveis (longas);

$Q_{cr}$  → contra-radiação: fluxo de radiação, de origem atmosférica, que é totalmente absorvido pela superfície terrestre.

O balanço de radiação de ondas longas ( $Q_{ol}$ ) é representado por:  $Q_{ol} = Q_{cr} - Q_s$ .

O balanço de radiação de ondas curtas e longas ( $Q$ ) é determinado por:

$$Q = Q_{oc} + Q_{ol}$$

que é denominado balanço de radiação ou saldo de radiação.

O balanço de radiação  $Q$  representa o total de radiação que é absorvido pela superfície terrestre e que será usado na geração dos fenômenos meteorológicos, na composição da temperatura ambiente e nos fenômenos químicos e biológicos que exigem energia solar.

Pelo exposto podemos considerar somente duas fontes principais de emissão: uma é o sol, o corpo de alta temperatura, que é o emissor de ondas curtas; a outra é composta por todos os corpos que nos rodeiam ou fontes de baixa temperatura, que emitem ondas longas.

### 5.2.2. Movimentos Aparentes do Sol

A terra realiza em relação ao sol dois movimentos:

. o primeiro, de rotação ao redor de um eixo  $P_n P_s$ , que passa pelos seus polos, faz com que um ponto de sua superfície seja iluminado periodicamente pelo sol, originando o dia e a noite;

. o segundo, de translação ao redor do sol, com o eixo  $P_n P_s$  permanecendo praticamente paralelo a si mesmo, provoca um aquecimento desigual dos hemisférios ao longo do ano, originando as estações (figura 5.3).

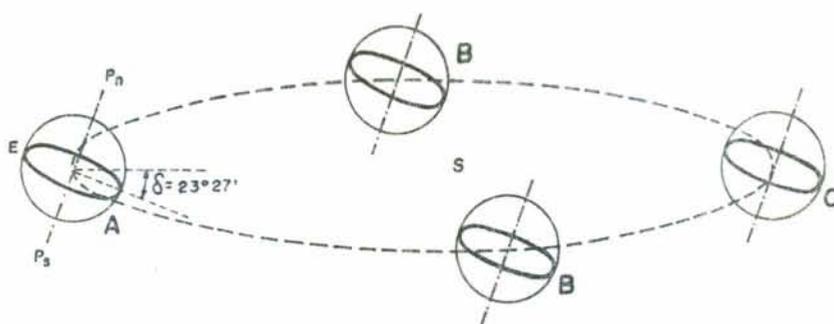


FIGURA 5.3 - A maneira como a terra gira ao redor do sol originando as estações.

Como resultado destes dois movimentos um observador na terra vê o sol descrevendo trajetórias aparentes no céu, que variam dia a dia.

Suponhamos que o ponto P representa um observador na terra, às latitudes de  $0^{\circ}$  (figura 5.4.a) e  $33^{\circ}\text{S}$  (figura 5.4.b), cujo círculo maior é a esfera celeste onde, em forma aparente para o indivíduo, se movimentam os astros e o plano  $P_h$ , o plano horizontal.

Os movimentos simultâneos da terra, rotação e translação, fazem com que o observador veja o sol segundo trajetórias aparentes; A, B e C são as mais representativas, correspondendo às posições indicadas na figura 5.3.

Observando 5.4.b, podemos dizer que:

- . 22 de junho é o dia mais curto do ano no hemisfério sul. O sol sai em F e se oculta em G, cujo ângulo em relação ao norte é igual ao de F.

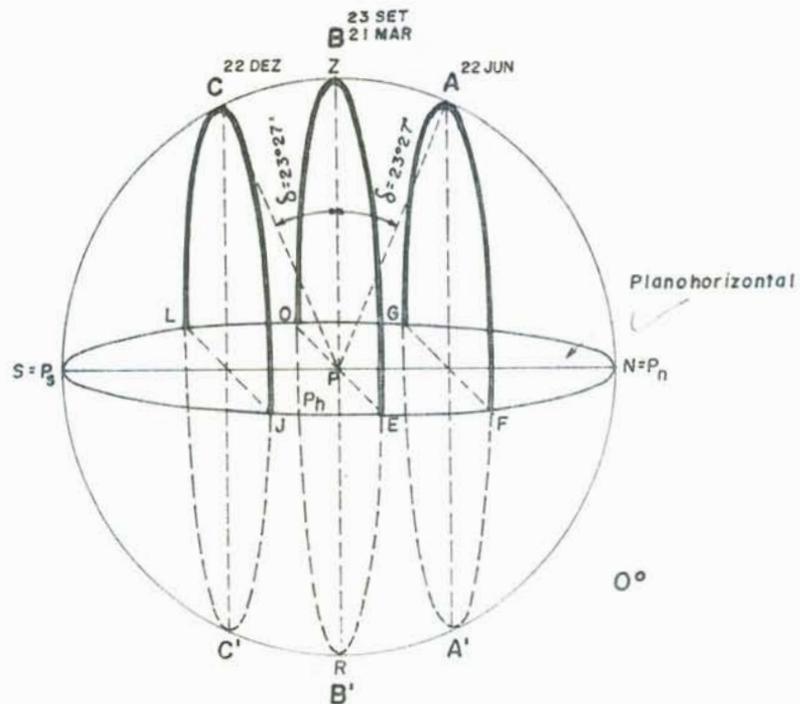
- . A partir desta data o plano das trajetórias vai se aproximando do equador celeste B, com o qual coincide o dia 23 de setembro.

- . Em 22 de dezembro a trajetória aparente é a C. O sol sai em J e se oculta em L. A duração do dia é a maior do ano.

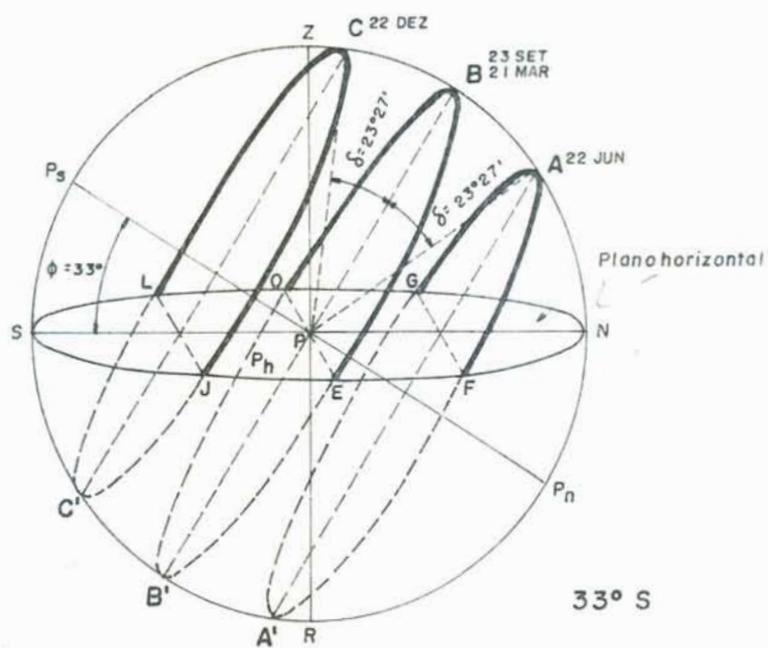
- . A partir deste momento começa o movimento inverso, em 21 de março a trajetória é novamente B, até que, posterior-

mente, a 22 de junho, chega a A, completando o ciclo anual de variações.

Em 5.4.a os dias 22 de junho e 22 de dezembro têm a mesma duração.



a)



b)

FIGURA 5.4 - Representação gráfica dos movimentos relativos do sol nas latitudes de  $0^\circ$  e  $33^\circ S$ .

As posições extremas do local (A e C) chamam-se solstícios e correspondem, respectivamente, aos invernos e verões (22 de junho - 22 de dezembro). À posição média, B, chamam-se equinócios e correspondem, respectivamente, a primavera (23 de setembro) e outono (21 de março), em cujas datas a duração do dia é igual à noite.

A duração do dia, entretanto, aumenta no verão e diminui no inverno, com o aumento da latitude.

As coordenadas do sol no hemisfério celeste são o azimute ( $A_z$ ) - ângulo que se forma com o meridiano do norte - e a altura (H) - ângulo que se forma com o plano horizontal (figura 5.5).

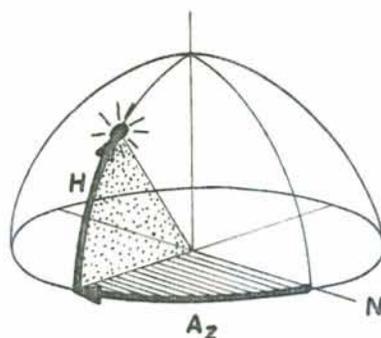


FIGURA 5.5 - Coordenadas do sol.

A terra gira em torno do sol numa determinada faixa ((a "faixa do zodíaco"), figura 5.6) <sup>4</sup>, ocupando diversas posições todos os dias, descrevendo órbitas circulares diferentes, porém repetidas duas vezes ao ano. A inclinação desta faixa depende da latitude do ponto de observação sobre a terra.

A maneira mais operativa de representar as trajetórias aparentes do sol é através da projeção estereográfica sobre o plano do horizonte (figura 5.7), o que permite visualizar no plano as diferentes posições do sol, hora a hora, durante todo o ano. Para exemplificar, colocamos nas figuras 5.8.a e 5.8.b, a projeção estereográfica resultante para as latitudes extremas que existem no Brasil ( $0^{\circ}$  e  $33^{\circ}$ S). A aplicação destas projeções será vista posteriormente.

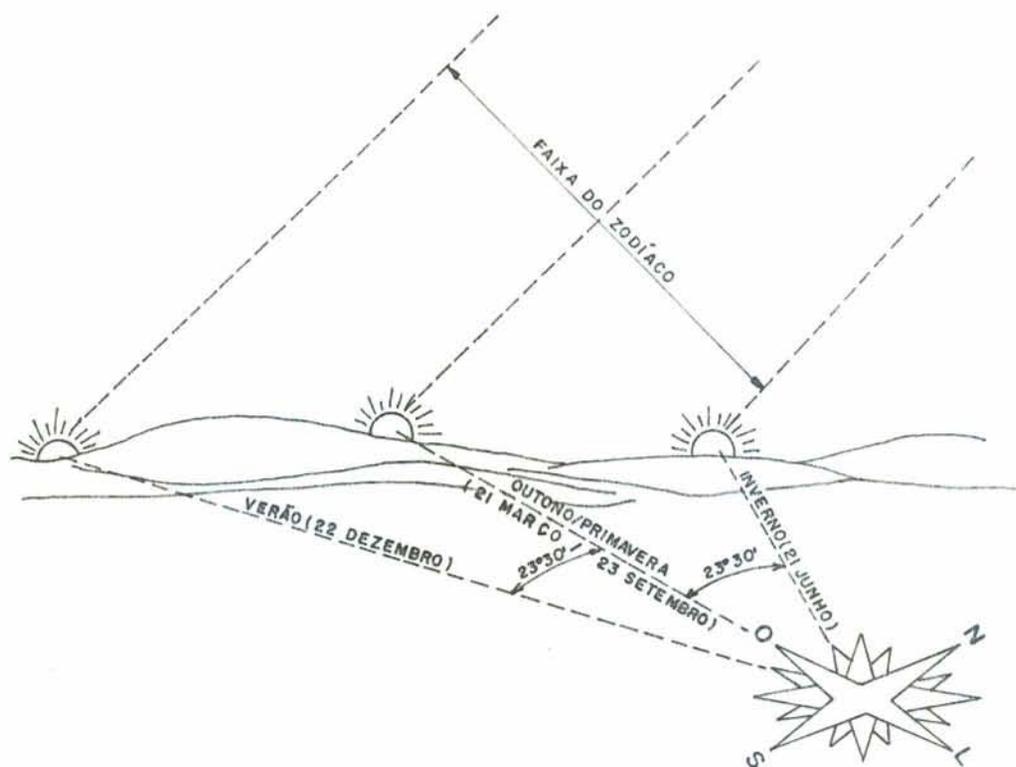


FIGURA 5.6 - Faixa do zodíaco.

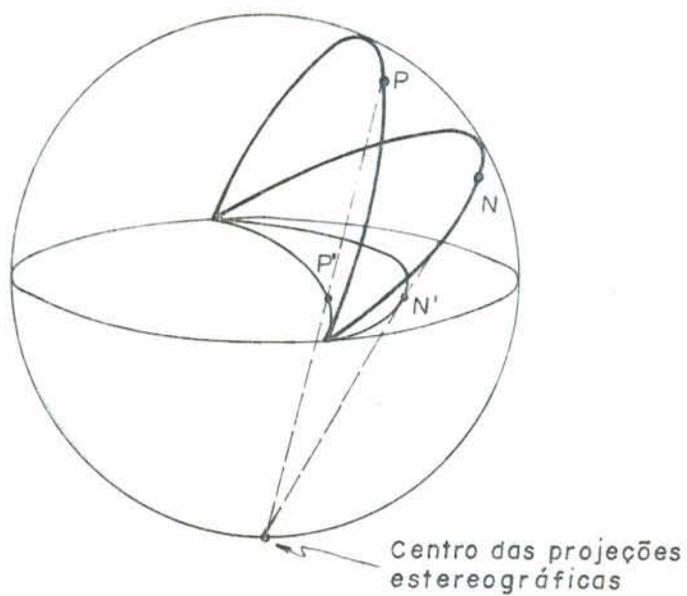
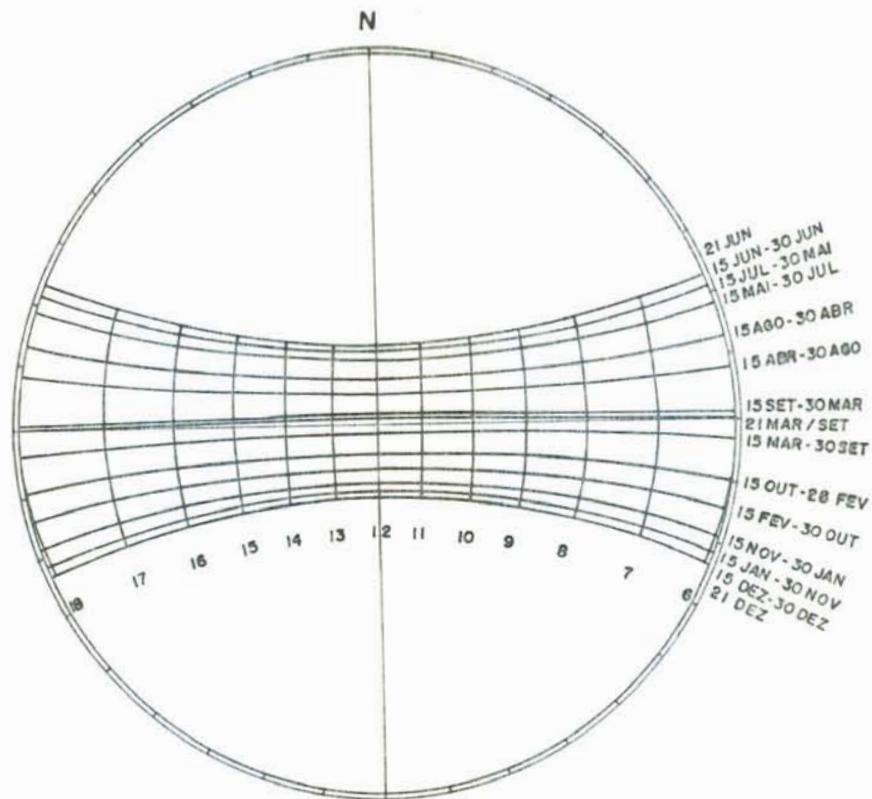
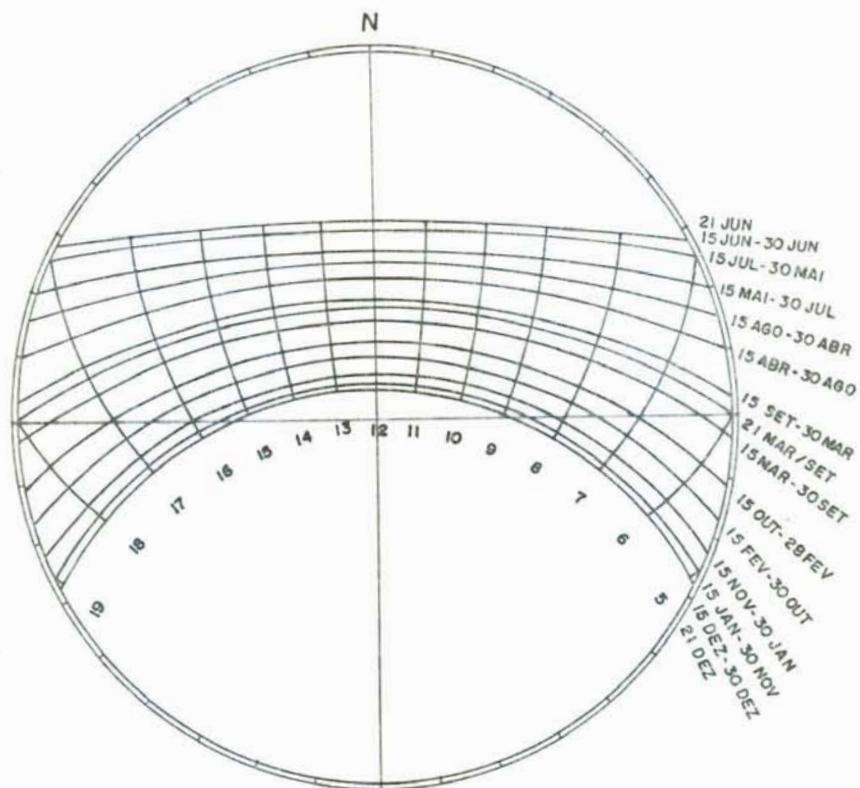


FIGURA 5.7 - Sistema de projeções estereográficas para a representação do movimento do sol.



a) Latitude 0°



b) Latitude 33°S

FIGURA 5.8 - Projeções estereográficas das trajetórias do sol para as latitudes de 0°(a) e 33°S(b).

### 5.2.3. Quantificação das Radiações Solares

A quantidade de energia solar que atinge a camada externa da atmosfera tem uma intensidade quase constante. Ao penetrar nela e incidir sobre os gases, vapores e poeiras que a compõem, os raios sofrem processos de absorção, reflexão e difusão e modificam a quantidade de radiação direta que atinge a superfície terrestre.

Na atmosfera a radiação é absorvida em função do seu comprimento de onda. A maior parte dos raios ultra-violeta (menores que 0,4 micron) e todos os raios de comprimento menor que 0,288 micron são absorvidos pelo ozônio e a maioria dos raios infra-vermelhos é absorvida pelo vapor d'água e dióxido de carbono<sup>26</sup>.

Na difusão, um raio qualquer ao chocar-se com uma molécula do ar dispersa-se em todas as direções, originando a radiação difusa que recebemos e ao que chamamos de abóbada celeste ou céu. As moléculas do ar dispersam em maior proporção as ondas de menor comprimento, as azuis e violetas, originando a cor azul do céu claro<sup>26,43</sup>. A energia difusa provém de todas as regiões do espaço. Por isto a quantidade que incide sobre um plano varia em menor escala com a sua orientação e depende, principalmente, da posição do sol e da nebulosidade. Os céus muito claros emitem pouca energia difusa, o que aumenta com a quantidade de nuvens, embora a partir de certo limite começa a diminuir até chegar a valores muito baixos quando o céu se apresenta tomado de nuvens escuras.

Pelo exposto, verifica-se que a quantidade de radiação que atinge a superfície terrestre depende da altura do sol sobre o horizonte, do ângulo com que o raio solar incide sobre o plano, da nebulosidade e das impurezas do ar nas camadas baixas da atmosfera.

Esclarecidos os conceitos básicos vejamos alguns valores numéricos.

A quantidade de energia solar que atinge o limite superior da atmosfera tem uma intensidade média<sup>34</sup> de  $1,4 \text{ kW/m}^2$ ,

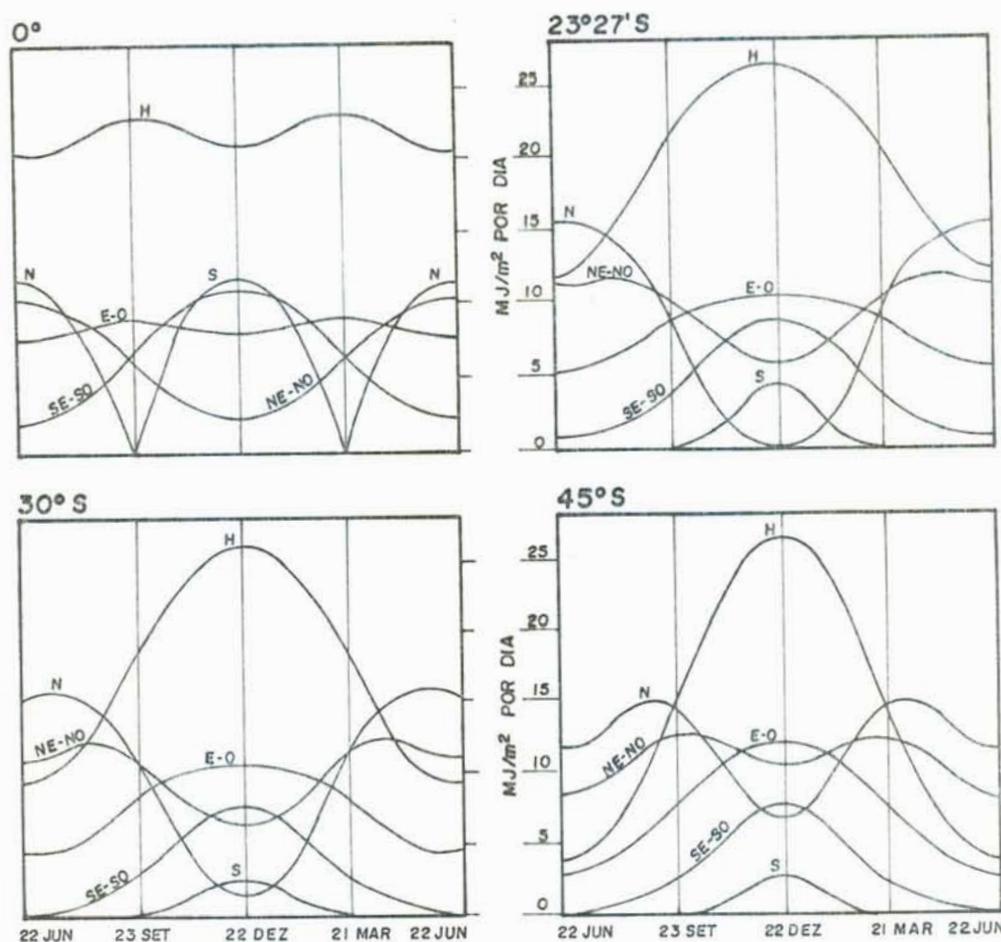
a qual é conhecida como constante solar.

Na figura 5.9<sup>43</sup> estão apresentadas, para as latitudes de  $0^{\circ}$ ,  $23^{\circ}27'$ ,  $30^{\circ}$  e  $45^{\circ}S$ , as quantidades diárias de energia solar direta que recebem alguns planos das edificações. Os valores são para céus claros e expressam o total de energia incidente desde que o sol começa a iluminar o plano até que deixa de fazê-lo. As condições de céu claro se aproximam das mais exigentes, que ocorrem com alguma frequência no período quente, em relação aos problemas térmicos criados pelo meio; com céus de nebulosidade média as diferenças entre uma e outra orientação são menos acentuadas<sup>43</sup>.

Para o gráfico correspondente ao equador (latitude  $0^{\circ}$ ), figura 5.9, durante todos os dias do ano o plano horizontal recebe uma quantidade quase igual de radiação solar, que é muito maior que a incidente em qualquer outro plano vertical. Tanto este gráfico como a própria figura 5.4.a, nos mostram o comportamento particular dos planos orientados ao norte e ao sul: durante seis meses um deles recebe energia direta e, nos restantes, o outro.

Na latitude de  $30^{\circ}S$  o plano horizontal recebe maior quantidade de radiação solar no verão comparado ao mesmo plano no equador e também recebe menos radiação no inverno. Como nessa latitude o clima é, comumente, temperado, com épocas de frio e de calor, observa-se que o plano vertical orientado ao norte se ajusta melhor às necessidades do condicionamento, já que recebe maior quantidade de energia no inverno e menor no verão. Os planos orientados a leste e oeste, pelo contrário, recebem mais energia no verão do que no inverno.

Os diagramas apresentados, figura 5.9, nos mostram que nas regiões com verões quentes o plano horizontal é o que cria o maior problema térmico e que, dentre os planos verticais, o orientado ao norte, sempre referidos ao hemisfério sul, é o que está mais de acordo com as exigências térmicas, por receber menor intensidade de radiação solar.



Fonte: RIVERO<sup>4,3</sup>

FIGURA 5.9 - Quantidades diárias de radiação solar direta, com céu claro, recebida por vários planos, em diferentes latitudes.

Exemplo: na latitude  $\phi = 30^{\circ}\text{S}$  o plano horizontal recebe, no dia 22 de dezembro, diretamente do sol, supondo um céu sem nuvens, um total de  $26,2 \text{ MJ/m}^2 = 26200 \text{ kJ/m}^2 = 7,3 \text{ kW.h/m}^2$ .

A medição da radiação solar pode ser feita através de dois tipos de instrumentos: o actinôgrafo bimetálico e o heliôgrafo. O primeiro, mede a radiação solar global (direta + difusa) e o segundo, a insolação diária ou o número diário de horas de brilho do sol, medindo, portanto, a duração da radiação solar direta. No heliôgrafo os raios solares são focalizados por uma esfera de cristal em uma fita de papelão e a insolação é dada pelo comprimento de carbonização da fita<sup>5,2</sup>.

A intensidade de radiação solar global pode ser estimada através de fórmulas<sup>34,50,52</sup>, mediante o conhecimento da radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera e do número de horas de insolação diária.

Visando simplificar este cálculo, existem diagramas<sup>34</sup> que permitem estimar, de maneira aproximada, a intensidade das radiações solares, sobre superfícies diversas, provenientes de céu claro, segundo a posição do sol e a latitude do local.

As figuras 5.10 e 5.11 apresentam, respectivamente, as projeções estereográficas para determinação das radiações solares diretas e difusas.

A título de exemplo, a intensidade das radiações solares diretas sobre um plano horizontal, às 14 horas do dia 21 de dezembro, na cidade de Araçuaí - MG (latitude de  $16^{\circ}51'$ ) é de  $800 \text{ W/m}^2$ , e as radiações difusas do céu e do solo,  $136 \text{ W/m}^2$ .

O procedimento de cálculo é o seguinte:

i) Através do diagrama de projeção estereográfica das trajetórias do sol para a latitude de  $17^{\circ}\text{S}$  (figura 5.12) é marcado, do centro dos eixos ortogonais à posição do sol na hora desejada, o segmento AB.

ii) O segmento AB é transportado para os diagramas das figuras 5.10 e 5.11 e é lido, respectivamente, a intensidade das radiações solares diretas e difusas.

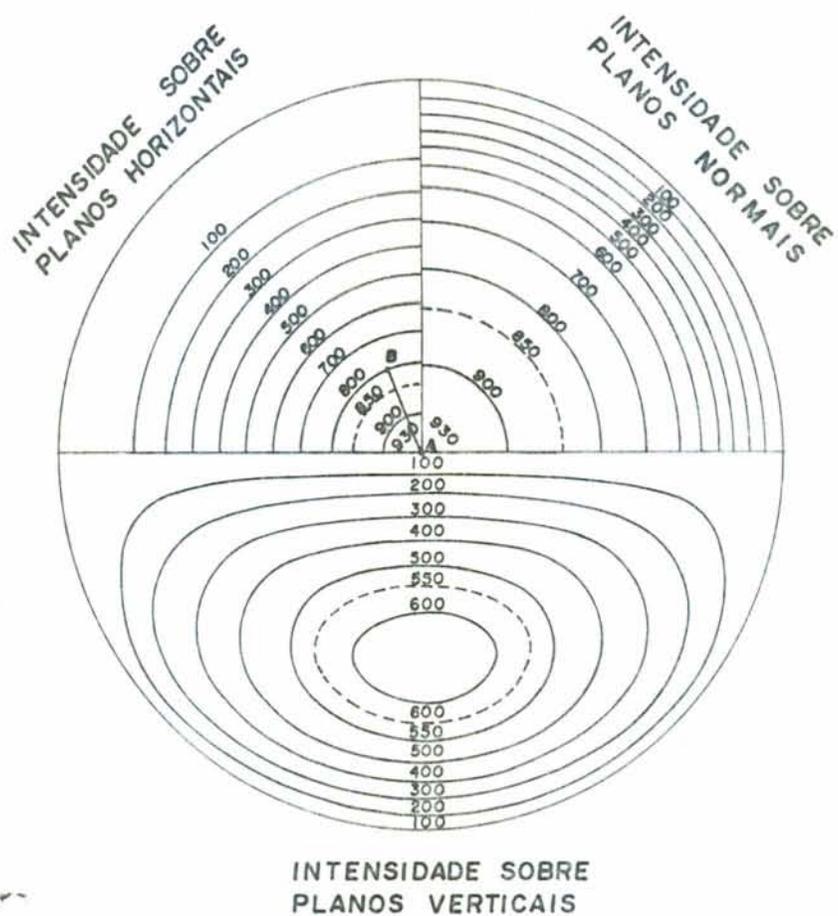


FIGURA 5.10 - Intensidade das radiações solares diretas, sobre superfícies diversas, provenientes de céu claro, na forma de projeção estereográfica, segundo a posição do sol, em  $W/m^2$ .

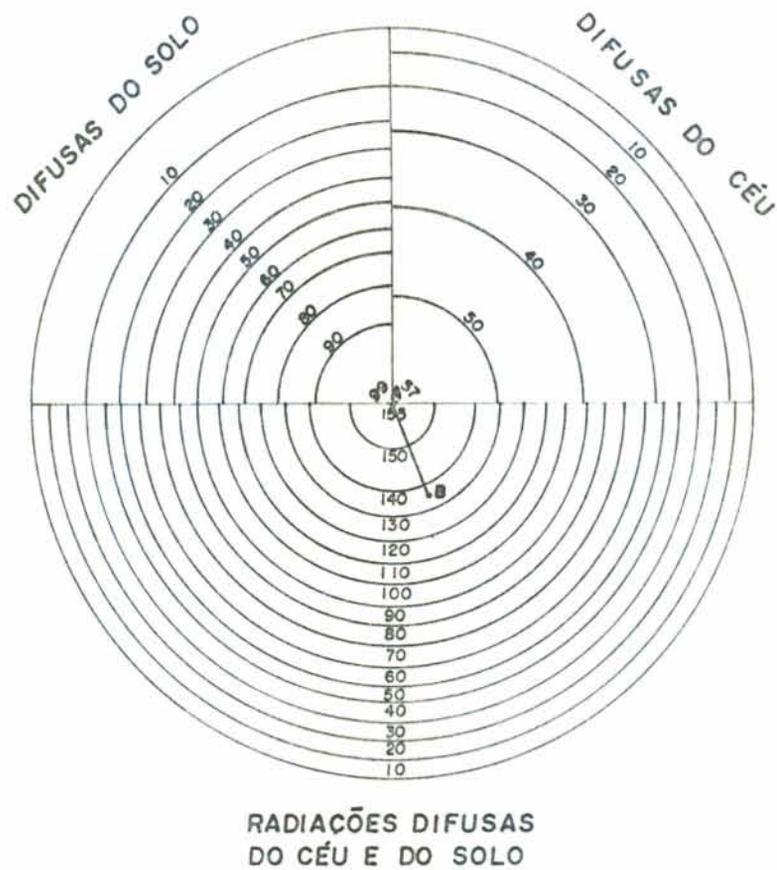


FIGURA 5.11 - Intensidade das radiações solares difusas, sobre superfícies verticais, provenientes de céu claro, refletidas pelo solo com 20% de refletância e a soma de ambas, na forma de projeção estereográfica, segundo a posição do sol, em  $W/m^2$ .

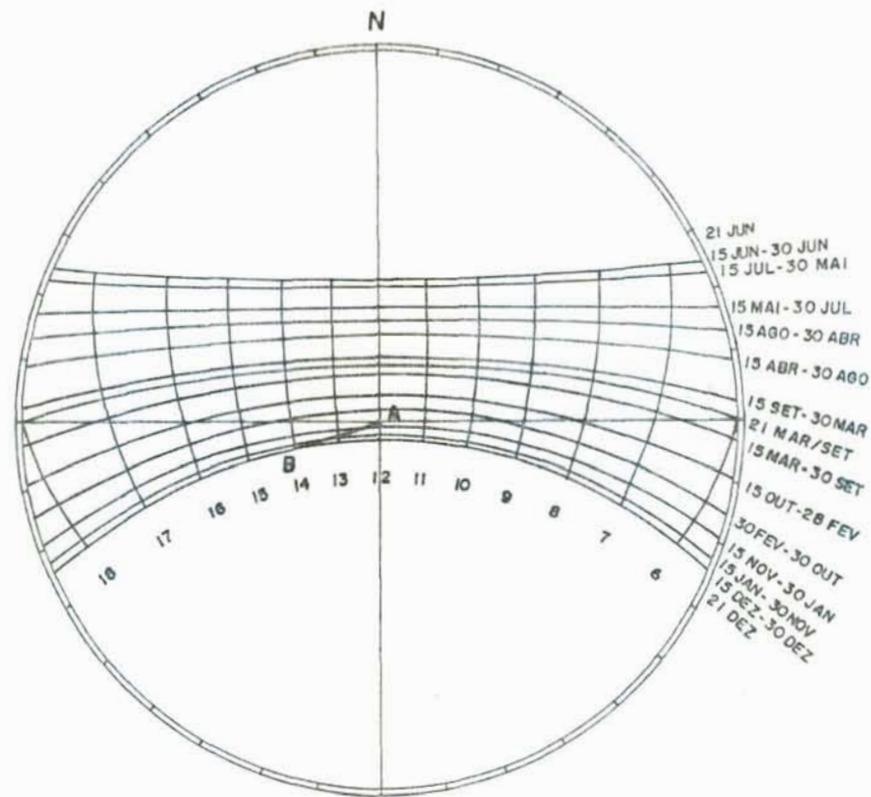


FIGURA 5.12 - Projeção estereográfica das trajetórias do sol para a latitude  $17^{\circ}$  S.

### 5.3. A Redução do Efeito Térmico das Radiações Solares

Para se saber como reduzir o efeito térmico das radiações solares, será preciso analisar com maior cuidado os fenômenos de transmissão do calor. Excluimos desta análise o efeito dos corpos transparentes já que não se concebe a construção de telhados transparentes nas condições climáticas brasileiras.

O Anexo I reporta, de forma resumida, os processos de transmissão de calor através dos elementos opacos de uma edificação (cobertura, paredes).

Em síntese, o fluxo térmico que atravessa uma cobertura pode ser dado pela expressão  $q = U(\alpha | R_e - 4)$  que equaciona a qualidade desta cobertura; e a equação  $t_{si} = t_i + U R_i(\alpha | R_e - 4)$  põe em evidência os fatores que incrementam a temperatura superficial interna do telhado. Os parâme-

tros usados nestas equações estão apresentados no Anexo I.

Neste item, a partir de colocações teóricas, serão apontadas as soluções técnicas a nível do desempenho exigido.

### 5.3.1. Como Minimizar o Valor do Fluxo Térmico (q)

A proteção contra a radiação solar (insolação) visando minimizar o fluxo térmico (q) que penetra no galpão, pode ser feita através dos mecanismos que a equação  $q = U(\alpha I - R_e - 4)$  põe em evidência. Eles serão abordados sucessivamente.

#### 5.3.1.1. Diminuição do Coeficiente de Absorção ( $\alpha$ ): Uso de Pintura em Cores Claras

A radiação solar será absorvida pelos elementos do galpão, em maior ou menor quantidade, conforme for a tonalidade desses elementos.

A escolha adequada da tonalidade poderá proteger a cobertura e paredes do galpão, minimizando a quantidade de calor absorvido, em função da redução do fator de absorção ( $\alpha$ ) das radiações solares.

Verificando a figura 1.1\*, percebe-se que a parcela dissipada ao interior está, fundamentalmente, sob responsabilidade da cor da superfície externa.

Uma primeira medida de proteção contra as radiações solares no galpão será o uso adequado de cores.

A tabela 1.1 fornece os fatores de absorção solar ( $\alpha$ ) segundo a tonalidade dos elementos.

A influência das cores para situação de verão em Porto Alegre - RS, Insolação =  $1000 \text{ W/m}^2$ , será apresentada na tabela 5.1.

---

\* Quando a indicação aparecer em romano, refere-se aos Anexos.

TABELA 5.1 - Influência das cores no fluxo térmico devido a insolação.

Telhas de fibrocimento, espessura 6mm, U = 4,81	Coeficiente de absorção $\alpha$	Incremento térmico $t_r$	Fluxo térmico devido a insolação	
			W/m <sup>2</sup>	
Pintura preta	1,0	40	173,2	120%
** Cinza enegrecido pelo tempo - vermelha	0,85	34	144,3	100% ***
** Cinza normal	0,69	27,6	113,5	79%
Pintura alumínio	0,50	20	77,0	53%
Pintura branca	0,25	10	28,9	20%
Caiação nova	0,12	4,8	3,8	3%

\*\* Fonte: SANTOS<sup>4,5</sup>

\*\*\* fixado como 100% para termo de comparação por ser tonalidade bastante comum nas construções.

Com o uso de telhas de cor clara no galpão o coeficiente de absorção  $\alpha$  diminui, o incremento de temperatura,  $t_r$ , também diminui e, conseqüentemente, a penetração de calor devido à insolação se reduz na mesma proporção.

A análise da tabela 5.1, da influência das cores na situação de verão em Porto Alegre, nos permite concluir sobre a eficácia do uso de cores claras na face externa da cobertura. Um telhado de fibrocimento, por exemplo, pode ter reduzida a penetração de calor em mais de seis vezes graças à pintura externa.

### 5.3.1.2. Diminuição do Coeficiente de Transmissão Global (U)

#### 5.3.1.2.1. Através do uso de diferentes materiais

Para diminuir o valor de U e, logo, a passagem do calor, podemos atuar sobre os valores da espessura (e) e do coeficiente de condutibilidade dos materiais ( $\lambda$ ) ou interpor várias camadas como barreiras.

São vários os materiais que podem ser utilizados nas coberturas de galpões, indo de materiais e tecnologias sofisticadas até os mais rudimentares. No entanto, a escolha desses materiais é feita em função de vários fatores, tais como:

- . simplicidade de construção;
- . custo inicial dos galpões;
- . vida útil dos materiais;
- . características higrotérmicas dos materiais;
- . facilidade no controle sanitário;
- . etc.

Quando se faz a escolha de materiais para a cobertura, com intuito de minimizar o fluxo térmico que penetra no interior do galpão, deve-se considerar que as laterais do mesmo são abertas. Diante disto é conveniente analisar a viabilidade de se investir elevadas somas nos materiais da cobertura para otimizar o desempenho térmico, uma vez que a temperatura do ar interno será aproximadamente igual a do ar externo.

Em face disto, os tipos de coberturas mais comuns são:

- . com telhas de barro;
- . com telhas de fibrocimento;
- . com telhas de alumínio;
- . com palhas.

Excluimos do nosso estudo as coberturas com telhas de alumínio e com palhas, por não serem recomendadas, por causarem, a primeira, stress nas aves devido a ruídos e a se-

gunda, dificuldade no controle sanitário no ato da desinfecção do galpão.

Comparando os valores do fluxo térmico, em regime estacionário, que é transmitido do exterior para o interior do galpão através da cobertura sem forro, executadas com telhas de barro ou de fibrocimento, podem ser extraídas algumas conclusões.

O fluxo térmico que penetra em uma cobertura pode ser determinado segundo a equação 1.16. Os resultados para coberturas com telhas de barro e de fibrocimento estão apresentados na tabela 5.2.

TABELA 5.2 - Fluxo térmico que penetra na edificação através da cobertura com telhas de barro ou de fibrocimento.

Tipos de cobertura	Dados físicos e climáticos ( $t_e=t_i$ )				Fluxo térmico $q$ (W/m <sup>2</sup> )
	$I$ (W/m <sup>2</sup> )	$R_e$ (m <sup>2</sup> °C/W)	$\alpha$	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)	
Telha de barro vermelha espessura: 25 mm	1000	0,04	0,80	4,47	125,2
Telha de fibrocimento enegrecida espessura: 6 mm	1000	0,04	0,85	4,81	144,3

Através dos resultados da tabela acima, podemos verificar, numa primeira análise, que as telhas de barro permitem a passagem de um fluxo térmico um pouco menor do que as telhas de fibrocimento e são, por esse motivo, as mais recomendadas, sob o ponto de vista térmico.

#### 5.3.1.2.2. Uso de forro na cobertura

Uma maneira de minimizar o valor do fluxo térmico  $q$  e de controlar o efeito das radiações em onda longa proveniente da cobertura aquecida é o uso de forro, que pode va-

riar de uma simples camada homogênea de material até camadas espessas e heterogêneas e pode ser ventilado ou não.

A determinação do fluxo térmico que atravessa uma cobertura, com forro ventilado ou não, pode ser feita mediante aplicação das fórmulas apresentadas no item 1.2.

A tabela 5.3 apresenta, em síntese, os valores do fluxo térmico que atravessa uma cobertura de fibrocimento sem forro, com forro não ventilado e com forro ventilado.

TABELA 5.3 - Efeito do uso de forro ventilado ou não ventilado em uma cobertura de fibrocimento.

Características da cobertura	Fluxo térmico que penetra no interior ( $W/m^2$ )	% de insolação
Cobertura de fibrocimento enegrecida pelo tempo ( $\alpha = 0,85$ ; $e = 6mm$ ; $\lambda = 0,75 W/m^{\circ}C$ ).	144,3	100%
Idem cobertura, com forro de duratex ( $e = 6mm$ , $\lambda = 0,15$ ) não ventilado.	54	37,4%
Idem cobertura, com forro de duratex ( $e = 6mm$ ; $\lambda = 0,15$ ) ventilado	14,54	10%

Analisando os resultados da tabela 5.3, verificamos que a penetração de calor devido a insolação sobre a cobertura, sofreu uma redução de cerca de 90% ao passar de uma cobertura de fibrocimento, enegrecida pelo tempo, sem forro, para uma com forro adequadamente ventilado.

#### 5.3.1.3. Combinação dos Fatores $\alpha$ e U.

Se pintarmos de branco, coeficiente de absorção  $\alpha = 0,2$ , as telhas de barro e de fibrocimento, o fluxo térmi-

co (q) que penetra no interior do galpão será (tabela 5.4):

TABELA 5.4 - A influência da pintura branca nas coberturas com telhas de barro ou de fibrocimento.

Tipos de cobertura	Dados físicos e climáticos $t_e = t_i$				Fluxo térmico (q) (W/m <sup>2</sup> )
	I (W/m <sup>2</sup> )	R <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	α	U (W/m <sup>2</sup> °C)	
Telha de barro vermelha, esp. 25mm, com pintura branca	1000	0,04	0,2	4,47	17,9
Telha de fibrocimento, esp. 6mm, com pintura branca	1000	0,04	0,2	4,81	19,2
Telha de fibrocimento, esp. 6mm, com forro de duratex (e=6mm, λ=0,15) não ventilado + pintura branca	1000	0,04	0,2	1,78	7,1
Telha de fibrocimento, esp. 6mm, com forro de duratex (e=6m, λ=0,15) ventilado + pintura branca	1000	0,04	0,2	4,81 (cob) 2,78 (forro)	1,9

Analisando os resultados da tabela 5.4 notamos que ocorre um decréscimo de, respectivamente, 85% e 87%, quando pintamos de branco ( $\alpha=0,2$ ) as telhas de barro vermelhas e as telhas de fibrocimento enegrecidas pelo tempo.

Além da pintura branca ( $\alpha=0,2$ ), se adicionarmos na cobertura de fibrocimento um forro de duratex de 6mm de espessura, com ático não ventilado, a redução do fluxo térmico será de 95%. Se o ático for adequadamente ventilado a redução será superior a 99%. Para coberturas com telhas de barro o uso de forro, ventilado ou não, implica em resultados desta mesma ordem de grandeza.

A diminuição do coeficiente de absorção da superfície por meio de uma cor adequada é, dentre outros recursos,

talvez o mais econômico, embora exija cuidados na manutenção. É interessante destacar que desta forma se corrige também outros problemas como as grandes dilatações térmicas em certos tipos de coberturas, como lajes de concreto, etc.<sup>43</sup>.

#### 5.3.1.4. Diminuição da Penetração Solar Direta - O Uso de Beirais Longos

É evidente que o mais eficaz transporte de energia térmica ao interior é através da penetração direta da radiação solar. Logo, esta deverá ser evitada cuidadosamente.

Para conseguir este objetivo é fundamental o conhecimento das trajetórias aparentes do sol na abóbada celeste, descrito no item 5.2.2.

Como foi colocado no capítulo 3 e no início deste capítulo existem, e não devem ser esquecidas, as radiações solares difusas. Estas provêm de toda a abóbada celeste, com diferentes intensidades. Entretanto, embora em climas quentes seja importante levá-las em conta, seu conteúdo energético em céus limpos é consideravelmente inferior às radiações diretas do sol (de 1/5 a 1/10). Isto aliado a dificuldade de combatê-las devido a sua não direcionalidade, faz com que não sejam consideradas neste momento.

Para evitar a penetração das radiações diretas e em especial aquelas simultâneas a horas e períodos quentes, será preciso atender a duas condições básicas:

i) O galpão é de características lineares, como resultado de condicionantes diversos, além dos de penetração solar. As larguras úteis recomendadas oscilam entre 8 e 12 metros em função do clima<sup>24</sup>.

ii) As laterais do galpão devem ser abertas, na sua quase totalidade, para permitir a rápida evacuação do calor gerado ou que penetra pela cobertura, bem como para facilitar o movimento de ar a nível das aves, o que amplia o conforto nos climas quentes e retira a amônia introduzida pelas fezes no ar.

Como consequência disto resultam alguns corolários indiscutíveis na questão a ser estudada:

- A orientação do galpão deve ser tal que sua dimensão predominante esteja no eixo leste-oeste. Isto é devido a que nas primeiras e últimas horas do dia o sol ocupa posições baixas, o que faria impossível impedir a penetração em fachadas abertas. Os oitões, sendo áreas reduzidas, serão fáceis de vedar verticalmente, sem impedir a ventilação transversal.

- O prolongamento do telhado, ou beiral, será o recurso fundamental para controlar a penetração solar. A determinação ótima de sua dimensão será o tema que nos ocupa a continuação.

Se projetarmos a borda de um beiral infinito desde um ponto situado no limite interior da mureta (figura 5.13 e 5.14), determinaremos sobre a abóbada celeste um arco de circunferência que encontra o horizonte na interseção da direção com o círculo do horizonte (A-B). Em projeção estereográfica este círculo aparece representado como um arco de circunferência que passa por A e B (figura 5.15).

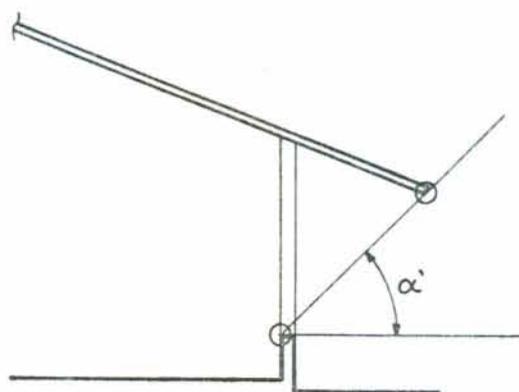


FIGURA 5.13 - Determinação do ângulo  $\alpha'$  de um beiral.

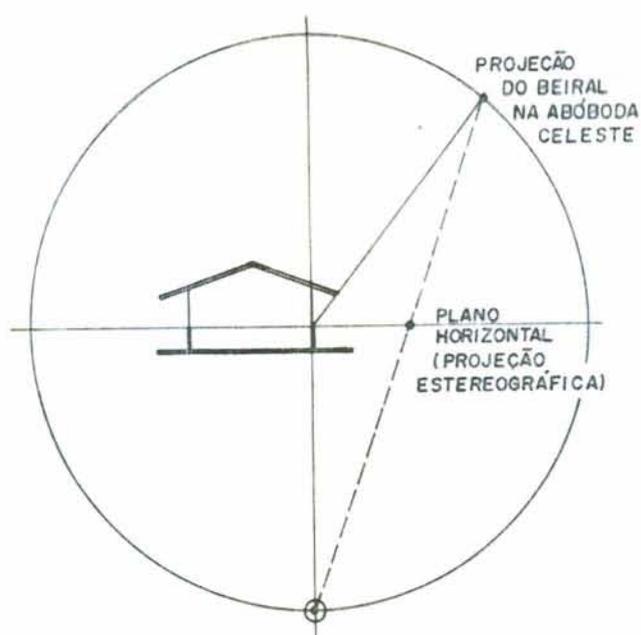


FIGURA 5.14 - Projeção estereográfica da borda de um beiral.

Para diferentes ângulos determinados pelo beiral ( $\alpha'$  na figura 5.13) teremos diferentes arcos, como se representa na figura 5.15.

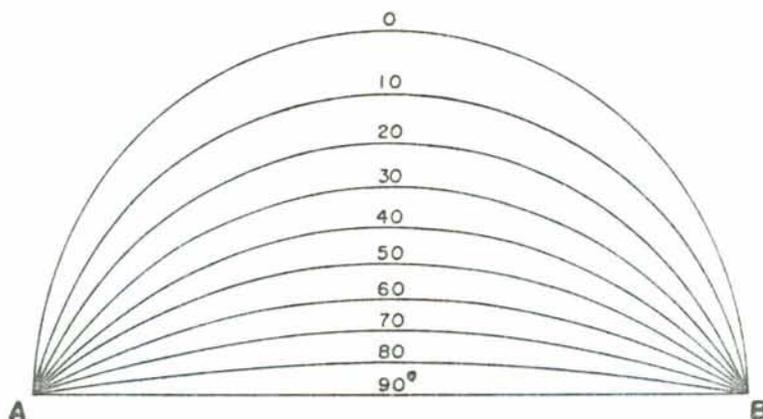


FIGURA 5.15 - Transferidor do ângulo de sombra de beirais.

Sobrepondo esta representação a das trajetórias do sol na orientação adequada, pode-se determinar com precisão qual o ângulo de beiral necessário para impedir a penetração solar. É necessário que a direção A-B, que corresponde à fachada, esteja na correta orientação das trajetórias solares

(se o galpão está na direção leste-oeste, os pontos A e B se corresponderão com as orientações leste-oeste).

A título de exemplo, para as trajetórias do sol correspondentes a  $9^{\circ}\text{S}$ , um beiral de  $\alpha' = 40^{\circ}$  impede a penetração solar desde as 8 horas até as 16 horas do dia 21 de junho, quando o sol está na sua posição mais baixa (figura 5.16).

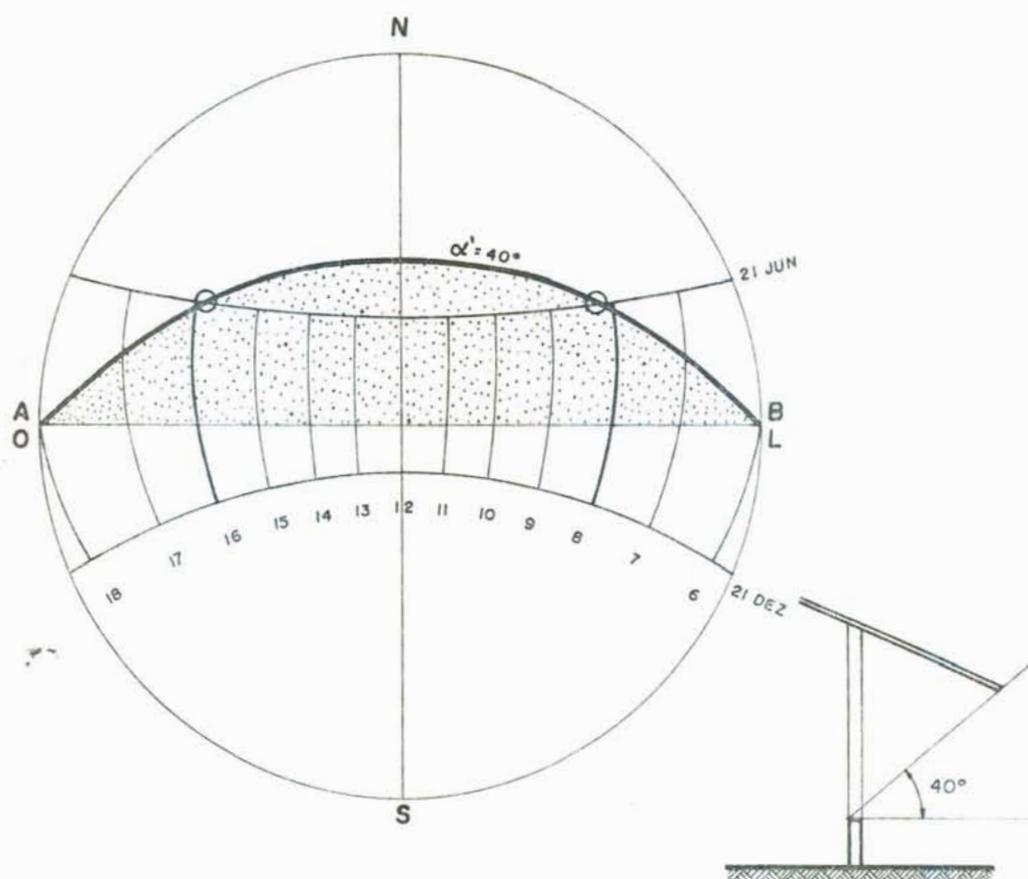


FIGURA 5.16 - Ação de um beiral  $\alpha' = 40^{\circ}$  para uma edificação na latitude de  $9^{\circ}\text{S}$ .

Estabelecida esta técnica operativa, de validade genérica, podemos aplicá-la às condições concretas brasileiras. Procederemos pela análise de algumas situações típicas.

#### 5.3.1.4.1. Latitudes altas (climas temperados)

Escolheu-se para análise o limite sul do país onde a criação de aves encontra-se bastante desenvolvida. Considerou-se o limite superior das zonas de conforto, definidas

no capítulo 3, onde as referências bibliográficas demonstraram ser economicamente viável a criação de aves.

Cidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Santa Vitória do Palmar	RS	33°31'S	53°22'0	5

Dados da temperatura do ar<sup>11</sup>: °C

Temperatura média anual	Temperatura média - mês mais quente mês: janeiro	Temperatura máxima média mês mais quente te (janeiro)	UR média do mês mais quente % (janeiro)	Amplitude de oscilação média - mês mais quente (janeiro)
16,6	22,8	28,8	73,7	11,7

Destes dados será possível construir um dia médio de verão usando a marcha normal das temperaturas do ar<sup>43</sup>, (figura 5.17).

A temperatura do ar para uma hora qualquer ( $t_T$ ) pode ser determinada pela equação<sup>43</sup>:

$$t_T = t_{nm} + (t_{xm} - t_{nm}) F_T \quad (5.1)$$

onde

$t_{nm}$  = temperatura mínima média do ar exterior (°C)

$t_{xm}$  = temperatura máxima média do ar exterior (°C)

$F_T$  = fator de conversão, variável a cada hora do dia (adimensional).

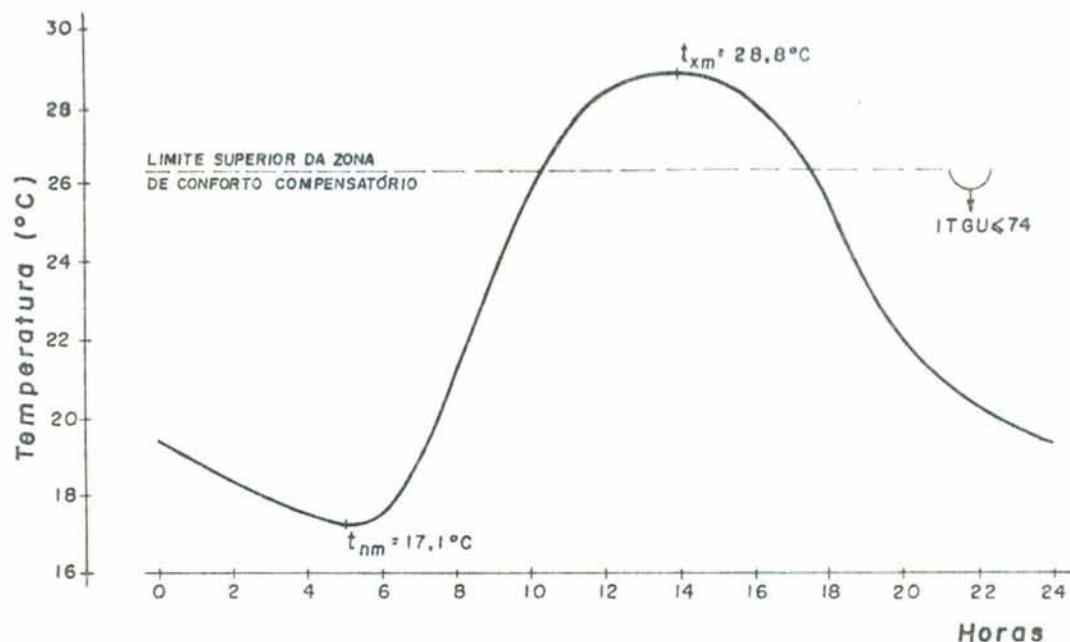


FIGURA 5.17 - Variação típica da temperatura do ar no decorrer de um dia médio de verão em Santa Vitória do Palmar (RS).

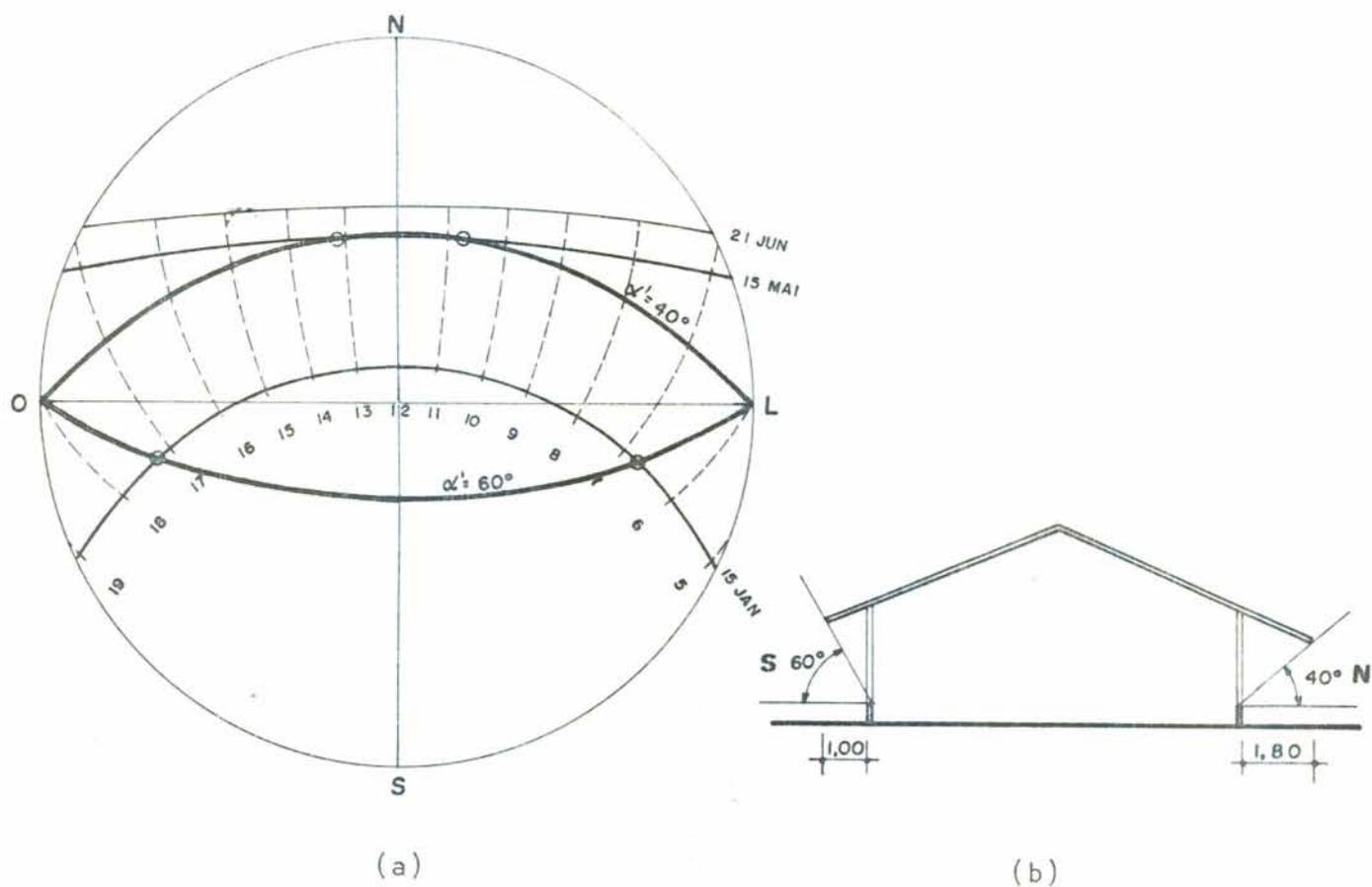


FIGURA 5.18 - Determinação dos ângulos  $\alpha'$  (a) e do comprimento dos beirais (b) para galpões na latitude de  $33^{\circ}\text{S}$ .

É necessário comprovar qual a trajetória correspondente ao mês mais quente, que nem sempre coincide com aquele crítico em relação a altura do sol.

Neste ponto será preciso discutir um critério econômico para dimensionar o beiral. É impossível impedir totalmente através deste a penetração solar. No entanto, nas horas em que o sol penetra (primeiras e últimas do dia) já não existem temperaturas do ar críticas e resulta tolerável a penetração. Por outro lado, o conteúdo energético das radiações com o sol baixo é bastante reduzido pela filtragem das camadas inferiores da atmosfera, que devido à inclinação do sol são muito espessas. Analisando as temperaturas pode ser estabelecido como tolerável, para Santa Vitória do Palmar, as 17h15min o início da penetração solar, supondo o valor da temperatura de  $26,5^{\circ}\text{C}$  (ITGU igual a 74,2) como limite (ver figuras 5.17 e 5.18).

No cálculo do ITGU, para a determinação do ponto de orvalho foram consideradas a temperatura média e umidade relativa média do mês mais quente (janeiro).

Disto conclui-se que o valor de  $\alpha'$  recomendável é de  $60^{\circ}$ . Para condições normais de altura da mureta e pé direito de beirais, o avanço do mesmo em relação ao espaço interior é de 1,0m. Contrastando esta recomendação com a dada por CARNEIRO<sup>13</sup>, observa-se uma aceitável concordância quando especificada para o beiral da fachada sul.

O beiral da fachada norte pode ser determinado em função do aproveitamento da radiação solar no período frio, uma vez que a altas latitudes são distintos os períodos quente e frio. No beiral norte, a latitude de  $33^{\circ}\text{S}$ , o ângulo  $\alpha'$  poderá ser igual a  $40^{\circ}$ , estabelecendo como tolerável a penetração solar no mês de maio praticamente durante todo o dia, com ITGU cerca de 67 às 14:00 horas (ver figura 5.18.a). O avanço do beiral em relação à mureta será de 1,80m (figura 5.18.b).

No dia 21 de junho, quando o sol estiver na sua posição de solstício de inverno, resulta tolerável a penetração

solar durante todo o dia, uma vez que as temperaturas nesta época serão baixas e o ITGU se situará nas zonas de ótimo rendimento (A) e de rendimento compensatório (B), definidas no Capítulo 3.

#### 5.3.1.4.2. Latitudes médias

Seguiu-se o mesmo raciocínio usado para as latitudes altas.

Cidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Paracatú	MG	17°13'S	46°52'	698

Dados da temperatura do ar<sup>9</sup> - °C

Temperatura média anual	Temperatura média - mês mais quente mês: outubro	Temperatura máxima média mês mais quente	UR média do mês mais quente %	Amplitude oscilação média do mês mais quente
22	24,2	31,6	68	13,7

O dia médio de verão, de acordo com estes dados será representado na figura 5.19.

Analisando as temperaturas do dia médio de verão, pode ser estabelecido como tolerável, para Paracatú-MG, o início da penetração solar às 17h30min (figura 5.26.a), no mês de outubro, supondo o valor da temperatura próximo de 28°C, ITGU igual a 76,7, sendo que a temperatura cai rapidamente para 26°C, ITGU igual a 74, antes das 19 horas.

O valor de  $\alpha'$  recomendável é de 50° para o beiral da fachada sul (figura 5.20.a). Para condições normais de altura da mureta e pé direito do beiral, o avanço do mesmo em relação ao espaço interno é de 1,40m (figura 5.20.b).

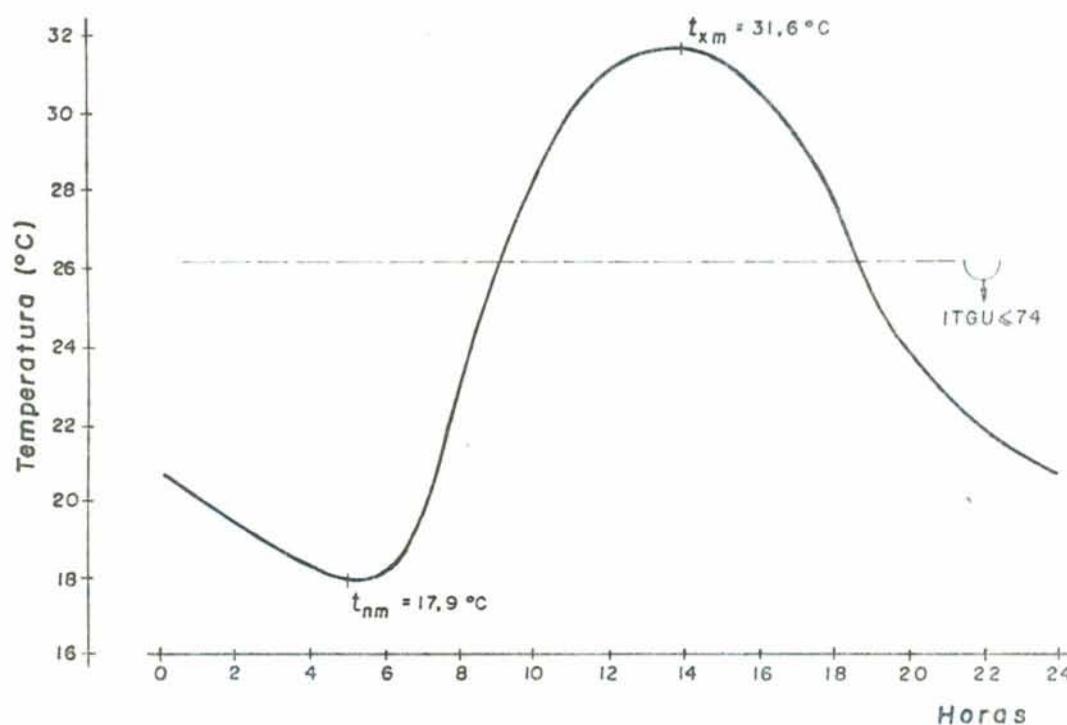


FIGURA 5.19 - Variação típica da temperatura do ar no decorrer de um dia médio de verão em Paracatú - MG.

Para o beiral da fachada norte,  $\alpha'$  poderá ser igual a  $40^\circ$ . No dia 21 de junho o sol penetrará no galpão até as 9 horas, cuja temperatura do ar estará acima de  $20^\circ\text{C}$  (ITGU igual a 66) e posteriormente, após as 15 horas, temperatura cerca de  $27^\circ\text{C}$ , ITGU igual a 73, segundo o dia médio de inverno para latitude de  $17^\circ\text{S}$ .

O avanço do beiral em relação ao espaço interior é de 1,80m (figura 5.20.b).

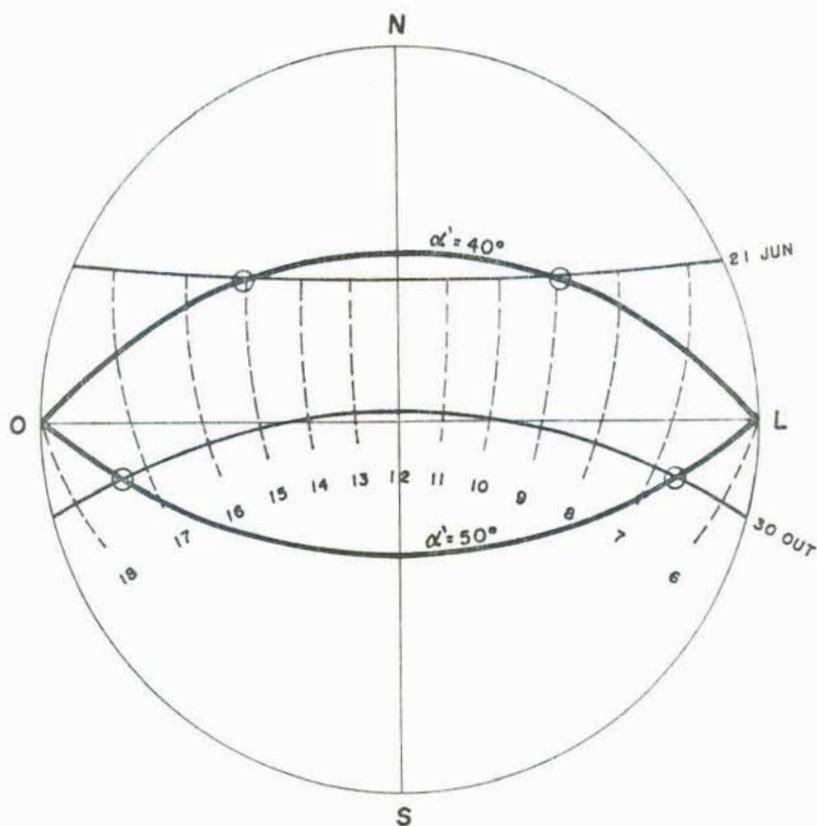


Figura 5.20.a

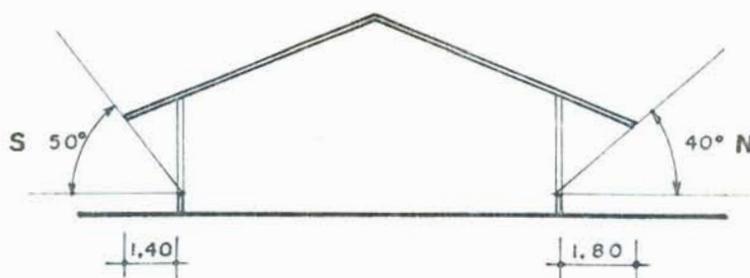


Figura 5.20.b

FIGURA 5.20 - Determinação dos ângulos  $\alpha'$  (a) e do comprimento dos beirais (b) para galpões na latitude de  $17^{\circ}\text{S}$ .

## 5.3.1.4.3. Latitudes baixas (climas quentes)

Cidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Belém	PA	1°28'S	48°27'	24

Dados da temperatura do ar <sup>7</sup> - °C

Temperatura média anual	Temperatura média - mês mais quente mês: novembro	Temperatura máxima média mês mais quente	UR média do mês mais quente	Amplitude oscilação média do mês mais quente
25,9	26,5	32,2	81,8	10,1

Analisando as temperaturas do dia médio de verão para Belém - PA e aplicando os limites das zonas de conforto consideradas de ótimo rendimento (A) e de rendimento compensatório (B), definidas no capítulo 3, verificamos que somente no período compreendido entre 23 horas e 7 horas é que a temperatura se enquadra no limite superior da zona de rendimento compensatório (24°C, UR média de 82% e ITGU igual a 74).

Contrastando os dados da temperatura do ar média do mês mais quente, 26,5°C, em novembro, com as situações climáticas tipificadas no capítulo 4, verificamos que os dados de Belém se enquadram na faixa E que é MARGINAL para a avicultura de corte, por ser a temperatura média do mês mais quente superior a 25°C. Nesta faixa as temperaturas demasiadamente elevadas são frequentes no verão, trazendo problemas de stress devido ao calor. A umidade relativa elevada, cerca de 82% no mês mais quente, também poderá trazer problemas sanitários com certa frequência.

Pelo exposto conclui-se que as condições higrotérmicas de Belém-PA não permitiriam a criação de frangos de corte com produtividade comparável a outras regiões do país.

#### 5.3.1.4.4. Síntese das considerações acerca de beirais

Analisando as considerações a respeito da importância dos beirais no impedimento da penetração solar direta no interior do galpão, verificamos o seguinte:

- o beiral da fachada norte, para galpão orientado no eixo leste-oeste, manteve-se uniforme para os casos estudados (latitudes de  $17^{\circ}$  e  $33^{\circ}$ S), sendo, portanto, para uma altura de 3,0m, igual a 1,80m;

- o beiral da fachada sul, para galpão orientado no eixo leste-oeste, varia em função da latitude. Para as condições estudadas, quanto maior a latitude menor será a necessidade de se prolongar os beirais para evitar a penetração solar direta. A latitude de  $33^{\circ}$ S, máxima em termos nacionais, verificamos que o prolongamento de 1,0m na cobertura, além da mureta, é suficiente para impedir a penetração do sol e das chuvas no interior do galpão. Para latitudes médias ( $17^{\circ}$ S) o beiral encontrado foi de 1,40m.

Na hipótese de uma variação linear nas condições da temperatura do ar em função da latitude, o comprimento do beiral parece seguir o esquema da figura 5.21. Esta figura fornece, de maneira aproximada, o comprimento do beiral em função da latitude.

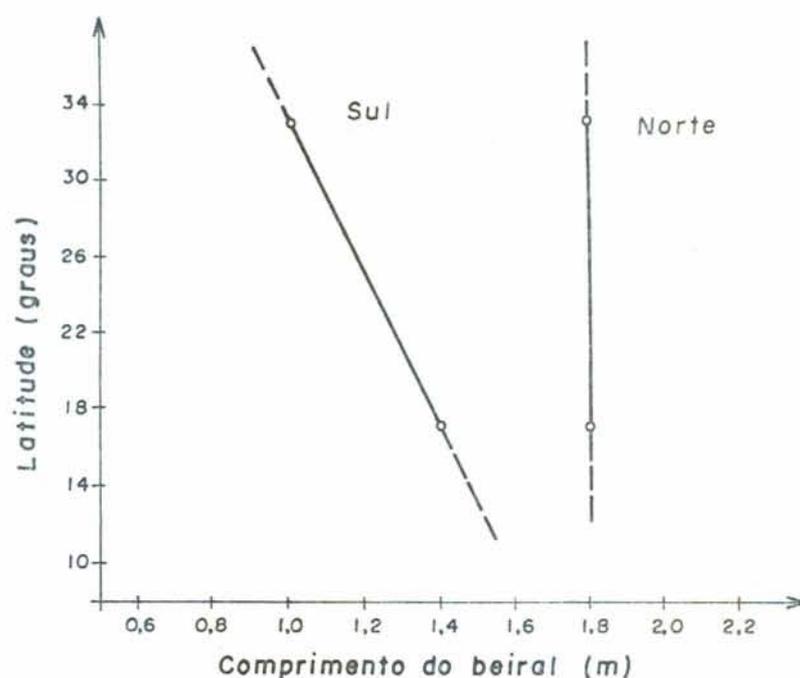


FIGURA 5.21 - Variação do comprimento dos beirais (m) em função da latitude (graus).

### 5.3.1.5. O Efeito das Radiações Térmicas Provenientes da Cobertura

#### 5.3.1.5.1. Composição da temperatura ambiente ( $t_{amb}$ )

A temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ), em condições de ar quieto, pode ser definida pela combinação da temperatura seca do ar e a temperatura radiante média, em  $^{\circ}C$ . Esta temperatura pode ser medida com certa aproximação pelo termômetro de globo, donde pode-se considerar  $t_{amb} \approx T_{gp}$ .

Define-se temperatura radiante média como sendo a temperatura superficial de uma envoltória imaginária com a qual o corpo troca a mesma quantidade de calor por radiação que trocava nas circunstâncias reais<sup>43</sup>.

Chamando de  $p$ , figura 5.22, um ponto localizado ao centro de um galpão e a 0,30m do piso (altura aproximada de uma ave),  $\theta$  o ângulo de contribuição do telhado na temperatura do ponto,  $\beta$  a contribuição das laterais abertas e  $\gamma$  a contribuição do piso e muretas, podemos estimar, de forma aproximada, a influência destes componentes da envolvente na temperatura radiante média deste ponto.

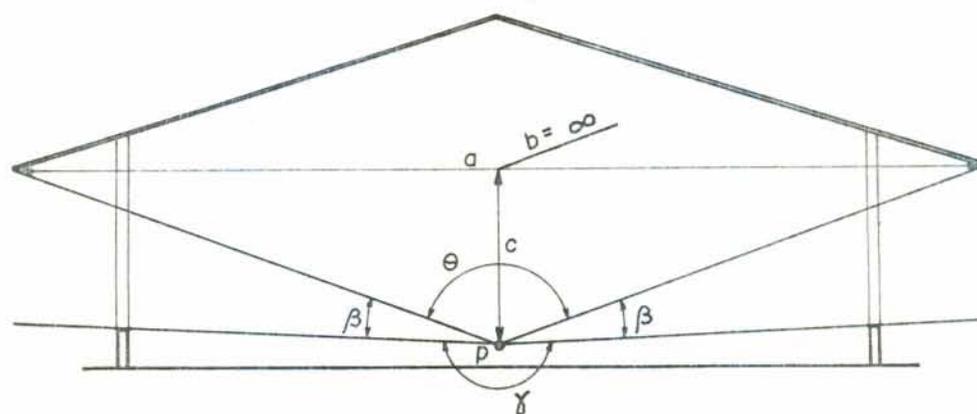


FIGURA 5.22 - Parcelas de contribuição dos componentes da envolvente na temperatura de um ponto localizado ao centro do galpão.

A parcela de contribuição de cada componente é denominada fator de forma -  $F^{25,28,44}$ . Este fator pode ser determinado usando a figura 5.23, à qual se entra pelas relações dimensionais  $a$ ,  $b$  e  $c$ <sup>19</sup>.

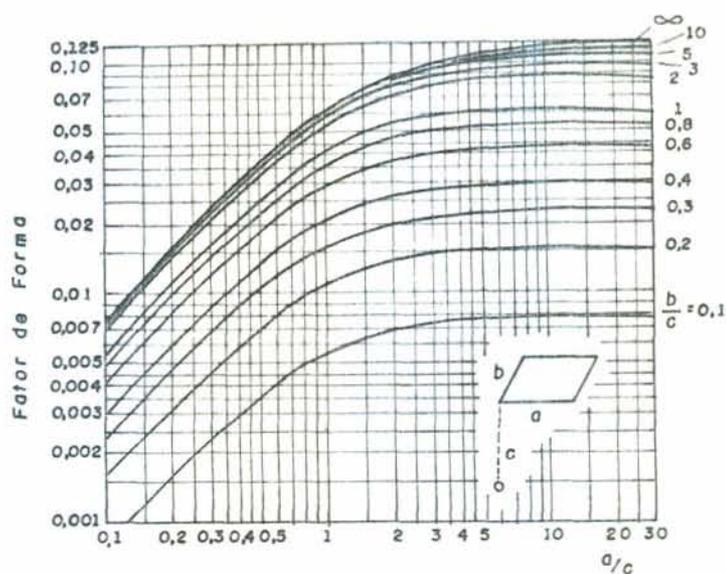


FIGURA 5.23 - Valor do fator de forma para o cálculo da temperatura radiante média em um ponto.

A tabela 5.5 apresenta os fatores de forma (F) para os componentes da figura 5.22, para um galpão com dimensões convencionais.

TABELA 5.5 - Valores dos fatores de forma de cada elemento da envolvente, quando o ponto p está localizado ao centro de um galpão convencional.

Elementos da envolvente	Fator de forma F
Cobertura	0,400
Laterais abertas	0,050
Piso e muretas	0,550
Soma	1,000

Se deslocarmos o ponto p, da figura 5.22, para uma distância de 1,0m da lateral do galpão e seguindo a mesma sequência de cálculo, os valores dos fatores de forma serão (tabela 5.6):

TABELA 5.6 - Valores dos fatores de forma de cada elemento da envolvente para um ponto p localizado a 1,0m da mureta de um galpão convencional.

Elementos da envolvente	Fator de forma F
Cobertura	0,346
Laterais abertas	0,071
Piso e muretas	0,583
Soma	1,000

Verificando as tabelas 5.5 e 5.6 conclui-se que o piso e muretas e a cobertura são os componentes que contribuem em maiores proporções na determinação da temperatura radiante média, 55 a 58% e 35 a 40%, respectivamente. Também se observa que o ponto mais comprometido pelo efeito da cobertura quente é o ponto central.

Encontrados os valores dos fatores de forma F de cada elemento da envolvente, pode-se compor a temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ).

A temperatura radiante média é, portanto, uma média das temperaturas de todas as superfícies do recinto que rodeiam o ponto considerado, ponderadas de acordo com o ângulo sólido relativo a cada superfície (ou seja, o fator de forma).

A temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) pode ser determinada pela expressão:

$$t_{rm} = F_{\theta} t_{si} + F_{\beta} t_{\ell} + F_{\gamma} t_p \quad (5.2)$$

sendo:  $F_0$ ,  $F_\beta$  e  $F_\gamma$  os fatores da forma da cobertura, das laterais abertas, do piso e muretas, respectivamente;

$t_{si}$ ,  $t_\ell$  e  $t_p$ , a temperatura superficial do teto, a temperatura das laterais abertas, a temperatura do piso e muretas, respectivamente, em  $^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura superficial interna da cobertura ( $t_{si}$ ) é determinada pela equação 1.17 e a temperatura do piso e muretas pode ser considerada como sendo a média das temperaturas do ar de um dia típico de verão.

A determinação da temperatura do espaço que se percebe pelas laterais abertas é um problema complexo. Desta temperatura faz parte, em diferente medida, a temperatura dos elementos exteriores e do céu, variando com a hora do dia e a insolação. Isto faz muito difícil uma análise geral. No entanto, verificando a magnitude da contribuição das laterais abertas na composição da temperatura radiante média (ver tabelas 5.5 e 5.6), pode-se concluir que a parcela de responsabilidade no erro introduzido por imprecisão não tem significado expressivo na temperatura ambiente. Em face disto, adotou-se, para simplificação de cálculo, a temperatura radiante das laterais abertas como sendo iguais a temperatura do ar exterior.

A temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ) pode ser considerada, para ar calmo, como sendo a semi-soma da temperatura do ar ( $t_a$ ) e da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ )<sup>19</sup>.

#### 5.3.1.5.2. O efeito do aumento da altura do galpão na temperatura ambiente

O desejo de economizar materiais, mão-de-obra e, conseqüentemente, reduzir o custo da construção através da diminuição do pé direito, tem motivado investigações na comunidade científica de muitos países de clima quente.

Na Índia as temperaturas do ar e do globo foram medidas em quatro unidades experimentais idênticas de 3 x 2,5m e alturas variáveis de 2,40, 2,70, 3,0 e 3,30m. Os resulta-

dos mostraram que alturas superiores a 2,70m não tinham diminuição térmica significativa, sem considerar os efeitos da ventilação. As diferenças entre as unidades de 2,70m de altura e as mais altas foram sempre inferiores a  $0,25^{\circ}\text{C}$  e a diferença entre 2,40m de altura e as demais foi de  $1,5^{\circ}\text{C}$ <sup>26</sup>.

Experimentos semelhantes foram realizados em Israel e as alturas variaram de 2,30 a 3,0m. Os resultados mostraram que as diferenças na temperatura do ar entre salas com teto de 2,50, 2,80 e 3,0m de altura variaram menos que  $0,5^{\circ}\text{C}$ , isto é, insignificante sob o ponto de vista de fisiologia humana<sup>26</sup>.

A partir destes estudos pode ser concluído que, em regiões quentes, salas com teto baixo (cerca de 2,50m) não apresentaram condições térmicas sensivelmente inferiores a salas com tetos mais altos (cerca de 3,0m).

Uma tentativa de verificar o efeito do aumento do pé direito na temperatura ambiente seria aumentar 1,0m na altura de um galpão convencional para criação de aves e manter constante as demais dimensões em relação a figura 5.22. Encontrados os fatores de forma dos componentes do galpão através da figura 5.23, pode-se determinar a temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e a temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ).

A título de ilustração é considerado um galpão convencional cuja cobertura de cimento amianto enegrecida pelo tempo apresenta as seguintes características:

- .  $\alpha = 0,85$ ,  $e = 6\text{mm}$ ,  $\lambda = 0,76$ ,  $U = 4,81$ ,
- . temperatura superficial interna ( $t_{si}$ ) =  $55^{\circ}\text{C}$
- . temperatura das laterais abertas:  $32^{\circ}\text{C} = t_l = t_a$
- . temperatura do piso e mureta:  $25,1^{\circ}\text{C} = t_p$
- . largura do galpão: 10m
- . pé direito: 3,0m

A tabela 5.7 apresenta os valores da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e da temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ) em um ponto situado ao centro de um galpão com altura convencional (3,0m) e incrementada (4,0m).

TABELA 5.7 - Valores de  $t_{rm}$  e  $t_{amb}$  em um ponto p situado ao centro de um galpão com altura convencional ou incrementada.

Altura do galpão	Componentes do galpão	Fator de forma F	$t_{superfície}$ °C	$t_{rm}$ °C	$t_{amb}$ °C
Galpão na altura convencional (ponto central)	Cobertura	0,400	55	37,4	34,70
	Laterais	0,050	32		
	Piso e mureta	0,550	25,1		
Galpão com altura incrementada (ponto central)	Cobertura	0,352	55	36,1	34,0
	Laterais	0,070	32		
	Piso e mureta	0,578	25,1		

Analisando os resultados dos exemplos colocados na tabela 5.7 verificamos que não houve diferença sensível na temperatura ambiente em um ponto p considerado ao centro de um galpão com altura convencional, quando comparado a um galpão com as mesmas características, porém com altura incrementada.

O controle das radiações em onda longa, provenientes da cobertura aquecida, sobre os usuários, pode ser feito através do uso de forro (ver 5.3.1.2.2) e da emissividade da superfície inferior da cobertura. Esta última alternativa pode ser conseguida naturalmente no caso de um telhado de alumínio. Porém, como já foi dito, isto é inviável devido a que provoca stress nas aves o ruído do telhado. A solução de colar papel de alumínio na face inferior do telhado, embora interessante teoricamente, não pode ser levada a procedimentos construtivos viáveis economicamente até agora.

#### 5.3.1.6. Sombreamento das Coberturas e Áreas Circunvizinhas

O mecanismo de trocas térmicas de um sombreamento da cobertura, realizado por um pára-sol que lhe sobreponha

(figura 5.24), no qual o ar possa circular livremente entre o pãra-sol e a cobertura e deste espaço para o exterior, resume-se nos seguintes pontos:

- a atuação direta da radiação solar sobre a cobertura é eliminada;
- em seu lugar, haverá radiação, a baixa temperatura, de ondas longas, da face inferior aquecida do pãra-sol para a cobertura;
- esta radiação será reduzida em função da redução da temperatura devido ao ar circulando sob o pãra-sol;
- praticamente não haverá outras formas de transmissão de calor entre o pãra-sol e a cobertura, porque o ar aquecido no contato com o pãra-sol tende a subir escoando-se para o exterior e será constantemente renovado por ar à temperatura ambiente.

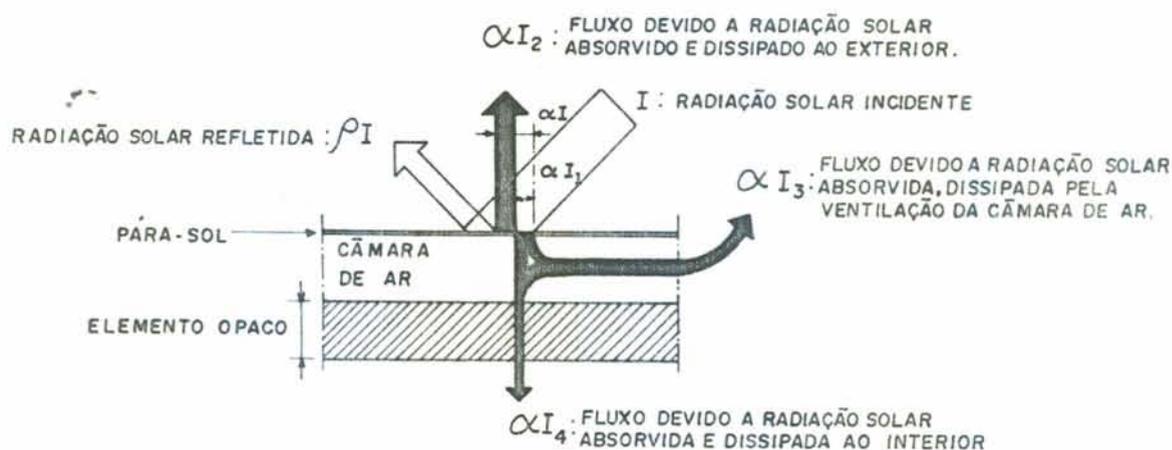


FIGURA 5.24 - Absorção da radiação solar pelo elemento opaco da cobertura com pãra-sol.

Segundo o esquema da figura 5.24, a eficiência do sombreamento depende da disposição do pãra-sol (que deverá ser provido de aberturas de modo a facilitar o escoamento do ar) e do próprio material que o constitui.

Uma solução ideal seria a de um pára-sol de chapas de alumínio, que absorve somente cerca de 50% da radiação solar e emite, às temperaturas correntes, apenas 5% do calor absorvido (ver tabela 1.1). Com tal solução, a cobertura protegida poderia considerar-se submetida praticamente só aos efeitos da temperatura do ar exterior, uma vez que o sombreamento eliminaria quase a totalidade - cerca de 95% - do efeito da radiação solar. Outros materiais poderão ser usados, mas neste caso será conveniente a pintura com cores claras na face externa.

Outra importante medida seria assegurar uma reduzida contribuição da área ao redor do galpão na quantidade de energia radiante refletida.

O uso de uma simples sombra ao redor do galpão, interceptando a luz solar, pode reduzir a carga de energia radiante em cerca de 30%<sup>18</sup>.

O uso de árvores altas nas proximidades do galpão além de reduzir a carga solar incidente sobre o solo e consequentemente a energia radiante refletida, intercepta também a luz solar direta no interior do galpão. As árvores caducifólias são as que mais se prestam a este tipo de proteção, por impedirem a penetração solar no verão quando estão verdes, e no inverno, ao perderem suas folhas deixam penetrar energia solar no galpão.

Deve-se evitar paredes brancas e objetos brilhantes ou outros edifícios nas proximidades do galpão. Deve haver, de preferência, um gramado ao redor do galpão, uma vez que o calor irradiado pela grama é menor do que o calor irradiado proveniente da terra, concreto, pedriscos ou asfaltos. Experimentos citados por COSTA & HUNTON<sup>18</sup> mostraram que, quando a temperatura do ar foi de 31,8°C, a temperatura da grama e da superfície sob ela foi próxima da do ar, enquanto que a da terra era 60°C, pedriscos 50,2°C, concreto 48,3°C e a do asfalto 49°C.

A grama possui alto poder de absorção dos raios solares ( $\alpha \geq 0,8$ ); as terras naturais e chão batido possuem  $\alpha$

entre 0,4 e 0,7, dependendo da sua cor<sup>38</sup>.

#### 5.3.1.7. Arrefecimento Evaporativo

Outro método de reduzir a temperatura de uma cobertura e conseqüentemente reduzir o efeito da radiação solar é a aspersão de água sobre a mesma.

O calor requerido para evaporação da água é, portanto, retirado da cobertura, apresentando como resultado um decréscimo na sua temperatura.

Este procedimento mostrou-se eficiente quando usado em climas quentes e secos. Segundo valores citados por COSTA & HUNTON<sup>18</sup>, em algumas ocasiões, a temperatura no interior do galpão chegou a diminuir 10°C, devido a aplicação deste método.

Embora tão eficiente quanto a pintura branca, em certas condições climáticas este método apresenta óbvias desvantagens, podendo ser considerado a nível de valor prático geral, de uso limitado<sup>47</sup>.

Não obstante a escassez de água nos climas secos e o elevado custo da mesma na maioria das regiões de clima quente, existem ainda, os problemas adicionais de manutenção de tais sistemas. Criação de fungos, vazamento de água através da cobertura, deriva de água borrifada pela ação do vento, deterioração dos materiais, etc., são alguns dos inconvenientes apresentados, além do custo de implantação do método.

#### 5.3.1.8. Redução das Oscilações Térmicas Diárias - O Uso da Inércia Térmica da Construção

A envolvente de qualquer edificação é alternadamente aquecida durante o dia e resfriada durante a noite. Parte do calor absorvido durante o dia aquece a massa de paredes e cobertura.

À noite, quando a temperatura cai, o calor armazenado na massa da envolvente é liberado para o interior, rezudando conseqüentemente as oscilações na temperatura interna.

Esta propriedade de reduzir as oscilações das temperaturas interiores frente as oscilações das temperaturas exteriores, graças ao acúmulo de calor na massa dos materiais, é chamada de inércia térmica da construção.

Para que o efeito da inércia térmica se evidencie, deve existir uma variação da temperatura externa ( $t_e$ ) em contato com uma vedação qualquer. De modo geral, dependendo da época do ano, das 7 horas até as 19 horas, a massa das paredes e cobertura estará recebendo calor e nas horas restantes, cedendo-o. Isto acontece quando o fenômeno é periódico, como o são, normalmente, os casos naturais. Para clima quente, o problema torna-se mais crítico graças ao aquecimento da superfície externa pelo sol.

Numa parede externa a oscilação da temperatura superficial externa chega ao interior com um amortecimento ( $\mu$ ) expresso pelo quociente entre as oscilações das temperaturas superficiais internas ( $\Delta t_i$ ) e as oscilações das temperaturas superficiais externas ( $\Delta t_e$ ), e com um retardo (ou defasagem) ( $\phi$ ) indicado pelas horas de atraso na penetração do fluxo térmico máximo entre os picos das ondas das curvas de temperatura externa e interna.

A inércia proporciona, também, uma redução da intensidade do fluxo térmico aquém daquele correspondente a uma resistência de condução pura (pelo aparecimento de uma impedância de natureza capacitiva)<sup>15</sup>.

Os efeitos da inércia térmica de um material em relação à transmissão de calor, dependem:

- . da massa específica -  $d$ ,
- . do calor específico -  $c_p$ ,
- . do coeficiente de condutibilidade -  $\lambda$ ,
- . do período de variação da temperatura -  $\tau$  horas,
- . da espessura do material -  $e$

Os valores da massa específica ( $d$ ), do calor específico ( $c_p$ ) e da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de alguns materiais, encontram-se na tabela 1.2.

A título de exemplo é apresentado na tabela 5.8, o amortecimento ( $\mu$ ) e o retardo ( $\phi$ ) da onda de variação periódica de temperatura para algumas coberturas usuais em galpões para criação de frangos, determinados segundo fórmulas convencionais citadas por COSTA<sup>15</sup>.

TABELA 5.8 - Amortecimento e retardo da onda térmica para alguns exemplos de cobertura.

Elementos de vedação	Amortecimento de onda ( $\mu$ )	Retardo de onda ( $\phi$ horas)
Cobertura com telhas francesas, $e = 25\text{mm}$ , $\lambda = 1,05$ , $c_p = 0,92$ , $d = 2000$ .	0,68	1h27min
Cobertura com chapas de fibrocimento: $e = 6\text{mm}$ , $\lambda = 0,76$ , $c_p = 0,84$ , $d = 1900$ .	0,90	23min

Analisando os resultados da tabela 5.8, pode ser verificado que as coberturas geralmente utilizadas apresentam pequeno retardo da onda de variação periódica de temperatura (menor que 1h30min), por serem formadas de finas camadas de materiais.

Sendo os galpões para cria de aves constituídos de pequena massa de materiais comparada ao seu volume e tendo uma alta taxa de movimentação do ar (ventilação), pouco se espera da inércia térmica no sentido de reduzir as oscilações térmicas diárias.

#### 5.4. As Outras Variáveis Climáticas e seu Controle

No item 5.3.1 foram apresentadas as maneiras de minimizar o fluxo térmico ( $q$ ) proveniente das radiações solares sobre a cobertura e laterais do galpão.

Este item objetiva analisar as outras variáveis cli-

máticas que influem no conforto higrotérmico ambiental das aves e o seu controle.

#### 5.4.1. A Temperatura do Ar

Será feita uma análise das situações originadas pela temperatura do ar exterior, para as duas situações climáticas distintas em climas tropicais e subtropicais: o inverno e o verão.

##### 5.4.1.1. Situação de Inverno

###### 5.4.1.1.1. Generalidades

Sabe-se, pelos capítulos anteriores, que nos climas subtropicais existem dois períodos distintos de temperatura do ar: um quente (verão) e outro frio (inverno).

Abordam-se agora os problemas de inverno. Os problemas de verão serão discutidos no item 5.4.1.2.

No inverno o problema se resume em aumentar a temperatura interna do galpão, objetivando situar o microclima interno dentro das zonas de conforto, definidas no capítulo 3.

A situação mais desfavorável ocorre durante a noite, principalmente de madrugada, quando os termômetros registram as temperaturas mínimas. Neste momento torna-se impossível o aproveitamento da energia solar e o efeito da inércia térmica dos materiais é insignificante (ver item 5.3.1.8).

Uma maneira de minimizar o problema é evitar, ao máximo, a perda do calor dissipado pelas aves e acumulado durante as horas do dia. Este é o objetivo deste item.

###### 5.4.1.1.2. Perdas e ganhos de calor do galpão

###### 5.4.1.1.2.1. Perdas de calor

Se considerarmos uma faixa transversal de um galpão,

de comprimento igual a 1,0 m, largura L, com as fachadas laterais totalmente abertas (figura 5.25), as perdas térmicas através da cobertura e das laterais, por unidade de área, podem ser, com certa aproximação, equacionadas:

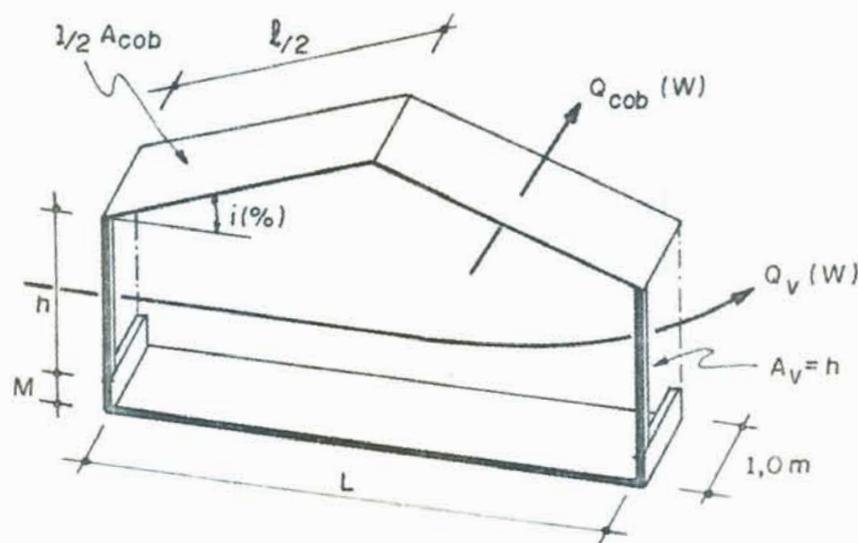


FIGURA 5.25 - Componentes do galpão através dos quais é perdido o calor dissipado pelas aves.

i) Perdas através da cobertura:

As perdas de calor através da cobertura podem ser estimadas pela equação:

$$Q_{cob} = U_{cob} \times A_{cob} \times (t_i - t_e) \quad (5.3)$$

sendo:

$Q_{cob}$  = perdas térmicas através da cobertura (W)

$U_{cob}$  = coeficiente de transmissão de calor da cobertura ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$t_i, t_e$  = temperaturas interna e externa ( $^\circ C$ )

$A_{cob}$  = área da cobertura ( $m^2$ ).

ii) Perdas através da ventilação:

As perdas de calor através da ventilação podem ser dadas pela equação:

$$Q_v = V \times 1200^* \times (t_i - t_e) \quad (5.4)$$

sendo:

$Q_v$  = perda de calor através da ventilação (W)

$V$  = vazão de ar ( $m^3/s$ ).

A vazão de ar ( $V$ ) pode ser determinada, de forma aproximada, pela equação<sup>3</sup>:

$$V = E \times A_e \times v ,$$

onde:

$E$  = coeficiente de eficácia da abertura, de determinação empírica, que se adota com valores de 0,5 a 0,6 em janelas normais.

Adotamos 0,55 ;

$A_e$  = área de entrada ( $m^2$ )

$v$  = velocidade do vento exterior (m/s).

A vazão do ar será portanto:

$$V = 0,55 \times v \times A_e \quad (5.5)$$

Segundo pesquisas de STRAATEN<sup>47</sup>, a tela obrigatoriamente colocada nas aberturas reduz a velocidade do ar interno de forma sensível. Seu efeito varia com a velocidade. Para brisas leves esta redução chega até 60% e para ventos com velocidade de 5 m/s a redução é de apenas 25%. Para levar em conta este efeito na expressão 5.5 é suficiente co-incluir um coeficiente que sugerimos entre 0,3 e 0,5, contemplando a condição extrema.

\* 1200 é a capacidade térmica volumétrica do ar, em  $J/m^3 \text{ } ^\circ C$ , e representa a quantidade de calor que transporta  $1 m^3$  de ar com uma diferença de  $1^\circ C$ .

Se supomos que o fluxo térmico através do piso e das muretas é insignificante, as perdas de calor do galpão serão expressas, com aproximação, como sendo:

$$Q_T = Q_{cob} + Q_v \quad (5.6)$$

ou seja:

$$Q_T = U_{cob} \times A_{cob} \times (t_i - t_e) + 1200 \times V \times (t_i - t_e) \quad (5.7)$$

#### 5.4.1.1.2.2. Ganhos de calor

Os ganhos térmicos provenientes da dissipação de calor pelas aves serão equacionados a partir da produção de calor (tabela 5.9)<sup>2</sup>, com a temperatura do bulbo seco variando de 35,1 a 11,8°C, durante o crescimento.

TABELA 5.9 - Produção de calor de frangos de corte em função da idade.

Produção de calor (W/kg) \ Idade (dias)	3	14	20	31	40	50
Calor sensível	10,77	14,84	11,55	8,45	7,29	8,97
Calor latente	0,71	2,13	1,68	1,81	1,74	1,48
Calor total	11,48	16,97	13,23	10,26	9,03	10,45

Fonte: ASHRAE Handbook..., 1981<sup>2</sup>.

Os ganhos térmicos do galpão podem ser determinados pela equação:

$$G = P_m \times d_a \times L \times C_s \quad (5.8)$$

sendo:

G = ganho de calor proveniente das aves (W)

P<sub>m</sub> = peso médio por ave (kg/ave)

- $d_a$  = densidade de ocupação das aves (ave/m<sup>2</sup>)  
 $L$  = largura do galpão (m) (equivale a área do galpão quando a faixa de comprimento é igual a 1m)  
 $C_s$  = calor sensível dissipado por kg de ave (W/kg) (ver tabela 5.9).

#### 5.4.1.1.3. Determinação da temperatura interna ( $t_i$ ) através do equilíbrio entre perdas e ganhos térmicos em galpões abertos

Para que haja equilíbrio térmico as perdas devem ser iguais aos ganhos de calor.

$$\text{Portanto: } Q_T = G.$$

Para uma faixa de 1,0 m de galpão (figura 5.25), a área de ventilação ( $A_v$ ) resulta igual à altura da abertura ( $h$ ) e a área da cobertura ( $A_{cob}$ ) igual a  $(\ell)$ \*, determinado em função do ângulo de inclinação da cobertura.

Retomando as equações 5.7 e 5.8, igualando-as e efetuando as operações necessárias, podemos determinar a temperatura interna do galpão ( $t_i$ ), através da equação proveniente do equilíbrio entre perdas e ganhos térmicos. A equação resultante é a seguinte:

$$t_i = t_e + \frac{P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s}{660 \cdot v \cdot h + U_{cob} \cdot \ell} \quad (5.9)$$

onde (ver figura 5.25):

$$t_i, t_e = \text{temperaturas interna e externa (}^\circ\text{C)}$$

\*  $A_{cob} = \ell$  (para galpões de 1m de comprimento, ver figura 5.25).

$$\ell = L \sqrt{\left(\frac{i}{100}\right)^2 + 1} \quad \text{Portanto: } A_{cob} = L \sqrt{\left(\frac{i}{100}\right)^2 + 1}$$

sendo:  $L$  = largura interna do galpão (m)

$i$  = inclinação da cobertura (%).

- $P_m, d_a, L, C_s$  = representam o ganho de calor proveniente das aves e assumem os mesmos significados da equação 5.8
- $v$  = velocidade do vento (m/s)
- $h$  = altura da abertura (m) (equivale a área de ventilação ( $A_v$ ) quando a faixa de comprimento do galpão é igual a 1,0 m)
- $U_{cob}$  = coeficiente de transmissão global de calor através da cobertura ( $W/m^2\text{°C}$ )
- $\ell$  = comprimento da cobertura (m) (equivale a área da cobertura ( $A_{cob}$ ) quando a faixa de comprimento do galpão é igual a 1,0 m).

A título de ilustração, arbitrando valores para o galpão da figura 5.25:

#### Dados

- climáticos:
  - $t_e = 4^{\circ}\text{C}$
  - $v = 1 \text{ m/s}$
- geométricos do galpão:
  - $L = 10 \text{ m}$
  - $\ell = 10,11 \text{ m}$
  - $h = 2,5 \text{ m}$
- das aves:
  - $P_m = 1,5 \text{ kg}$
  - $d_a = 12 \text{ aves/m}^2$
  - $C_s = 7,29 \text{ W/kg}$  (tabela 5.9)
- propriedades térmicas da cobertura:
  - $U = 6,33 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (telha de fibrocimento de 6 mm)

Substituindo os dados arbitrados na equação 5.9, a temperatura interna ( $t_i$ ) será:

$$t_i = 4,76^{\circ}\text{C}$$

Observando este resultado verificamos que, para as condições propostas, com as laterais abertas, a temperatura interna do galpão é de  $4,76^{\circ}\text{C}$ , valor muito aquém dos limites da zona de rendimento compensatório, definida no capítulo 3.

Resulta importante, portanto, impedir a perda do calor dissipado pelas aves através das laterais (ventilação) e da cobertura.

#### 5.4.1.1.4. O aumento da temperatura interna através do controle da taxa de renovação do ar

A ventilação considerada higiênica recomendada pela ASHRAE<sup>1</sup>, para a situação de inverno, é de 0,52 a 1,04 l/sxkg de peso vivo. Isto equivale dizer que é necessário, nos galpões convencionais, uma renovação de todo o volume de ar de 10 a 20 vezes por hora.

O método escolhido para equacionar a temperatura interna do galpão consiste em limitar a taxa de ventilação higiênica aos valores mínimos (10 a 20 renovações por hora). É determinada através do equilíbrio térmico (perdas = ganhos), qual será a temperatura resultante.

Na figura 5.25 já foram apresentados os parâmetros considerados na análise.

A vazão de ar renovada por hora (V) será:

$$V = \frac{n \times \text{vol. galpão}}{\text{hora}}$$

sendo:

$$n = \text{número de renovações de ar por hora (10 a 20)}$$

$$\text{vol. galpão} = \text{volume do galpão para uma faixa de 1,0 m de comprimento (m}^3\text{); } = L (h + M) + \frac{i L^2}{400}$$

ou seja:

$$V = \frac{n \left[ L (h+M) + \frac{i L^2}{400} \right]}{3600} \quad (5.10)$$

sendo:

$$V = \text{vazão de ar (m}^3\text{/s)}$$

$$n = \text{número de renovações por hora}$$

$$L = \text{largura do galpão (m)}$$

$$h = \text{altura da abertura (m) (equivale a área de abertura, para a faixa de 1,0 m de comprimento do$$

galpão)

M = altura da mureta (m)

i = inclinação da cobertura (%).

Substituindo V na equação 5.4, a perda de calor através da ventilação ( $Q_v$ ) será:

$$Q_v = \frac{n \left[ L (h+M) + \frac{i L^2}{400} \right]}{3} (t_i - t_e) \quad (5.11)$$

onde:

$Q_v$  = perda de calor através da ventilação (W)

n, L, h, M, i,  $t_i$ ,  $t_e$  = assumem os mesmos significados das equações anteriores.

Chamando de v a expressão:

$$\frac{n \left[ L (h+M) + \frac{i L^2}{400} \right]}{3} \quad (5.12)$$

a perda de calor através da ventilação resulta na expressão:

$$Q_v = v \times (t_i - t_e) \quad (5.13)$$

As perdas de calor através da cobertura ( $Q_{cob}$ ), para 1 m de comprimento do galpão, podem ser estimadas pela equação 5.3, sendo  $A_{cob} = l$ .

As perdas através da mureta ( $Q_m$ ) serão:

$$Q_m = U_m \cdot M (t_i - t_e) \quad (5.14)$$

sendo:

$Q_m$  = perda de calor através da mureta (W)

$U_m$  = coeficiente de transmissão térmica da mureta  
(W/m<sup>2</sup>°C)

M = altura da mureta (m) (equivale a área da mureta para uma faixa de 1 m de comprimento de galpão).

Supondo o galpão fechado com uma cortina de plástico, a perda de calor através da cortina ( $Q_{cort}$ ) será:

$$Q_{cort} = U_{cort} \times h \times (t_i - t_e) \quad (5.15)$$

sendo:

- $Q_{cort}$  = perda de calor através da cortina (W)  
 $U_{cort}$  = coeficiente de transmissão de calor da cortina ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )  
 $h$  = altura da cortina (m) (equivale a área da cortina para a faixa de 1 m de comprimento do galpão).

A perda de calor total ( $Q_T$ ) resulta, portanto, no somatório das perdas através da ventilação, da cobertura, da mureta e da cortina.

Tem-se que:

$$Q_T = v(t_i - t_e) + U_{cob}(t_i - t_e) \cdot \ell + U_m(t_i - t_e) \cdot M + U_{cor}(t_i - t_e) \cdot h \quad (5.16)$$

Os ganhos térmicos (G) podem ser determinados pela equação 5.8.

A temperatura interna ( $t_i$ ) pode ser obtida através do equilíbrio entre perdas ( $Q_T$ ) e ganhos (G) de calor.

Igualando as perdas aos ganhos de calor e fazendo as operações necessárias, tem-se:

$$t_i = t_e + \frac{P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s}{v + U_{cob} \cdot \ell + U_m \cdot M + U_{cort} \cdot h} \quad (5.17)$$

onde:

- $t_i, t_e$  = temperaturas interna e externa ( $^\circ C$ )  
 $P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s$  = ganho de calor proveniente das aves (W)  
 (eq. 5.8)  
 $v$  = capacidade térmica volumétrica do ar ( $W/^\circ C$ )  
 (eq. 5.12)

$U_{cob}$ ,  $U_m$ ,  $U_{cort}$  = coeficientes de transmissão de calor da cobertura, mureta, cortina, respectivamente ( $W/m^2\text{ }^{\circ}C$ )

$\ell$ ,  $M$ ,  $h$  = áreas da cobertura, mureta, cortina, respectivamente, que correspondem ao comprimento da cobertura, da mureta e da cortina, respectivamente ( $m^2$ ).

Arbitrando valores para o galpão da figura 5.25:

#### Dados

- climáticos:
  - $t_e = 4^{\circ}C$
  - $n = 10$  renovações por hora
- geométricos do galpão:
  - $L = 10$  m
  - $\ell = 10,11$  m
  - $h = 2,5$  m
  - $M = 0,5$  m
  - $i = 15\%$
- das aves:
  - $P_m = 1,5$  kg/ave
  - $d_a = 12$  aves/ $m^2$
  - $C_s = 7,29$  W/kg (tabela 5.9)
- propriedades térmicas dos fechamentos:
  - $U_{cob} = 6,33$  W/ $m^2\text{ }^{\circ}C$  (telha de fibrocimento de 6 mm)
  - $U_m = 2,21$  W/ $m^2\text{ }^{\circ}C$  (de tijolos comuns ocos ( $e=12$ cm,  $d=1300$  kg/ $m^3$ , rebocada nas duas faces))
  - $U_{cort} = 6,25$  W/ $m^2\text{ }^{\circ}C$  (cortina de plástico).

Substituindo os valores arbitrados na equação 5.12, o valor de  $v$  será igual a 112,50.

Pela equação 5.17,  $t_i$  será igual a  $10,8^{\circ}C$ , que fica próximo ao limite inferior do rendimento compensatório ( $11,8^{\circ}C$ ). Sendo este cálculo realizado para condições exigentes, estas situações não reduzem de maneira sensível o rendimento geral da criação. Nas regiões de inverno rigoroso as temperaturas míni-

mas médias são de  $8^{\circ}\text{C}^{11}$ . As condições de cálculo analisadas somente são alcançadas 4 ou 5 vezes por ano.

Um aspecto a discutir seria a possibilidade de se obter os valores de  $n$  por meio de cortinas normais.

Diversos autores enfocam o tema das renovações de ar em ambientes fechados com muita cautela, devido as inúmeras variáveis intervenientes. Segundo os critérios recomendados pela ASHRAE, do ponto de vista operativo, pode-se avaliar a vazão por metro de fresta ou junta móvel da janela. Se medirmos os metros lineares de fresta que deixa a cortina, podemos avaliar a vazão por metro necessária para cumprir o requerimento de 10 a 20 renovações por hora. Estes valores serão de 0,0468 a 0,0936  $\text{m}^3/\text{s} \times \text{m}$  e serão da ordem de 60 vezes maiores do que em média se consegue com janelas de madeira<sup>2</sup>. Isto indica que essas vazões são tecnicamente alcançáveis pelos procedimentos correntes.

#### 5.4.1.2. Situação de verão

O controle térmico da situação de verão por meios naturais apela principalmente ao recurso da ventilação. É preciso, em consequência, conhecer seus princípios e aplicações.

A ventilação natural resulta da ação das forças térmicas (ou de temperatura) e das forças aeromotivas (ou do vento)<sup>4,7</sup>, que agem em conjunto ou separadamente.

##### 5.4.1.2.1. Ventilação natural por ação da temperatura

O princípio de funcionamento das forças térmicas é o do termossifão. O ar próximo à fonte de calor se aquece, diminui a densidade, surgem as correntes de convecção, movimentando o ar que é posteriormente substituído por ar frio, de maior densidade. Para que ocorra ventilação natural é essencial uma diferença de temperatura e portanto uma diferença de densidade entre o ar que entra e sai do ambiente.

Sendo as coberturas de um modo geral em duas águas e as moléculas do ar, aquecidas, movimentadas pelo fenômeno da convecção, formam um colchão de ar relativamente estagnado junto a cobertura, com um gradiente decrescente de temperatura até a parte inferior ou piso (figura 5.26).

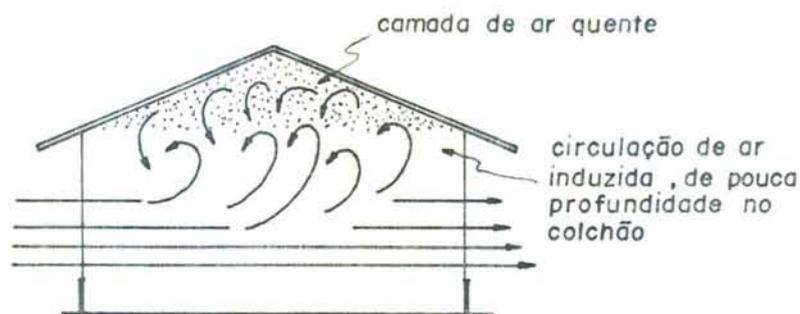


FIGURA 5.26 - Convecção do ar nas coberturas inclinadas.

A camada de ar quente terá maior ou menor efeito sobre os usuários em função de seu afastamento em relação aos mesmos.

Uma forma eficaz de evacuar esta camada de ar quente é o uso de aberturas na cumeeira da cobertura, através de lanternins ou tubos de ventilação<sup>27</sup>.

As diferenças de temperatura entre a camada superior (ar de saída) e a inferior (ar de entrada) provocam diferenças de pressão que se escalonam no sentido vertical.

Graças a esta diferença de pressão gera-se um movimento do ar que deverá retirar o calor proveniente da insolação e o calor dissipado pelas aves.

A vazão de ar a ser renovada no galpão poderá ser obtida adotando como mínima a ventilação higiênica de  $2,08 \text{ l/s} \times \text{kg}$  de peso vivo, para situação de verão, recomendada pela ASHRAE<sup>1</sup>. Esta ventilação equivale a renovação de todo o volume de ar 30 vezes por hora e coincide com a mínima recomendada por GOLDEN<sup>27</sup>.

A área das aberturas de ventilação do lanternim podem ser determinadas pelas expressões 11.6, 11.7 e 11.8, mon-

tadas com base nos dados geométricos das aberturas e nas temperaturas de entrada e de saída do ar (ver anexo II).

A expressão 11.6, ou seja,

$$A_s = \sqrt{\frac{V^2}{0,171^2 \cdot h (t_s - t_e) - \left(\frac{V}{A_e}\right)^2}}$$

nos permite determinar de forma aproximada a área da abertura de saída do lanternim ( $A_s$ ), figura 5.27, por metro linear de galpão.

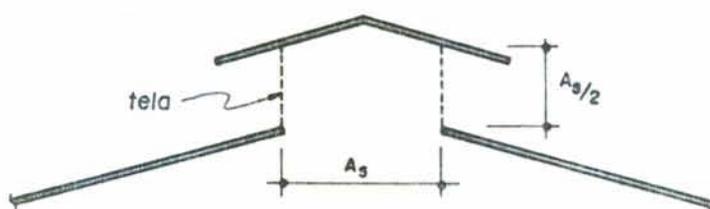


FIGURA 5.27 - Ilustração das aberturas de ventilação em uma cobertura.

Considerando a área da abertura de entrada do ar ( $A_e$ ) igual a de saída ( $A_s$ ), a expressão anteriormente mencionada resulta em  $A = \frac{8,27 V}{\sqrt{h \cdot (t_s - t_e)}}$  (expressão 11.7), que equivale à expressão 11.8,  $A = \frac{8,57 V}{\sqrt{h \cdot \Delta t}}$ , proposta por BATURIN<sup>5</sup> (ver anexo II).

Aplicando valores a estas equações e levando em consideração a existência da tela, tem-se que, para laterais totalmente abertas a abertura de saída do lanternim, por metro linear de galpão, será  $0,30 \text{ m}^2$  de cada lado. Quando a abertura de entrada for igual a de saída, a área destas aberturas será  $0,43 \text{ m}^2$  de cada lado do lanternim (ver anexo II).

Estas seriam as dimensões mínimas que dão condição para produzir a evacuação do ar aquecido, em condições de verão, quando não houver outra força além das técnicas para retirar o calor pela ventilação.

#### 5.4.1.2.2. Ventilação natural por efeito do vento

Este tipo de ventilação é muito mais importante do que a ventilação natural por efeito da temperatura, estudado no item anterior, que aplica-se exclusivamente a situação de ar parado, o que normalmente representa situações excepcionais.

A ventilação natural por efeito do vento depende da diferença de pressão causada pelas forças aeromotivas ou forças do vento. A distribuição desta pressão ao longo da edificação varia de acordo com a direção do vento, com as características geométricas da edificação e com a presença de obstáculos naturais ou anteparos artificiais.

Nas paredes frontais ao movimento do vento (parede de barlavento) ocorre uma pressão positiva e nas opostas (paredes de sotavento) ocorre pressão negativa ou sucção. O mesmo acontece nas coberturas, principalmente as projetadas com declividade acentuada. Nas coberturas pouco inclinadas toda ela se submete à pressão negativa.

Isto equivale dizer que a inclinação da cobertura tem uma importante influência na distribuição de pressão sobre a cobertura e, conseqüentemente, na formação de uma camada de ar estagnada acima da mesma, que controla, em parte, o fluxo de saída do ar.

A previsão das aberturas de ventilação nas zonas de maior sucção tem caráter vantajoso quando se trata da ventilação natural por efeito do vento<sup>47</sup>.

STRAATEN<sup>47</sup> propõe uma equação que permite determinar o fluxo de ar que atravessa uma determinada abertura, em função da pressão exercida pelo vento e que leva em consideração os seguintes parâmetros:

- um coeficiente de descarga do fluxo, que varia com a resistência imposta pelas aberturas e número de aberturas em série através das quais o ar deve fluir;

- um coeficiente de conversão de pressão dinâmica do vento livre em pressão estática, o que depende da direção do vento, das obstruções externas que interferem no fluxo de ar, layout da construção e das características do projeto (inclinação da cobertura, projeção do telhado, dimensões das paredes);

- a área livre das aberturas de entrada e saída e,
- a velocidade do vento.

Efetuada um cálculo aproximado da vazão de ar considerando as aberturas dimensionadas pelo efeito da temperatura, pode ser verificado uma folga na vazão em relação à ventilação mínima exigida. É admitido, por isto, que o dimensionamento das aberturas do lanternim seja feito em função do efeito da temperatura, por ser esta a condição mais desfavorável.

Em adição, as forças térmicas ou de temperatura também contribuem no incremento da ventilação de origem dinâmica, mas quando agem em conjunto o fluxo total não é meramente a soma dos dois fluxos individualmente estimados<sup>17</sup>, pois a vazão é função da raiz quadrada do incremento da diferença entre pressões.

Um sistema de ventilação natural que funcione corretamente não deve permitir a entrada de ar pelas aberturas do lanternim, já que estas são destinadas a extraí-lo.

Para impedir a entrada de ar através das aberturas da cobertura e conseqüentemente evitar a inversão das correntes ascendentes, deve ser mantida fechada a abertura frontal à direção do vento. Havendo uma troca frequente de direção do vento levaria a um constante abrir e fechar de aberturas, o que tornaria impraticável, a menos que se dispusesse de mecanismos específicos para esta operação, o que resultaria em um sistema complicado. Além disto seria necessário aumentar a abertura do lanternim até quase o dobro, para dispor da área livre necessária à ventilação.

Uma maneira de evitar este inconveniente seria a colocação de placas deflectoras transversais a corrente, si-

tuadas a borda da cobertura.

A figura 5.28 mostra um lanternim protegido, proposto por BATURIN<sup>5</sup>, provido de placas deflectoras que giram sobre dobradiças.

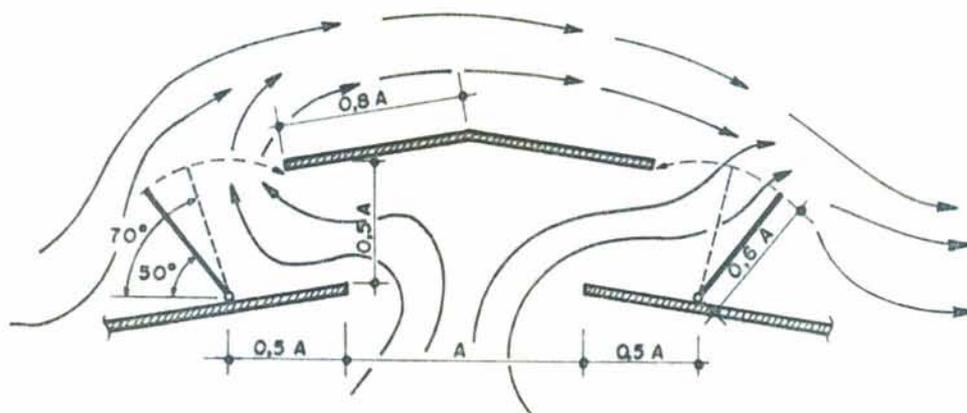


FIGURA 5.28 - Lanternim com proteção, proposto por BATURIN<sup>5</sup>.

As placas protetoras impedem que o vento passe pelas aberturas e permitem regular a renovação de ar de acordo com a estação do ano. É importante dimensionar o comprimento das placas de modo a facilitar o manejo, que pode ser feito por meio de passarela construída nas tramas das tesouras da cobertura. Estas placas podem formar ângulos de 50 a 70° com a horizontal (ver figura 5.28). Para fechar totalmente as aberturas inclinam-se os painéis até que os mesmos toquem os extremos da cobertura. Este tipo de proteção é recomendado para todos os tipos de coberturas inclinadas<sup>5</sup>.

BATURIN<sup>5</sup> apresenta vários tipos de colocação de placas deflectoras e modelos de lanternins protegidos.

Não foi feita uma avaliação detalhada na fixação das placas protetoras por não ser este o objetivo do item. Apenas deve ser ressaltada a sua importância e recomendada sua colocação, haja visto ser um sistema eficiente no controle do fluxo de ar de ventilação.

#### 5.4.2. Umidade do Ar

No item 2.3 tornou-se evidente que a umidade do ar aliada à temperatura configuram parâmetros de grande importância ao interferir nos processos pelos quais a ave pode perder calor.

Este item objetiva o controle dos efeitos da umidade do ar através de meios naturais, uma vez que o controle artificial da temperatura e umidade do ar fogem do escopo deste trabalho.

A inter-relação da umidade e temperatura do ar basicamente se manifesta, do ponto de vista climático brasileiro, através das seguintes situações críticas:

- i) umidade do ar alta e temperatura alta;
  - ii) umidade do ar baixa e temperatura alta;
  - iii) umidade do ar alta e temperatura baixa.
- i) Para as condições de umidade alta e temperatura alta o galpão deve ser o mais arejado possível e orientado de modo a aproveitar os ventos dominantes. O local deve ser planejado evitando barreiras naturais, ou construindo barreiras artificiais, de modo a conduzir a circulação natural do ar pelo interior do galpão. Quando não existir brisas, o uso de ventiladores distribuídos no galpão pode ajudar as aves a diminuir a temperatura corporal.

Como regra geral os galpões são orientados com a sua maior dimensão no sentido leste-oeste. Com esta orientação a carga de calor recebida é a menor possível e haverá, por outro lado, uma face mais fria no galpão, isto é, o lado contrário ao sol. Isto proporciona um ambiente mais adequado às aves durante os períodos quentes do dia e ajuda a circulação do ar através do galpão. Esta orientação é a ideal quando os ventos dominantes são do setor norte ou do setor sul. Esta regra pode ser relegada especialmente em áreas quentes e úmidas, sempre que a brisa dominante seja constante e sopra em outra direção. Para evitar a penetração solar direta o prolongamento do beiral deverá ser conve-

nientemente dimensionado (ver item 5.3.1.4). Já viu-se, porém, que a criação de frangos nestas regiões quentes e úmidas não é, via de regra, um investimento compensatório.

- ii) Quando a umidade do ar é baixa e a temperatura é alta, as aves se sentirão em conforto se o Índice de Temperatura do Globo e Umidade - ITGU - se situar nas faixas de rendimento, definidas no capítulo 3.

Quando a umidade do ar cai abaixo de certos limites o poder dessecante do ar reduz o desempenho das aves. Torna-se difícil estimar o limite inferior desejável de umidade, devido a falta de pesquisas aplicadas.

Uma medida a ser tomada é fazer com que o ar seco, antes de entrar no recinto, passe por um painel úmido ou por uma névoa de água atomizada. Outra medida seria pulverizar água fresca sobre as aves, de modo a mantê-las ligeiramente úmidas e conseqüentemente mais frias e ao mesmo tempo a umidade do ar aumentada. A energia requerida para a evaporação da água provoca uma redução na temperatura e o ar mais úmido diminui o desconforto devido a aridez do clima. A ventilação exagerada não é recomendável porque impede a criação do microclima úmido.

- iii) Quando a umidade do ar é alta e a temperatura é baixa, é fundamental proporcionar um aumento na temperatura do ar de modo a manter o ITGU nos limites desejáveis e também para diminuir a saturação do ar.

A ventilação requerida no galpão deve ser a suficiente para remover a umidade proveniente da água evaporada através da respiração e de outras fontes. A taxa de ventilação deve coincidir com a ventilação higiênica mínima mencionada no item 5.4.1.1.4.

As medidas de aproveitamento do calor natural vistas em outros capítulos devem ser empregadas.

## 6. PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS CONSTRUTIVAS PARA AS SITUAÇÕES CLIMÁTICAS TIPIFICADAS

No item 4.3 são apresentadas as cinco faixas climáticas brasileiras tipificadas. O propósito deste capítulo é o de propor alternativas construtivas de galpões para estas faixas climáticas.

### 6.1. Faixa A

#### 6.1.1. Características da Faixa

Esta faixa caracteriza-se pela apresentação de condições higrotérmicas plenamente aptas para o desenvolvimento da avicultura de corte.

Os verões não são demasiadamente quentes, embora o efeito da radiação solar deve ser evitado.

Os invernos são moderados e não requerem cuidados e dispositivos especiais de proteção contra o frio.

A umidade do ar encontra-se nos limites recomendáveis (50 a 80%)<sup>1</sup> em todos os meses do ano. Excesso ou falta de umidade no ar pode ser verificado em determinadas microrregiões, em pequenos períodos do ano, porém a umidade relativa é satisfatória ( $UR_a$  menor que 80%).

#### 6.1.2. Características do Galpão

A exposição das características do galpão será feita a partir das exigências das aves e das condições de exposição e ocupação, o que permite propor soluções e justificá-las.

Na tabela 6.1 está apresentado o resumo desta metodologia.

TABELA 6.1 - Alternativas construtivas para o galpão situado na faixa climática A.

Exigências	Condições de exposição e ocupação	Exigências de desempenho	Soluções possíveis	Método de cálculo e justificativa														
<p>Conforto higro-térmico (temperatura, umidade e radiação)</p> <p>Ótimo:</p> <p><math>63 \leq ITGU \leq 71</math></p> <p>Compensatório:</p> <p><math>56 \leq ITGU &lt; 74</math></p>	<p><u>Verão:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dia típico de verão:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>t_{mq}</math> limite: <math>25^{\circ}C</math></li> </ul> </li> <li>• insolação: &gt; 2000 horas de sol por ano</li> <li>• ocupação interna:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 20 kg peso vivo/m<sup>2</sup></li> </ul> </li> <li>• ventilação natural</li> <li>• umidade relativa:                             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>UR_a</math> limite: 80%</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Inverno:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dia típico de inverno:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>t_{mf}</math> limite: <math>14^{\circ}C</math></li> </ul> </li> <li>• ocupação interna:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 24 kg de peso vivo/m<sup>2</sup></li> </ul> </li> <li>• umidade relativa:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>UR_a</math> limite: 80%</li> </ul> </li> </ul>	<p><u>Verão:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• cobertura:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>t_{si} \leq 42^{\circ}C</math></li> <li>- fluxo térmico de entrada:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li><math>q &lt; 60 W/m^2</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• ventilação:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>V_{ver\tilde{a}o} \geq 2,08 \ell/s \times kg</math> de peso vivo</li> <li>- <math>v_{max} \leq 1,0 m/s</math></li> </ul> </li> </ul> <p><u>Inverno:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• cobertura:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- fluxo térmico de saída: s/exigências</li> </ul> </li> <li>• ventilação:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,52 a 1,04 <math>\ell/s \times kg</math> de peso vivo</li> </ul> </li> </ul>	<p>Orientação: Leste-oeste (eixo principal)</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="4">Cobertura</td> <td>I</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficientes de transmissão térmica (U) &lt; <math>5,0 W/m^2^{\circ}C</math>; + pintura externa com cor clara (<math>\alpha \leq 0,4</math>)</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>II</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de forro (ventilado ou não); Coeficiente de transmissão térmica (U) da cobertura + ático + forro <math>\leq 2,0 W/m^2^{\circ}C</math>.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>III</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de aberturas de ventilação na cumeeira (lanternim); dimensões: 0,30 a 0,43 m de cada lado, ao longo de todo o galpão, protegidas com tela.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de pára-sol para sombreamento da cobertura</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">PAREDES</td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laterais teladas protegidas com cortinas de plástico ou de lona;</li> <li>• Mureta de alvenaria de 40 a 60cm de altura;</li> <li>• Fachadas leste-oeste (oitões): alvenaria de tijolos, blocos (cerâmicos ou de concreto) ou de madeira.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>COMPLEMENTOS</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sombreamento da circunvizinhança com árvores caducifólias e grama;</li> <li>• Uso de aspersores sobre a cobertura;</li> <li>• Em situações onde a umidade relativa cai abaixo de 50% recomenda-se o uso de borrifadores ou pulverizadores de água sobre as aves.</li> </ul> </td> </tr> </table>	Cobertura	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficientes de transmissão térmica (U) &lt; <math>5,0 W/m^2^{\circ}C</math>; + pintura externa com cor clara (<math>\alpha \leq 0,4</math>)</li> </ul>	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de forro (ventilado ou não); Coeficiente de transmissão térmica (U) da cobertura + ático + forro <math>\leq 2,0 W/m^2^{\circ}C</math>.</li> </ul>	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de aberturas de ventilação na cumeeira (lanternim); dimensões: 0,30 a 0,43 m de cada lado, ao longo de todo o galpão, protegidas com tela.</li> </ul>	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de pára-sol para sombreamento da cobertura</li> </ul>	PAREDES		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laterais teladas protegidas com cortinas de plástico ou de lona;</li> <li>• Mureta de alvenaria de 40 a 60cm de altura;</li> <li>• Fachadas leste-oeste (oitões): alvenaria de tijolos, blocos (cerâmicos ou de concreto) ou de madeira.</li> </ul>	COMPLEMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sombreamento da circunvizinhança com árvores caducifólias e grama;</li> <li>• Uso de aspersores sobre a cobertura;</li> <li>• Em situações onde a umidade relativa cai abaixo de 50% recomenda-se o uso de borrifadores ou pulverizadores de água sobre as aves.</li> </ul>	<p>Ver páginas seguintes.</p> <p>Obs.: Em todas as soluções alternativas apresentadas para a cobertura, o dimensionamento do beiral deve seguir a metodologia proposta no item 5.3.1.4.</p>
			Cobertura		I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficientes de transmissão térmica (U) &lt; <math>5,0 W/m^2^{\circ}C</math>; + pintura externa com cor clara (<math>\alpha \leq 0,4</math>)</li> </ul>												
					II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de forro (ventilado ou não); Coeficiente de transmissão térmica (U) da cobertura + ático + forro <math>\leq 2,0 W/m^2^{\circ}C</math>.</li> </ul>												
					III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de aberturas de ventilação na cumeeira (lanternim); dimensões: 0,30 a 0,43 m de cada lado, ao longo de todo o galpão, protegidas com tela.</li> </ul>												
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de pára-sol para sombreamento da cobertura</li> </ul>																	
PAREDES		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laterais teladas protegidas com cortinas de plástico ou de lona;</li> <li>• Mureta de alvenaria de 40 a 60cm de altura;</li> <li>• Fachadas leste-oeste (oitões): alvenaria de tijolos, blocos (cerâmicos ou de concreto) ou de madeira.</li> </ul>																
	COMPLEMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sombreamento da circunvizinhança com árvores caducifólias e grama;</li> <li>• Uso de aspersores sobre a cobertura;</li> <li>• Em situações onde a umidade relativa cai abaixo de 50% recomenda-se o uso de borrifadores ou pulverizadores de água sobre as aves.</li> </ul>																

## MÉTODO DE CÁLCULO E JUSTIFICATIVAS

Considerou-se como exigência ótima no desempenho do galpão, no acondicionamento térmico natural, a condição de que a temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ) seja aproximadamente igual à temperatura do ar exterior (ou seja, com incremento térmico devido a radiação solar desprezível). A temperatura interna ( $t_i$ ) varia em função da temperatura do ar externo ( $t_e$ ).

Para a faixa climática A, tipificada no capítulo 4, as alternativas construtivas são as seguintes:

i) Para a cobertura:

Solução I: Pintura externa com cor clara:

O coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) definido no item 1.1 deve ser menor que  $5,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (ver tabela 5.2) e pode ser determinado pela equação 1.12. Simultaneamente a cobertura deve receber pintura clara, com coeficiente de absorção das radiações solares,  $\alpha$ , menor ou igual a 0,4 (ver tabela 1.1). Esta medida implica numa redução de 60% do fluxo térmico devido a insolação (ver tabela 5.1).

Ao aplicar-se estas condições consegue-se fazer com que o fluxo térmico que atravessa a cobertura seja menor que  $60 \text{ W/m}^2$  e a temperatura superficial interna menor que  $42^\circ\text{C}$ . Desta forma reduz-se sensivelmente o efeito da cobertura quente sobre as aves e fica a temperatura interna, em parte, em função do ar externo que entra no galpão.

Salienta-se no entanto que, para conseguir uma redução efetiva no fluxo térmico, a pintura clara da cobertura exige manutenção periódica dependendo do tipo de tinta utilizado.

Solução II: Uso de forro:

Recomenda-se, como solução alternativa para o desempenho exigido, que a cobertura seja de telhas de barro ou fibrocimento, provida de forro, apresentando o conjunto (telha-

do + ático ventilado ou não + forro) um coeficiente de transmissão térmica (U) igual ou inferior a  $2,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (ver item 5.3.1.2.2).

O uso de um forro de duratex de 6 mm de espessura reduz o fluxo térmico que penetra ao interior em mais de 60%. Se o ático for adequadamente ventilado a redução será cerca de 90%, quando comparado com a mesma cobertura, porém sem forro (ver tabela 5.3).

Outras alternativas de forro podem ser calculadas pelas expressões 1.19, 1.20, 1.21, 1.22 e 1.23 do anexo 1.

Qualquer tipo de forro empregado obterá condições melhores do que as exigidas ( $t_{s_i} \leq 42^\circ\text{C}$  e  $q < 60 \text{ W/m}^2$ ). O problema centra-se na obtenção de uma solução construtiva e de materiais que fazem desta uma solução economicamente viável.

#### Solução III: O uso de lanternim

Outra solução alternativa é o uso de lanternim na cobertura, dimensionado conforme equações 11.6 e 11.7, objetivando retirar o calor proveniente da insolação e o dissipado pelas aves.

Salienta-se que os limites de ventilação considerados no dimensionamento das aberturas são os mínimos recomendados pela bibliografia consultada<sup>1, 27</sup>. Pelos dados é recomendado que a abertura do lanternim seja de 0,30 a 0,43 m em cada aba da cobertura, em galpões simétricos, o que proporcionará, com folga, a ventilação requerida (ver 5.4.1.2.1 e anexo 11).

#### Solução IV: O uso de pára-sol ou sombreamento da cobertura

Como foi posto em evidência no cálculo do forro ventilado, qualquer solução de pára-sol cumpre o exigido (ver itens 5.3.1.2.2 e 5.3.1.6).

A eficiência do pára-sol depende no entanto dos seguintes fatores:

- acabamento da superfície externa (cor);
- poder isolante do material utilizado (espessura, condutibilidade);
- emissividade da superfície inferior do pára-sol e da superfície exterior da cobertura;
- isolamento da cobertura.

Através da manipulação destes fatores é possível aumentar a eficiência de um pára-sol, ou seja, reduzir o fluxo térmico devido a radiação solar.

Considerando o custo da implantação e a existência de outras alternativas também viáveis, este artifício é pouco popularizado e por isto pouco utilizado.

#### ii) Para as paredes:

Nas fachadas laterais o espaço compreendido entre a mureta e o telhado e as aberturas do lanternim devem ser protegidos com tela de arame.

Externamente à tela deve-se instalar uma cortina que poderá ser de plástico, lona ou outro material e que servirá para o manejo da ventilação. Esta cortina será facilmente operada por meio de uma roldana com manivela.

Para evitar incidência direta de correntes de ar sobre as aves é imprescindível que as cortinas movimentem de baixo para cima ao fecharem-se e de cima para baixo ao abrirem-se<sup>24</sup>.

As fachadas leste-oeste (oitões) devem ser de alvenarias de tijolos, blocos ou de madeira em toda a sua extensão, objetivando impedir a penetração de radiação solar no interior do galpão nas primeiras e últimas horas do dia (ver item 5.3.1.4).

#### iii) Complementos:

- O sombreamento das áreas circunvizinhas com árvores caducifólias e o uso de grama para proteção do solo reduz,

em alguma extensão, a radiação em onda longa proveniente do mesmo. Esta medida, ao reduzir a energia emitida pela circunvizinhança, reduz também a temperatura radiante média e consequentemente a temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ) (ver itens 5.3.1.6 e 5.3.1.5.1).

- Visando reduzir a temperatura da cobertura e consequentemente o efeito da radiação solar, a aspersão de água sobre a mesma pode ser eficiente quando usada em clima quente e seco. Este método apresenta inconvenientes, conforme descrito no item 5.3.1.7.

- Esta faixa pode apresentar microrregiões onde a umidade do ar torna-se abaixo do limite inferior recomendado pela ASHRAE<sup>1</sup> em determinados períodos durante o ano. Para corrigir a falta de umidade do ar nestas ocasiões, algumas medidas podem ser tomadas: uma, seria fazer com que o ar seco, antes de entrar no galpão, passe por um painel úmido ou por uma névoa de água atomizada; outra, seria pulverizar água fresca sobre as aves (ver item 5.4.2.ii).

## 6.2. Faixa B

### 6.2.1. Características da Faixa

Esta faixa apresenta condições térmicas satisfatórias para a criação de aves de corte, porém com uma restrição.

Os verões não são demasiadamente quentes nem os invernos frios, são tais como se apresentam na faixa A. Salienta-se no entanto que o efeito da radiação solar deve ser evitado.

A umidade do ar constitui o elemento de restrição desta faixa, que apresenta-se em níveis elevados ( $80\% \leq UR_a \leq 85\%$ ). A umidade relativa nesta ordem pode trazer problemas sanitários com certa frequência.

### 6.2.2. Características do Galpão

Neste item será ressaltado somente as características que diferem das alternativas apresentadas para a faixa A, por ser a diferença entre ambas somente na condição de exposição inerente a umidade relativa elevada ( $80\% \leq UR_a \leq 85\%$ ).

i) Cobertura: Para esta faixa as alternativas para a cobertura são idênticas as da faixa A, porém o lanternim para ventilação é sempre recomendável.

ii) Paredes: As fachadas laterais são idênticas as da faixa A, porém a altura da mureta não deve exceder a 15 cm, para permitir que o vento atinja a parte superior do corpo da ave. As fachadas dos oitões podem ser compostas de mureta de alvenaria de 15 cm de altura, sendo o restante do espaço protegido com tela e cortina. Quando esta solução for adotada, deve-se prever medidas de proteção contra a penetração solar direta. Recomenda-se a proteção com árvores, o uso de beirais frontais longos, pára-sóis verticais, etc.

● A análise da disposição dos galpões objetivando uma ampla ventilação se faz importante na medida em que os ventos dominantes têm direção e frequência constantes. É recomendado que a orientação do eixo principal do galpão seja feita no sentido leste-oeste, embora pequenas variações podem ser toleradas de modo a aproveitar estes ventos dominantes.

iii) Complementos: Barreiras naturais devem ser evitadas, ou artificiais construídas, de modo a propiciar a circulação natural do ar. O uso de ventiladores distribuídos ao longo do galpão é recomendado, especialmente nos picos de temperatura (ver item 5.4.2.i).

● O sombreamento da circunvizinhança com árvores caducifólias e grama também deve ser usado (ver faixa A).

### 6.3. Faixa C

#### 6.3.1. Características da Faixa

A faixa C é considerada apta porém apresenta restrição à criação de aves em escala comercial.

Os verões não são demasiadamente quentes, embora o efeito da radiação solar deve ser evitado, por causar stress devido ao calor em determinadas horas do dia.

Já, nesta faixa, são frequentes os invernos com temperaturas muito baixas ( $t_{mf}$  inferior ao limite satisfatório,  $14^{\circ}\text{C}$ ), o que se torna uma restrição. Em determinados períodos a temperatura interna do galpão cai a limites muito aquém dos considerados compensatórios, definidos pelas zonas higro-térmicas (capítulo 3), principalmente nas horas em que não se pode contar com a radiação solar. Em face disto resulta importante incrementar a temperatura interna através do aproveitamento do calor dissipado pelas aves. Para que este objetivo seja atingido, o galpão deve evitar o máximo possível a perda do calor gerado no seu interior e isto implica na existência de dispositivos especiais de proteção contra o frio.

#### 6.3.2. Características do Galpão

Serão comentadas somente as características que diferem das apresentadas para galpões da faixa A, uma vez que a diferença capital reside nos invernos frios que esta faixa apresenta.

i) Cobertura: As alternativas para a cobertura são idênticas às propostas para a faixa A, diferindo apenas no que se refere ao uso de lanternim (alternativa III).

Salienta-se que nesta faixa é essencial que as aberturas do lanternim sejam reguláveis, controlando assim o fluxo de saída do ar totalmente ou parcialmente (ver figura 5.28).

A importância do controle do fluxo de saída do ar está no fato de ser a ventilação uma das principais vias de perda do calor gerado no interior do galpão.

Tendo esta faixa a característica de possuir com frequência invernos com temperaturas muito baixas e verões quentes, o galpão deve contemplar as duas situações: a de inverno e a de verão. No verão a cobertura deve permitir o mínimo possível a penetração da radiação solar e deve facilitar a ventilação natural. No inverno deve isolar o máximo seu microclima interno, evitando a perda de calor através de seus componentes e da ventilação.

O uso de lanternins com aberturas reguláveis permite incrementar a ventilação no verão e reduzi-la (ou eliminá-la) no inverno.

Neste trabalho não se deteve no detalhamento dos mecanismos de regulação dos lanternins, uma vez que estes apesar de requererem certa engenhosidade podem ser facilmente adaptados. O propósito é o de que o mecanismo de regulação da abertura cumpra a sua função. No caso de não poder assegurar esta flexibilidade é preferível desistir da colocação do lanternim.

ii) Paredes: Nas regiões onde predominam verões quentes e invernos frios é comum a coexistência de ventos frios provenientes do sul durante o inverno.

Visando proteger o interior do galpão contra tais ventos frios dominantes, recomenda-se que a fachada sul seja de alvenaria ou madeira com juntas vedadas, dotadas de aberturas (janelas) de ventilação, dimensionadas conforme o item 5.4.1.2. Estas aberturas devem ser reguladas de acordo com a necessidade de renovação do ar. Assim, no verão as janelas ficarão totalmente abertas e no inverno parcialmente ou totalmente fechadas.

A lateral norte deverá ter mureta de alvenaria de 40 a 60 cm de altura. O espaço entre a mureta e a cobertura será telado, protegido com cortina de plástico transparente, permi-

tindo a passagem dos raios solares para aquecimento interno, criando um efeito estufa (ver item 5.4.1.1). A colocação da cortina é a mesma indicada para a faixa A.

As fachadas leste-oeste ou paredes de oitões devem ser de alvenaria de tijolos, blocos (cerâmicos ou de concreto) ou de madeira.

iii) Complementos: Recomenda-se o sombreamento da circunvizinhança do galpão com árvores caducifólias e a proteção do solo com grama, visando, primeiro, aproveitar o efeito das radiações solares no inverno e segundo, diminuir a radiação em onda longa proveniente do solo quente (ver item 5.3.1.6).

É recomendado também complementar com o uso de ventiladores ao longo do galpão, principalmente nos picos de temperatura do verão (idem recomendações para a faixa A).

#### 6.4. Faixa D

Esta faixa apresenta umidade relativa demasiadamente elevada ( $UR_a > 85\%$ ), o que caracteriza a marginalidade climática ao proporcionar problemas sanitários frequentes.

Resulta então impraticável a criação de aves para corte em escala comercial competitiva nesta faixa, quando se usa acondicionamento térmico natural no galpão.

#### 6.5. Faixa E

Nesta faixa a temperatura é demasiadamente elevada praticamente ao longo de todo o ano ( $t_{mq} > 25^{\circ}\text{C}$ ), causando stress por calor e constituindo, conseqüentemente, a marginalidade climática.

Em face disto, esta faixa torna-se inapta a avicultura de corte em escala comercial, quando se usa acondicionamento térmico natural no galpão.

## 7. CONCLUSÕES

Os propósitos desta dissertação foram basicamente de duas ordens:

i) Contribuir na sistematização do tema "conforto higrotérmico das aves", relacionando os aspectos da fisiologia aviar, das condições climáticas e da conversão alimentar na economia de produção, tema particularmente carente na informação dos técnicos em avicultura.

ii) Expor a influência das variáveis higrotérmicas que participam nas decisões de projeto de galpões para a criação de frangos. Este tema é também necessário para poder fundamentar cientificamente as opções em matéria de tecnologia construtiva, quando se trata do desenvolvimento industrial da criação de frangos no Brasil, opções estas que vem sendo adotadas de forma praticamente empírica.

Estes objetivos dissímeis, porém complementares, configuraram um trabalho que teve necessidade de desenvolver com certa profundidade duas áreas distintas. Isto obrigou a adotar cuidados para não abusar em desenvolvimento de detalhes excessivos no contexto geral, desvirtuando o principal objetivo. É nesse intuito que foram colocados os Anexos, contendo desenvolvimentos matemáticos que se colocados no texto distrairiam a continuidade temática. Contudo, há capítulos onde isto não foi possível e permanecem com árida leitura.

Várias barreiras foram encontradas no decorrer deste trabalho, incluindo a falta de bibliografia e de pesquisas aplicadas no setor avícola. Notou-se dificuldade para equacionar os limites de conforto das aves devido à complexidade da inter-relação dos fatores climáticos, embora os primeiros passos tenham sido dados no sentido de se limitar as zonas recomendáveis para a criação de frangos de corte.

A definição das zonas higrotérmicas de conforto encontra-se apoiada na bibliografia referenciada e sua validade, para maior segurança, necessita de aplicação prática para uma melhor confirmação com a realidade climática no âmbito nacional.

Ressalta-se também que os valores usados quando se trata das características dos materiais para as alternativas da cobertura estão alicerçados em referências de diversos autores e já aceitos pela comunidade científica. Caberia verificar a validade destes valores para as nossas condições e compará-los com os resultados apresentados.

Podem ser apontados como pontos positivos alcançados neste trabalho os seguintes:

- a sistematização de informações acerca da fisiologia aviar, bem como as noções de transferência de calor que permitem avaliar o desempenho térmico dos componentes da edificação;
- a definição e o equacionamento dos parâmetros ambientais que conduzam a uma melhor conversão alimentar e, portanto, maior rendimento;
- a definição das zonas higrotérmicas ótimas e aceitáveis para a criação de frangos de corte. O uso de tal definição permite, conhecidos os elementos do clima, verificar se a região é apta ou marginal ao desenvolvimento da avicultura;
- a determinação, de forma aproximada, da taxa de movimento do ar e do período necessário de ventilação, para que as condições internas se enquadrem nos limites recomendados;
- a proposição de alternativas construtivas para as situações climáticas tipificadas, o que permite escolher aquelas mais adequadas às características climáticas e tecnológicas de cada região.

Com isto, acredita-se que se conseguiu atingir os objetivos principais do trabalho. Considera-se que um avanço maior na precisão da escolha das alternativas só poderá ser

feito no caso de estarem referidas a condições concretas de tecnologia e do clima local. Inúmeras pesquisas são necessárias e certamente serão feitas, objetivando obter um balanço racional entre custo x benefício das diversas soluções alternativas apresentadas. Os resultados destas não só ampliarão as zonas de criação, mas também fornecerão diretrizes para a elaboração de projetos mais ajustados ao clima.

## SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS RELACIONADAS COM O TEMA

- Realização de estudos experimentais de conversão alimentar das linhagens de frangos criados no país, em função das diferentes condições higrotérmicas (ITGU). Através dos resultados obtidos, analisar a viabilidade econômica das soluções e modificações do galpão que conduzam a uma conversão alimentar mínima e/ou a ampliação das zonas de ótima rentabilidade.

- Comparação experimental da adequação das soluções alternativas propostas para o projeto de galpões. Dentre os experimentos que poderiam ser realizados, destacar:

- a eficiência da caiação nova na cobertura;
- a eficiência comparada do uso do lanternim e do aumento do pé direito do galpão;
- a eficiência da utilização de plástico transparente na fachada norte, no aumento da temperatura interna (o efeito estufa) nos galpões da região sul.

- Estudo de sistemas e componentes de ventilação ao nível dos frangos, incluindo a disposição, a localização e a eficiência dos ventiladores.

## ANEXO I - DETERMINAÇÃO DO FLUXO TÉRMICO PROVENIENTE DAS RADIAÇÕES SOLARES

### 1.1. As Superfícies Opacas Frente as Radiações Solares

A radiação solar constituída de ondas curtas, como foi mencionado no item 5.2.1, será absorvida em maior ou menor quantidade pelos elementos da construção (cobertura, paredes) em função das características destes elementos.

Em um elemento opaco da construção (cobertura, parede) a absorção da radiação solar se dá conforme a figura 1.1:

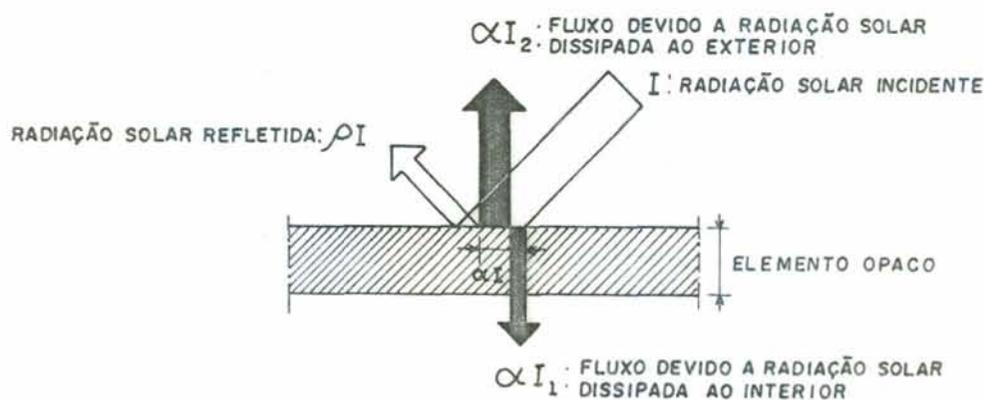


FIGURA 1.1 - Absorção da radiação solar pelos elementos opacos da construção.

A energia solar absorvida  $\alpha I$  pode ser escrita:

$$\alpha I = \alpha I_1 + \alpha I_2$$

sendo  $\alpha$  o coeficiente de absorção das radiações solares, ou seja, a relação entre a energia solar absorvida por um elemento e a energia solar incidente. Na tabela 1.1 encontram-se alguns valores de  $\alpha$  dos materiais correntes.

Pode-se observar na figura 1.1 que parte da energia solar incidente ( $I$ ) é refletida ( $\rho I$ ), isto é, devolvida ao exterior em forma de radiação solar. O restante da energia ( $\alpha I$ ) é absorvido pelo elemento opaco, sendo que parte desta absorção é dissipada para o exterior ( $\alpha I_2$ ) por convecção e radiação em ondas de grande comprimento e parte ao interior ( $\alpha I_1$ ) por condução através do elemento da edificação. Da superfície interna do elemento a energia é dissipada, para o interior, por radiação em ondas de grande comprimento e por convecção para o ar.

A transferência de calor por condução foi definida no item 2.1.2.1.2.

A transferência de calor por convecção entre uma superfície e um fluido é a troca de calor entre os mesmos, devido ao mecanismo combinado da condução e movimentação do fluido. Esta pode ser natural ou forçada, conforme foi mencionado no item 2.1.2.1.3.

Não é somente a resistência térmica dada pela condução através do elemento opaco que determina o fluxo de calor que penetra ao interior, mas também as resistências térmicas das duas superfícies do elemento, ou seja, a dificuldade do calor mudar a via pela qual é transmitido. Estas resistências são denominadas coeficientes superficiais de troca de calor.

Os coeficientes superficiais determinam a taxa de troca de calor entre uma superfície e o ar envolvente por convecção ( $h_c$ ) e a troca de calor por radiação entre superfícies ou entre superfícies e o céu ( $h_r$ )<sup>26</sup>.

Estes coeficientes englobam a transmissão de calor por convecção e radiação pela superfície do elemento e são influenciados, basicamente, pela taxa de movimento do ar, pela posição e pela emissividade ( $\epsilon$ ) da superfície.

Emissividade ( $\epsilon$ ) é o poder relativo de um material para emitir energia radiante. É determinada pelo quociente entre a irradiação de um corpo e a do corpo negro, a igual temperatura, na mesma unidade de tempo.

A emissividade de uma superfície perfeitamente negra é igual a 1,0. Para as demais superfícies a faixa de valores varia de 0,05 (para alguns metais altamente polidos) a 0,95 (para a maioria dos materiais básicos de construção) (ver tabela 1.1).

GIVONI<sup>26</sup> apresenta os valores do coeficiente de troca térmica superficial por radiação ( $H_r$ ) para uma superfície negra em diferentes temperaturas.

Temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ )	20	30	40	50
$H_r$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	5,8	6,3	7,0	8,1

Para uma superfície com uma emissividade  $\epsilon$  o coeficiente de troca térmica superficial por radiação ( $h_r$ ) é dado pelo produto:

$$h_r = \epsilon H_r$$

Os valores de  $\epsilon$  estão apresentados na tabela 1.1.

O coeficiente de troca térmica superficial por convecção depende, principalmente, da taxa do movimento do ar sobre a superfície, isto é, da velocidade do vento e da posição do fechamento.

Para superfícies verticais e de acordo com a diferença de temperatura entre a superfície e o ar, os valores do coeficiente superficial de troca de calor por convecção natural ( $h_{cl}$ ) são os seguintes<sup>26</sup>:

Diferença de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	2	10	30
$h_{cl}$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	2,3	3,5	4,7

TABELA 1.1 - Coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) de alguns materiais de construção.

Discriminação	Coeficiente de absorção para radiação solar ( $\alpha$ )	Emissividade para longo comprimento de onda ( $\epsilon$ )
. Folha alumínio, brilhante	0,05	0,05
. Folha alumínio, oxidada	0,30 - 0,50	0,12
. Aço galvanizado, brilhante	0,25 - 0,60	0,25
. Pintura com tinta de alumínio	0,30 - 0,50	0,40 - 0,60
. Chapas de alumínio	0,40 - 0,65	0,20 - 0,30
. Telha de barro	0,65 - 0,85	0,85 - 0,95
. Chapa fibro-cimento	0,70 - 0,88	0,85 - 0,95
. Revestimento asfáltico	0,85 - 0,98	0,90 - 0,98
. Tijolo à vista	0,65 - 0,80	0,85 - 0,95
. Concreto aparente	0,65 - 0,80	0,85 - 0,95
. Reboco claro	0,30 - 0,50	0,85 - 0,95
. Caição, nova	0,12 - 0,18	0,90
. Pintura branca	0,20 - 0,30	0,85 - 0,95
. Pintura amarela, laranja, rosa claro	0,30 - 0,50	0,85 - 0,95
. Pintura vermelha, verde claro, azul claro	0,50 - 0,70	0,85 - 0,95
. Pintura verde escuro, marrom, azul escuro	0,70 - 0,90	0,85 - 0,95
. Pintura preta, marrom fechado	0,90 - 1,00	0,85 - 0,95

Fontes: GIVONI<sup>26</sup>; GOMES<sup>28</sup>; CROISSET<sup>19</sup>.

Obs.: Segundo CROISSET<sup>19</sup> os valores de  $\alpha$  inferiores a 0,30 não podem ser obtidos na prática, a não ser que a pintura seja refeita regularmente.

Para uma superfície horizontal e fluxo térmico ascendente estes valores devem ser multiplicados pelo fator 1,33 e para fluxo térmico descendente, pelo fator 0,67. Esta diferença refere-se à convecção natural mais facilitada no primeiro caso.

A convecção forçada é fator dominante nos casos em que a superfície está exposta aos efeitos do vento. Depende da velocidade do vento próximo à superfície.

O coeficiente superficial de troca térmica por convecção forçada ( $h_{c2}$ ) pode ser estimado por<sup>26</sup>:

$$h_{c2} = 4,186 v$$

onde  $h_{c2}$  é expresso em  $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$  e  $v$  a velocidade do vento em m/s.

O coeficiente superficial de troca térmica ( $h$ ) é a soma dos coeficientes de troca térmica por radiação ( $h_r$ ) e por convecção ( $h_c$ ).

Para superfícies externas

$$h_e = h_c + h_r \quad (1.1)$$

e para as internas ( $h_i$ ) é dado por

$$h_i = h_c + h_r \quad (1.2)$$

Retomando a figura 1.1, consideremos um elemento opaco (figura 1.2), cujas superfícies externa e interna estão, respectivamente, às temperaturas  $t_{se}$  e  $t_{si}$ , e que separa dois ambientes, onde as temperaturas do ar são, respectivamente,  $t_e$  e  $t_i$ , e que elas se mantêm constantes, constituindo um regime estacionário. Na superfície externa incide uma radiação solar  $I$ .

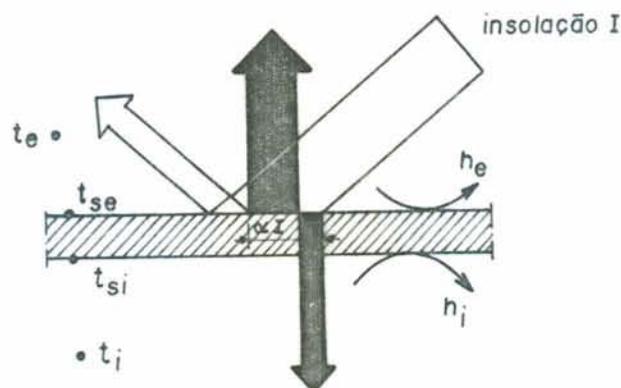


FIGURA 1.2 - Transmissão de calor em elementos opacos.

Analisando as trocas térmicas sucessivas do exterior ao interior temos:

• No exterior as trocas de calor se dão por convecção entre a superfície do elemento opaco e o ar e por radiação. A expressão da troca de calor por convecção é:

$$h_c (t_e - t_{se}) \quad (1.3)$$

e por radiação é:

$$h_r (t_e - t_{se}) \quad (1.4)$$

onde  $h_c$  e  $h_r$  são os coeficientes de trocas térmicas superficiais por convecção e radiação, definidos anteriormente. A soma  $h_c + h_r$  é igual a  $h_e$ .

A inversa da soma destes coeficientes  $\frac{1}{h_c + h_r} = \frac{1}{h_e}$  fornece a resistência superficial externa ( $R_e$ ), a primeira das resistências à passagem do fluxo térmico ao interior do galpão. Tem-se, portanto:

$$R_e = \frac{1}{h_c + h_r} = \frac{1}{h_e} \quad (1.5)$$

A troca de calor entre o ambiente externo e a superfície do elemento opaco será proporcional à diferença de temperatura e inversamente proporcional à resistência superficial externa ( $R_e$ ). Portanto:

$$q = \frac{(t_e - t_{se})}{R_e} \quad (1.6)$$

que somado à contribuição da parcela de energia solar absorvida pelo elemento ( $\alpha I$ ) fica:

$$q_1 = \alpha I + \frac{(t_e - t_{se})}{R_e} \quad (1.7)$$

• A troca térmica por condução, através do elemento opaco, terá como expressão:

$$q_2 = \frac{t_{se} - t_{si}}{R_m} \quad (1.8)$$

onde  $R_m$  é a resistência térmica do material do elemento opaco, isto é, a maior ou menor dificuldade imposta à passagem do fluxo térmico por este elemento. A resistência térmica do material ( $R_m$ ) será proporcional à espessura do elemento ( $e$ ) e inversamente proporcional à condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (tabela 1.2).

A expressão da resistência do material será:

$$R_m = \frac{e}{\lambda}, \quad (1.9)$$

• A expressão das trocas térmicas da superfície interna do elemento opaco para o interior é:

$$q_3 = \frac{t_{si} - t_i}{R_i}, \quad (1.10)$$

tendo explicação análoga às trocas no exterior. O símbolo  $R_i$  representa a resistência superficial interna, a última resistência imposta à passagem do fluxo térmico do exterior ao interior.

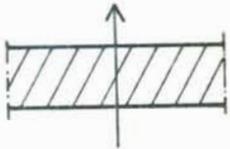
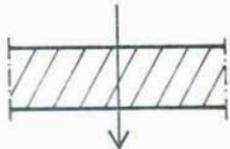
Os valores das resistências térmicas superficiais internas ( $R_i$ ) e externa ( $R_e$ ), calculadas para condições padronizadas dos ambientes estão dados na tabela 1.3<sup>43</sup>.

TABELA 1.2 - Propriedades térmicas de alguns materiais de construção.

MATERIAL		d $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\lambda$ $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c_p$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
CERÂMICOS	. Tijolo maciço (artesanal)	1.300,0	0,650 <sup>1</sup>	0,92
	. Tijolo maciço (artesanal) visto	1.300,0	0,790 <sup>1</sup>	0,92
	. Tijolo maciço prensado	1.600,0	0,810 <sup>1</sup>	0,92
	. Tijolo maciço prensado visto	1.600,0	1,000 <sup>1</sup>	0,92
	. Telhas	2.000,0	1,050	0,92
CONCRETOS	. de Brita	2.200,0	1,740	1,00
	. de Brita a vista	2.200,0	1,900	1,00
	. Celulares	300,0	0,130	1,00
	. Celulares	500,0	0,200	1,00
	. Celulares	700,0	0,270	1,00
	. Celulares	1.000,0	0,400	1,00
	. de Cascalho	1.800,0	0,950	0,95
ISOLANTES	. Cortiça	100,0	0,040	1,95
	. Cortiça	200,0	0,051	1,90
	. Cortiça	400,0	0,069	1,90
	. Isopor - Espuma de Poliuretano	20,0	0,035	1,42
	. Lã-de-vidro	200,0	0,044	0,70
	. Vermiculite	100,0	0,070	1,00
	. Vermiculite	250,0	0,079	1,00
ARGAMASSA	. de Cal ou de Cimento	1.800,0	1,100	1,00
	. de Cal ou de Cimento	2.100,0	1,400	1,00
	. Acabamento de Gesso	1.200,0	0,640	1,09
MADEIRAS	. Naturais	600,0	0,150	1,34
	. Naturais	800,0	0,190	1,34
	. Aglomeradas e Prensadas	600,0	0,140	2,30
	. Aglomeradas e Prensadas	800,0	0,170	2,30
	. Aglomeradas e Prensadas	1.000,0	0,200	2,30
TELHADO	. Membrana Asfáltica	1.700,0	0,580	0,92
	. Fibrocimento	1.900,0	0,760	0,84
	. Palha	200,0	0,120	2,30
PEDRAS	. Calcário	2.000,0	1,390	0,84
	. Granito	2.800,0	3,350	0,84
VÁRIOS	. Água	1.000,0	0,620	4,19
	. Ar	1,2	0,024	1,00
	. Vidro	2.600,0	1,200	0,84
PAINÉIS	. de Fibra de Madeira	250-350	0,046	1,42
	. de Fibra de Madeira	350-450	0,052	1,42
	. de Fibra de Madeira	550-650	0,069	1,42
METAIS	. Alumínio	2.700,0	229	0,88
	. Zinco	7.130,0	110	0,37
	. Ferro	7.870,0	72	0,46

FONTE: RIVERO<sup>43</sup>.NOTA \* <sup>1</sup>Estes valores incluem a argamassa de união.

TABELA 1.3 - Resistências térmicas superficiais.

Posição do elemento	Direção do fluxo	$\epsilon$	$(m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W})$	
			$R_i = 1/h_i$	$R_e = 1/h_e$
VERTICAL		0,90	0,12	0,04
		0,20	0,24	
		0,05	0,30	
HORIZON- TAL		0,90	0,11	
		0,20	0,19	
		0,05	0,23	
		0,90	0,16	
		0,20	0,40	
		0,05	0,60	

Para as superfícies externas é aceito que os valores da resistência sejam iguais para todas as condições, uma vez que o vento facilita as trocas por convecção. Segundo MARKUS<sup>34</sup>, a resistência térmica superficial externa ( $R_e$ ) pode ser estimada pela expressão  $R_e = R_{S0} = \frac{1}{(\epsilon h_r + h_c)}$ , onde  $\epsilon h_r$  é o coeficiente de troca térmica por radiação, considerado igual a  $4,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $h_c$  o coeficiente de convecção externa, igual a  $5,8 + 4,1v$ , sendo  $v$  a velocidade do vento em m/s. Para  $v \approx 3 \text{ m/s}$ , em condições normais,  $R_e$  será aproximadamente igual a 0,04. Para as superfícies internas, a resistência varia em função da posição da superfície com relação a direção do fluxo e com a emissividade da face (ver tabela 1.3).

A figura 1.3 mostra a resistência imposta à transmissão do fluxo térmico, do exterior ao interior, pelos elementos opacos.

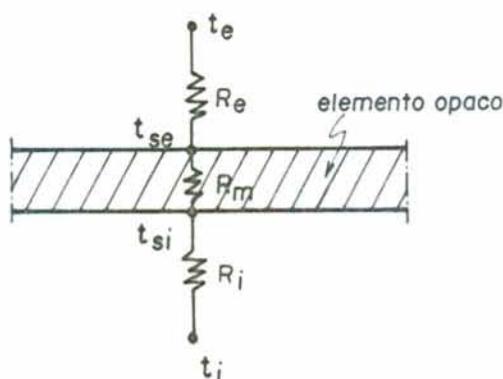


FIGURA 1.3 - Resistência à transmissão do fluxo térmico pelos elementos opacos.

- $R_e$  = resistência superficial externa;  
 $R_m$  = resistência térmica do elemento opaco;  
 $R_i$  = resistência superficial interna.

As equações de  $q_1$ ,  $q_2$  e  $q_3$  que foram estabelecidas anteriormente, podem ser escritas:

$$q_1(R_e) = \alpha l R_e + (t_e - t_{se}),$$

$$q_2(R_m) = t_{se} - t_{si},$$

$$q_3(R_i) = t_{si} - t_i,$$

sendo  $q_1 = q_2 = q_3 = q$ , se obtém somando e extraíndo o fator comum, a expressão geral do fluxo constante ( $q$ ), que atravessa todas as camadas do elemento opaco.

$$q (R_e + R_m + R_i) = (\alpha l R_e) + (t_e - t_i) \quad (1.11)$$

Ao inverso da soma total das resistências ( $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_e + R_m + R_i}$ ) chama-se, por definição, coeficiente de transmissão térmica do elemento ( $U$ ). Este valor é definido como:

$$U = \frac{1}{R_e + R_m + R_i} = \frac{1}{R_t} \quad (1.12)$$

Substituindo  $(R_e + R_m + R_i)$  por  $1/U$ , na expressão geral de  $q$ , e colocando as variáveis de forma conveniente, obtêm-se:

$$q = U [(t_e + \alpha I R_e) - t_i] \quad (1.13)$$

Pela expressão geral do fluxo térmico nota-se que a parcela encerrada no parêntese indica que a temperatura externa sofre um incremento devido ao sol, que será proporcional à intensidade das radiações ( $I$ ), ao coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) e à resistência superficial externa ( $R_e$ ). A temperatura do ar externo aumentada chama-se TEMPERATURA AR-SOL ( $t_{as} = t_e + \alpha I R_e$ ), cujo termo  $\alpha I R_e$ , que pode ser chamado  $t_r$ , representa o incremento térmico, em  $^{\circ}\text{C}$ , do efeito combinado da radiação solar incidente no fechamento e dos intercâmbios de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente.

A temperatura ar-sol fica então:

$$t_{as} = t_e + t_r \quad (1.14)$$

A figura 1.4 mostra o incremento térmico na temperatura externa devido as radiações solares sobre o telhado, em um caso hipotético geral.

Nos intercâmbios de radiação de onda longa entre a superfície do fechamento e o meio que a circunda, o céu tem um efeito especial uma vez que a atmosfera alta está sempre a uma temperatura muito baixa e isto significa que o plano perderá permanentemente energia em direção ao céu. Esta diminuição de temperatura devido a radiação em onda longa para o céu será igual a  $R_e \varepsilon I_L$ , onde  $I_L$  é a radiação em onda longa,  $\varepsilon$  a emissividade da superfície e  $R_e$  a resistência superficial externa.

A expressão geral do fluxo térmico ( $q$ ) fica:

$$q = U [(t_e + \alpha I R_e - R_e \varepsilon I_L) - t_i] \quad (1.15)$$

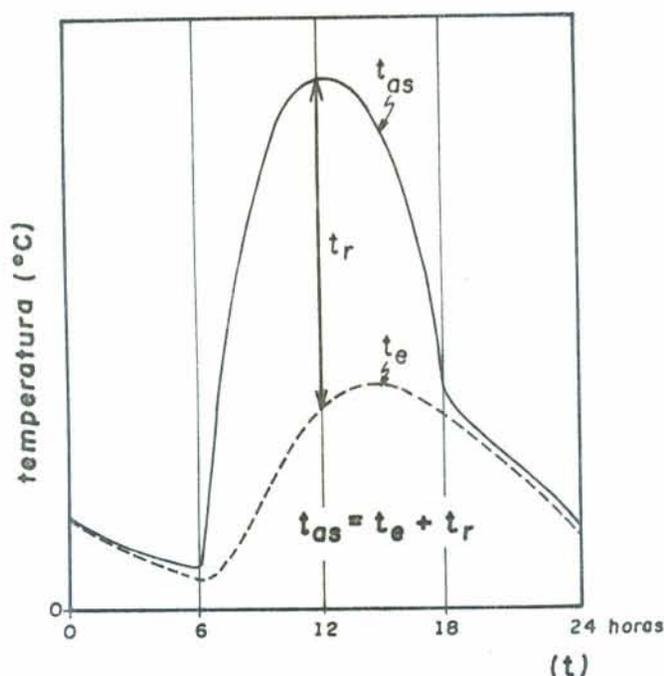


FIGURA 1.4 - Incremento térmico na temperatura externa de um telhado devido as radiações solares.

Este fenômeno, segundo vários autores, afeta especialmente o plano horizontal, em razão de sua posição, provocando uma diminuição aproximada de  $4^{\circ}\text{C}$  na temperatura ar-sol a qualquer hora do dia (nas 24 horas). Nos planos verticais esse efeito é compensado pela radiação de onda longa recebida pelo chão e outras superfícies vizinhas<sup>43</sup>.

No caso em que está sendo analisado, de galpões abertos e bem ventilados, pode-se colocar a hipótese simplificadora de que o ar externo e o interno têm a mesma temperatura.

Sendo  $t_e = t_i$  e  $R_e \in I_L = 4^{\circ}\text{C}$ , para as superfícies horizontais, o fluxo térmico ( $q$ ) fica apenas determinado pelas radiações solares e pelos parâmetros dos fechamentos.

$$q = U (\alpha I R_e - 4^{\circ}\text{C}) \quad (1.16)$$

onde:  $U$  = coeficiente de transmissão térmica (já definido anteriormente);

$\alpha I R_e = t_r$  = incremento térmico ( $^{\circ}\text{C}$ ) devido ao efeito da radiação solar e radiação em onda longa.

Das equações 1.10 e 1.16 pode-se por em evidência que a temperatura superficial interna ( $t_{si}$ ) pode ser escrita:

$$\frac{t_{si} - t_i}{R_i} = U (\alpha I R_e - 4)$$

do que resulta:

$$t_{si} = t_i + U R_i (\alpha I R_e - 4) \quad (1.17)$$

A expressão  $q = U (\alpha I R_e - 4)$  equaciona, então, a qualidade do elemento opaco (cobertura, parede) e a equação  $t_{si} = t_i + U R_i (\alpha I R_e - 4)$  põe em evidência os fatores que incrementam a temperatura superficial interna do telhado.

A título de ilustração, vamos considerar neste exemplo:

- . cobertura com telhas de fibrocimento enegrecidas pelo tempo:  
 $\alpha = 0,85$ ,  $e = 6\text{mm}$ ,  $\lambda = 0,75$ ,  $U = 4,81 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .
  - . carga de radiação solar ( $I$ ) =  $1000 \text{ W/m}^2$  - insolação correspondente à cidade de Porto Alegre às 13 horas no solstício de verão (solarímetro da UFRGS).
  - .  $t_e = t_i = 32^\circ\text{C}$
  - .  $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{°C/W}$
  - .  $R_i = 0,16 \text{ m}^2\text{°C/W}$
- } Tabela 1.3.

O incremento térmico ( $t_r$ ) será:

$$t_r = \alpha I R_e - 4^\circ\text{C} = 0,85 \times 1000 \times 0,04 - 4 = 30^\circ\text{C}$$

A temperatura ar-sol ( $t_{as}$ ):

$$t_{as} = t_e + t_r = 62^\circ\text{C}$$

A temperatura superficial interna ( $t_{si}$ ), desprezando

o efeito de ventilação:

$$t_{si} = t_i + [U R_i (\alpha I R_e - 4)] = 32 + [4,81 \times 0,16 (0,85 \times 1000 \times 0,04 - 4)]$$

$$t_{si} = 55^{\circ}\text{C}$$

O fluxo térmico ( $q$ ) que penetra pela cobertura ao interior da edificação:

$$q = U (\alpha I R_e - 4) = 4,81 (0,85 \times 1000 \times 0,04 - 4)$$

$$q = 144,3 \text{ W/m}^2$$

## 1.2. O Uso de Forro na Redução do Fluxo Térmico Proveniente das Radiações Solares

### 1.2.1. Uso de Forro Não Ventilado

A transmissão de calor através da cobertura se processa conforme descrito no item 1.1. Os parâmetros que determinam o fluxo térmico que atravessa a cobertura e o forro podem ser identificados na figura 1.5, onde:

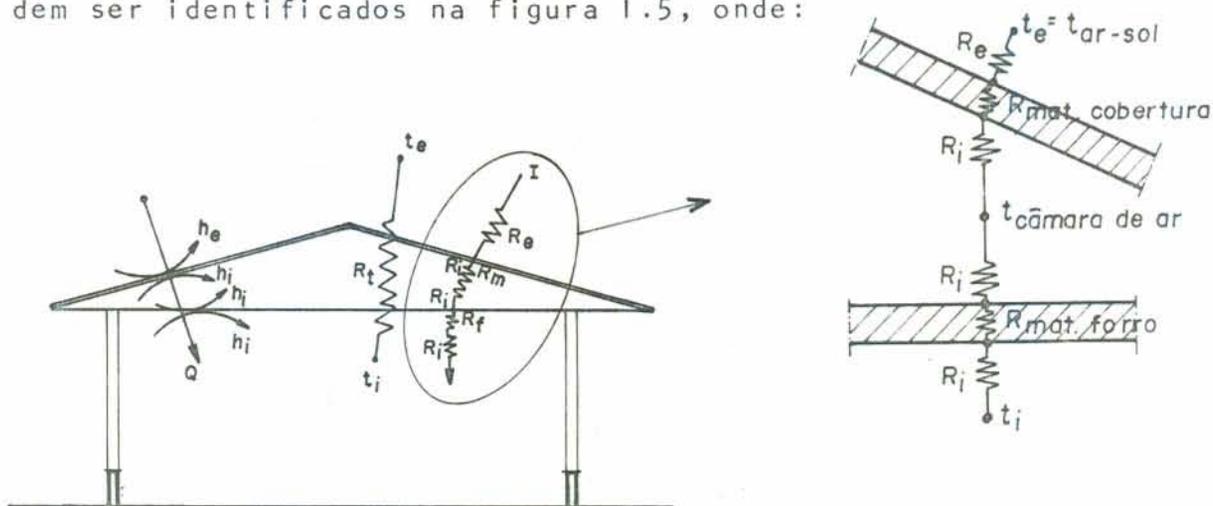


FIGURA 1.5 - Resistências impostas ao fluxo térmico em uma cobertura com forro não ventilado.

$R_e$  = resistência superficial externa ( $\text{m}^2\text{°C/W}$ ) =  $1/h_e$  (tabela 1.3);

- $R_m$  = resistência térmica do material da cobertura, expresso pela relação entre a espessura e a conduutibilidade térmica do material que a constitui ( $m^2\text{°C/W}$ ). Os valores da condutibilidade térmica encontram-se na tabela 1.2;
- $R_i$  = resistência superficial interna ( $m^2\text{°C/W}$ ) =  $1/h_i$  (tabela 1.3);
- $R_f$  = resistência térmica do material do forro ( $m^2\text{°C/W}$ ) expresso pela relação entre a espessura do forro ( $e$ ) e a condutibilidade térmica do material ( $\lambda$ ) que o constitui (tabela 1.2);
- $R_t$  = resistência térmica total ( $m^2\text{°C/W}$ ), igual ao somatório de todas as resistências impostas ao fluxo térmico.

A resistência total imposta ao fluxo térmico será, portanto (ver figura 1.5):

$$R_t = R_e + R_m + R_i + R_i + R_f + R_i \quad (1.18)$$

Se considerarmos que a temperatura do ar exterior e interior são iguais, o fluxo térmico ( $q$ ) que atravessa a cobertura e o forro será:

$$q = \frac{(\alpha I R_e - 4)}{R_t} \quad (1.19)$$

- onde:  $\alpha$  = coeficiente de absorção da superfície da cobertura (tabela 1.1)
- $I$  = carga de radiação solar ( $W/m^2$ )
- $R_e$  = resistência superficial externa ( $m^2\text{°C/W}$ ) (tabela 1.3);
- $R_t$  = resistência térmica total ( $m^2\text{°C/W}$ ), determinada pela equação 1.18.

A título de ilustração, vamos considerar:

- cobertura com chapas de fibrocimento enegrecidas pelo tempo, com as seguintes características:

- $\alpha = 0,85$ ,  $e = 6\text{mm}$ ,  $\lambda = 0,75 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ;
- forro de duratex:  $e = 6\text{mm}$ ,  $\lambda = 0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ;
- $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$  (tabela 1.3);
- $R_i = 0,16 \text{ m}^2\text{C/W}$  (tabela 1.3);
- $t_e = 32^{\circ}\text{C}$
- $l = 1000 \text{ W/m}^2$ .

A resistência térmica total ( $R_t$ ) será:

$$R_t = R_e + \frac{e_{\text{cob}}}{\lambda_{\text{cob}}} + R_i + R_i + \frac{e_f}{\lambda_f} + R_i = 0,56 \text{ m}^2\text{C/W}$$

O fluxo térmico ( $Q$ ) que atravessa a cobertura e o forro será:

$$Q = \frac{(\alpha l R_e - 4)}{R_t} \cong 54 \text{ W/m}^2$$

### 1.2.2. Uso de Forro Ventilado

A ventilação do ático de uma edificação se processa, de maneira esquemática, conforme a figura 1.6.

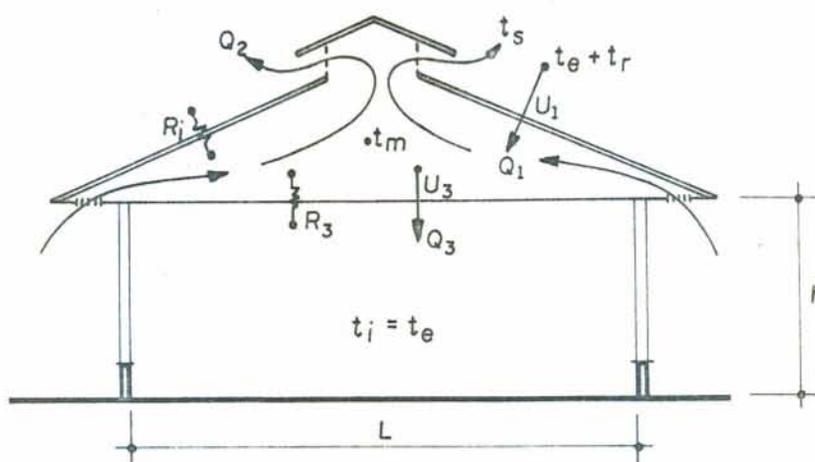


FIGURA 1.6 - Emprego de ventilação no ático.

Balaceando as trocas térmicas devidas a:

- . insolação através das telhas,
- . ventilação,

. penetração de calor através do forro, teremos:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

sendo:  $Q_1$  = calor que penetra pelo telhado em  $W/m^2$ , expresso por:

$$Q_1 = U_1 (t_e + t_r - t_m) \quad (1.20)$$

onde:  $U_1$  = coeficiente de transmissão térmica da cobertura ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) =  $\left( \frac{1}{R_e + \frac{e_{cob}}{\lambda_{cob}} + R_i} \right)$ ;

$t_e$  = temperatura do ar externo, ( $^\circ C$ );

$t_r = \alpha R_e - 4$  = incremento térmico devido ao efeito combinado da radiação solar e trocas térmicas sobre a cobertura, ( $^\circ C$ );

$t_m$  = temperatura média do ar no ático, ( $^\circ C$ ).

$Q_2$  = calor arrastado pela ventilação ( $W/m^2$ ), expresso por<sup>17</sup>:

$$Q_2 = \frac{V \cdot d \cdot c_p}{3,6} (t_s - t_e) \quad (1.21)$$

onde:  $V$  = vazão horária de ventilação ( $m^3/h \cdot m^2$ ) = ( $n \cdot h$  sendo  $n$  = nº de renovações por hora e  $h$  a altura da peça);

$d$  = massa específica do ar ( $kg/m^3$ ) (tabela 1.2);

$c_p$  = calor específico do ar ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ ) (tabela 1.2);

$t_s$  = temperatura de saída do ar ( $^\circ C$ );

$t_e$  = temperatura de entrada do ar ( $^\circ C$ ).

A temperatura de saída do ar ( $t_s$ ) pode ser dada pela expressão<sup>17</sup>:

$$t_s = \frac{U_1 \cdot t_r}{\frac{U_1 + U_3}{2} + \frac{V \cdot d \cdot c_p}{3,6}} + t_e \quad (1.22)$$

$Q_3$  = calor que penetra no interior da edificação

(W/m<sup>2</sup>), expresso por:

$$Q_3 = U_3 (t_m - t_i) \quad (1.23)$$

onde:  $U_3$  = coeficiente de transmissão térmica do forro (W/m<sup>2</sup>°C) igual a  $\left(\frac{1}{R_i + \frac{e_f}{\lambda_f} + R_i}\right)$ ;

$t_m$  = temperatura média do ar no ático (°C).

A temperatura média do ar no ático ( $t_m$ ) pode ser considerada como sendo<sup>17</sup>:

$$t_m = \frac{t_s + t_e}{2} \quad (1.24)$$

Para garantir uma ventilação adequada deve-se projetar aberturas convenientemente dispostas, as quais devem obedecer a seguinte equação<sup>17</sup>:

$$\Omega = \frac{V \cdot \frac{L}{2}}{3600 \cdot v} \quad (1.25)$$

sendo:  $\Omega$  = área de entrada ou de saída do ar por metro linear de beiral (m<sup>2</sup>);

$V$  = vazão de ar renovado (m<sup>3</sup>/h . m);

$L$  = largura do galpão (m);

$v$  = velocidade do ar (m/s).

Por sua vez,

$$v \cong \sqrt{\frac{2,5 L \operatorname{tg} i (t_m - t_e)}{T_e}} \quad (1.26)$$

onde:  $v, L$  = assumem os mesmos significados da equação 1.25;

$i$  = inclinação da cobertura (%);

$t_m$  = temperatura média do ático (°C);

$t_e$  = temperatura do ar externo (°C);

$T_e$  = temperatura do ar externo (K).

A título de ilustração é considerado:

- . uma cobertura com chapas de fibrocimento enegrecidas pelo tempo ( $\alpha = 0,85$ ,  $e = 6\text{mm}$ ;  $\lambda = 0,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) com forro de duratex ( $e = 6\text{mm}$ ;  $\lambda = 0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) ventilado;
- . uma vazão horária de ventilação (V) igual a  $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ;
- .  $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$
- .  $R_i = 0,16 \text{ m}^2\text{C/W}$
- .  $t_e = t_i = 32^\circ\text{C}$
- .  $I = 1000 \text{ W/m}^2$
- .  $d = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- .  $c_p = 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- . largura do galpão (L) = 10m
- . inclinação da cobertura:  $15\% = i$ .

Os valores de U serão:

$$U_1 = 4,81 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$U_3 = 2,78 \text{ W/m}^2\text{C}.$$

As temperaturas do ar:

$$- t_e = 32^\circ\text{C}$$

$$- t_r = \alpha I R_e - 4 = 30^\circ\text{C}$$

$$- t_s \text{ (equação 1.22)} = 42,5^\circ\text{C}$$

$$- t_m \text{ (equação 1.24)} = 37,2^\circ\text{C}$$

$$- t_i = 32^\circ\text{C}$$

Os fluxos térmicos, por hora, serão:

$$. Q_1 = \text{calor que penetra pelo telhado (W/m}^2\text{)} \text{ (equação 1.20): } 119,2 \text{ W/m}^2;$$

- $Q_2$  = calor retirado pela ventilação ( $W/m^2$ ) (equação 1.21):  $105 W/m^2$
- $Q_3$  = calor que alcança o interior da edificação ( $W/m^2$ ) (equação 1.23):  $14,2 W/m^2$ .

A velocidade do ar ( $v$ ) (equação 1.26) será  $0,34 m/s$  e a área de saída do ar, por metro linear do beiral (equação 1.25) será  $0,12 m^2$ .

ANEXO II - DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DAS ABERTURAS DOS LANTERNINS  
PARA VENTILAÇÃO NATURAL POR AÇÃO DA TEMPERATURA

O princípio de funcionamento da ventilação natural por ação das forças térmicas é o do termossifão, conforme foi descrito no item 5.4.1.2.1, originado pela diferença de pressão proveniente da diferença de temperatura entre a camada de ar superior (ar de saída) e a inferior (ar de entrada).

O cálculo da diferença de pressão que o fluxo de ar origina nas aberturas pode ser feito, de modo aproximado, pela expressão apresentada na equação 11.1<sup>34</sup>, a seguir:

$$\Delta p = 0,043 h (t_s - t_e) \quad (11.1)$$

onde:

$\Delta p$  = diferença de pressão equivalente à resistência que deve vencer o ar para deslocar-se desde a abertura de entrada até a de saída (Pa);

$h$  = diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída (m);

$t_s, t_e$  = temperatura do ar de saída e de entrada (°C).

Graças a esta diferença de pressão é gerado um movimento do ar cuja vazão pode ser determinada por uma expressão de origem empírica<sup>34</sup>, que corresponde a duas aberturas colocadas em série, conforme a equação 11.2

$$V = 0,827 \left( \frac{A_e \cdot A_s}{\sqrt{A_e^2 + A_s^2}} \right) \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (11.2)$$

sendo:

$V$  = vazão de ar (m<sup>3</sup>/s);

$A_e, A_s$  = áreas das aberturas de entrada e saída (em m<sup>2</sup>);

$\Delta p$  = diferença de pressão (Pa).

Resumindo as equações 11.1 e 11.2 será possível avaliar a vazão de ar produzida, com base nos dados geométricos das aberturas e nas temperaturas de entrada e de saída do ar, segundo a equação 11.3.

$$V = 0,171 \left( \frac{A_e \cdot A_s}{\sqrt{A_e^2 + A_s^2}} \right) \cdot \sqrt{h (t_s - t_e)} \quad (11.3)$$

Na aplicação da equação 11.3, presume-se conhecidas as áreas das aberturas de entrada e de saída do ar de ventilação. No caso o objetivo é, sabendo a taxa de renovação do ar requerida (vazão de ar necessária), dimensionar as aberturas de entrada e saída do ar.

A vazão de ar a ser renovada poderá ser obtida adotando, como mínima, a ventilação higiênica de 2,08 l/s x kg de peso vivo, para situação de verão, recomendada pela ASHRAE<sup>1</sup>. Esta ventilação equivale a renovação de todo o volume de ar do galpão 30 vezes por hora e coincide com a mínima recomendada por GOLDEN<sup>27</sup>.

Esta vazão deverá retirar o calor proveniente da insolação e o calor dissipado pelas aves. O calor a ser retirado pela ventilação ( $Q_{ia}$ ), em W, por metro linear de galpão, será portanto:

$$Q_{ia} = P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s + U (\alpha I R_e - 4) \times A_{cob} \quad (11.4)$$

sendo:

- $P_m$  = peso médio por ave (kg/ave)
- $d_a$  = densidade de ocupação das aves (aves/m<sup>2</sup>)
- $L$  = largura interna do galpão (m)
- $C_s$  = calor sensível dissipado por kg de ave (W/kg)  
(ver tabela 5.9)
- $U$  = coeficiente de transmissão térmica da cobertura (W/m<sup>2</sup>°C)
- $\alpha$  = coeficiente de absorção das radiações solares (tabela 1.1)
- $I$  = intensidade da radiação solar (W/m<sup>2</sup>)

$R_e$  = resistência superficial externa ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )  
(tabela 1.3)

$A_{cob}$  = área da cobertura ( $m^2$ ).

Uma expressão apresentada por BATURIN<sup>5</sup>, que se resume no balanço do calor que precisa ser retirado pela ventilação, nos permite determinar de maneira aproximada a temperatura de saída do ar ( $t_s$ ).

Tem-se:

$$t_s = t_e + \frac{Q_{ia}}{V \cdot d \cdot c_p}$$

ou

$$t_s = t_e + \frac{P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s + U(\alpha | R_e - 4) \times A_{cob}}{V \cdot d \cdot c_p} \quad (11.5)$$

onde:

$t_s, t_e$  = temperaturas de saída e de entrada do ar ( $^\circ\text{C}$ )

$P_m \cdot d_a \cdot L \cdot C_s, U(\alpha | R_e - 4) \times A_{cob}$  = calor a ser retirado pela ventilação - assumem os mesmos significados da equação 11.4

$V$  = vazão de ar ( $m^3/s$ )

$d$  = massa específica do ar ( $kg/m^3$ )

$c_p$  = calor específico do ar ( $J/kg^\circ\text{C}$ )

Conhecidas a vazão de ar e a temperatura de saída ( $t_s$ ) pode-se determinar a abertura de ventilação necessária ( $A_s$ ) (ver figura 5.27), em função dos parâmetros térmicos e geométricos do galpão.

Retomando a equação 11.3,

• Elevando ao quadrado todos os termos:

$$V^2 = 0,171^2 \cdot \frac{A_e^2 \cdot A_s^2}{A_e^2 + A_s^2} \cdot h (t_s - t_e)$$

- Dividindo os termos por  $A_e^2$  e trocando de termo o denominador:

$$\left[ 1 + \left( \frac{A_s}{A_e} \right)^2 \right] \cdot V^2 = 0,171^2 \cdot A_s^2 \cdot h (t_s - t_e)$$

- Fazendo  $\frac{V^2}{A_e^2} = k_1$  e  $0,171^2 \cdot h (t_s - t_e) = k_2$ , tem-se:

$$V^2 + k_1 A_s^2 = k_2 A_s^2$$

- Agrupando os termos:

$$V^2 = A_s^2 (k_2 - k_1)$$

- Isolando  $A_s^2$ :

$$A_s^2 = \frac{V^2}{(k_2 - k_1)}$$

- Substituindo os valores de  $k_1$  e  $k_2$ , a área da abertura de saída ( $A_s$ ), por metro linear de galpão, será:

$$A_s = \sqrt{\frac{V^2}{[0,171^2 \cdot h (t_s - t_e)] - \left(\frac{V}{A_e}\right)^2}} \quad (11.6)$$

Considerando a área da abertura de entrada ( $A_e$ ) igual à da saída ( $A_s$ ), resulta:  $A_e = A_s = A$ .

Substituindo  $A$  na equação 11.3, tem-se que:

$$V = 0,171 \cdot \frac{A^2}{\sqrt{2} A^2} \cdot h (t_s - t_e)$$

logo:

$$A = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{0,171 \sqrt{h (t_s - t_e)}}$$

ou

$$A = \frac{8,27 V}{\sqrt{h (t_s - t_e)}}$$

(11.7)

A equação 11.7 confirma os resultados da expressão proposta por BATURIN<sup>5</sup> que permite determinar, de forma aproximada, a área da abertura de ventilação, considerando somente as diferenças de temperatura, quando as aberturas das laterais e da cobertura têm a mesma área. A fórmula simplificada apresentada por BATURIN<sup>5</sup> é a seguinte:

$$A = \frac{V}{420 \sqrt{h \cdot \Delta t}} \quad (11.8)$$

sendo:

A = área da abertura superior ou inferior (m<sup>2</sup>)

V = vazão de ar (m<sup>3</sup>/h)

h = distância vertical entre os pontos médios das aberturas inferiores e superiores (m)

$\Delta t$  = diferença entre temperatura média do ar nas aberturas de entrada e saída (°C).

Transformando a vazão de ar (V) da equação 11.8 para m<sup>3</sup>/s, a referida equação resulta em:

$$A = \frac{8,57 V}{\sqrt{h \cdot \Delta t}}, \text{ o que vem corroborar a validade do resultado da equação 11.7.}$$

Não deve ser esquecida a obrigada presença da tela, que acarretará uma diminuição do fluxo de ar da ordem de 40%, como foi exposto em 5.4.1.1.2.1. Como consequência, as áreas resultantes das expressões 11.6, 11.7, 11.8 deverão ser multiplicadas por 1,4.

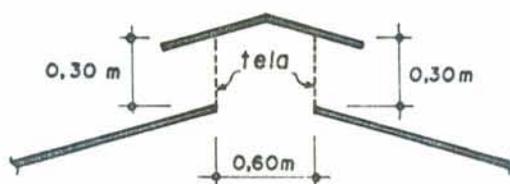
A título de ilustração, atribuindo valores para a equação 11.6, por metro linear de galpão:

- $t_e = 32^\circ\text{C}$
- $A_e = 5 \text{ m}^2$  (2,5 m<sup>2</sup> em cada lateral)
- $V = 0,312 \text{ m}^3/\text{s}$  (mínima recomendada pela ASHRAE<sup>1</sup>)
- Calor a ser retirado pela ventilação ( $Q_{i_a}$ ) = 2900 W (equação 11.4)

- $d = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- $c_p = 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} = 1000 \text{ W.s/kg}^\circ\text{C}$
- $h = 2,5 \text{ m}$

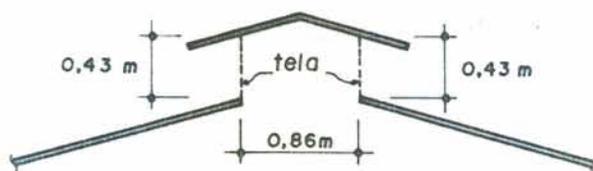
Aplicando os dados nas equações:

- temperatura de saída do ar ( $t_s$ ) igual a  $39,7^\circ\text{C}$  (equação 11.5)
- abertura de saída ( $A_s$ ) igual a  $0,60 \text{ m}^2$  (equação 11.6), ou seja,  $0,30 \text{ m}^2$  de cada lado.



Se considerarmos a área da abertura de entrada igual à da saída, teremos:

- temperatura de saída do ar ( $t_s$ ) igual a  $39,7^\circ\text{C}$  (equação 11.5)
- abertura de saída ( $A_s$ ) igual a  $0,86 \text{ m}^2$  (equação 11.7), ou seja,  $0,43 \text{ m}^2$  de cada lado.



## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING. Environmental control for animals and plants. In: \_\_\_\_\_. ASHRAE handbook 1978: applications. Atlanta, 1978. cap.22.1-22.20.
2. \_\_\_\_\_. ASHRAE handbook 1981: fundamentals. Atlanta, 1981. cap.9.1-9.18.
3. AROZTEGUI, J.M. Desempenho térmico de janelas. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1984. 176p.
4. \_\_\_\_\_. Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1977. 92p.
5. BATURIN, V.V. Fundamentos de ventilação industrial. Barcelona, Labor, 1976. 647p.
6. BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. Atlas climatológico do Brasil (reedição de mapas selecionados). Rio de Janeiro, 1969. 100p.
7. BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. Normais climatológicas: Acre, Amazonas, Pará e Maranhão. s.n.t.
8. \_\_\_\_\_. Normais climatológicas: Goiás e Mato Grosso. s.n.t.
9. \_\_\_\_\_. Normais climatológicas: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Guanabara. s.n.t.
10. \_\_\_\_\_. Normais climatológicas: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Maranhão. s.n.t.
11. \_\_\_\_\_. Normais climatológicas: São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

12. BUFFINGTON, D.E. et alii. Black globe-humidity (BGHI) as comfort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 24(3):711-4, May/June 1981.
13. CARNEIRO, O. Construções rurais. 10.ed. São Paulo, Nobel, 1982. 719p.
14. CAVALHEIRO, A.C.L. Diferentes densidades na criação de frangos de corte. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1975. 100p. Diss. maestr.
15. COSTA, E.C. da. Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural. Porto Alegre, Escola de Engenharia da UFRGS, 1979. 277p.
16. \_\_\_\_\_. Conforto térmico. 3.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1974. (Física aplicada à construção, 1).
17. \_\_\_\_\_. Conforto térmico nas edificações. São Paulo, Eternit, 1978. 12p. (Boletim Eternit, 100).
18. COSTA, M.S. & HUNTON, P. Alimentação e manejo para melhorar o rendimento das poedeiras em regiões tropicais. Trabalho apresentado no 6º Congresso Latino Americano de Avicultura, Lima, Peru, out. 1979.
19. CROISET, M. Humedad y temperatura en los edificios: condensaciones y confort termico de verano y de invierno. Barcelona, Ed. Técnicos Asociados, 1970. 246p.
20. DEATON, J.W.; REECE, F.N.; VARDAMAN, T.H. The effect of temperature and density on broiler performance. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 47(1):293-300, 1968.
21. DEATON, J.W. et alii. The effect of temperature during the growing period on broiler performance. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 52(5):2019, Sept. 1973.
22. \_\_\_\_\_. The efficiency of cooling broilers in summer as measured by growth and feed utilization. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 51(1):69-71, Jan. 1972.
23. DODGEN, W.H. et alii. Effects of environment on broiler performance: 1 - Diurnal cyclic growing temperatures. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 51(5):1802-3, Sept. 1972.

24. ENGLERT, S.I. Avicultura; tudo sobre raças, manejo, alimentação e sanidade. 3.ed. Porto Alegre, Liv. e Ed. Agropecuária, 1980. 288p.
25. ESMAY, M.L. Principles of animal environment. Westport, AVI Pub., 1978. 358p.
26. GIVONI, B. Man, climate and architecture. 2.ed. London, Applied Science Pub., 1981. 483p.
27. GOLDEN, E. Broilers: producción y cuidados. Zaragoza, Ed. Acribia, 1961. 182p.
28. GOMES, R.J. Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação; ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1962. 356p.
29. GRIFFIN, J.G. & VARDAMAN, T.H. Diurnal cyclic high temperature in broiler production: effects of lowering the cool part of temperature cycle on performances. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 50(2):463-6, Mar. 1971.
30. GRIFFIN, J.G. & VARDAMAN, T.H. Effects of radiant heat on market-size broiler chicks grown in a cyclic high temperature environment. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 50(2):459-63, Mar. 1971.
31. HARWOOD, F.W. & REECE, F.N. The effects of roof radiation, high temperature and humidity on the mortality of broilers. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 53(4):1638, July 1974.
32. HUSTON, T.M. The influence of different environmental temperatures on immature fowl. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 44(4):1032-5, July 1965.
33. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Conselho Nacional de Geografia. Atlas do Brasil (geral e regional). Rio de Janeiro, 1959. 160p.
34. MARKUS, T.A. & MORRIS, E.N. Buildings, climate and energy. London, Pitman, 1980. 540p.

35. MICHALANY, D. Novo atlas geográfico mundial. 12.ed. São Paulo, Michalany, 1983.
36. MILLIGAN, J.L. & WINN, P.N. The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 43(4):817-24, July 1964.
37. OLIVEIRA, J.L. & ESMAY, M.L. Systems model analysis of hot weather housing for livestock. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25(5):1355-9, Sept./Oct. 1982.
38. PIMENTEL SOBRINHO, A.O. Clima e edificação no estado do Piauí; conforto térmico natural nos edifícios na microrregião de Teresina e Paraíba. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1984. 209p. Diss. maestr.
39. PRINCE, R.P. et alii. Response of chickens to temperature and relative humidity environments. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 44(1):73-7, Jan. 1965.
40. REECE, F.N. & DEATON, J.W. Use of evaporative cooling for broiler chicken production in areas of high relative humidity. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 50(1):100-4, Jan. 1971.
41. REECE, F.N.; DEATON, J.W.; KUBENA, L.F. Effects of high temperature and humidity on heat prostration of broiler chickens. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 51(6):2021-5, Nov. 1972.
42. REECE, F.N.; HARWOOD, F.W.; DEATON, J.W. Effect of radiation from uninsulated roofs on broiler performance. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 53(4):1642, July 1974.
43. RÍVERO, R. Arquitetura e clima; acondicionamento térmico natural. Porto Alegre, D.C. Luzatto Ed./Ed. da Universidade, UFRGS, 1985. 240p.
44. RORIZ, M. Curso de conforto térmico em clima quente; climatização natural. Goiânia, Departamento de Artes e Arquitetura da Universidade Católica de Goiás, 1976. 102p.

45. SANTOS, J.L.P. dos. Análise de soluções técnicas de proteção contra insolação de coberturas. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1979. 81p. Diss. maestr.
46. SMITH, A.J. & OLIVER, J. Some physiological effects of high environmental temperatures on the laying hen. Poultry Science, Ithaca, N.Y., 50(3):912-24, May 1971.
47. STRAATEN, J.F. van. Thermal performance of buildings. Amsterdam, Elsevier, 1967. 311p.
48. STROM, J.S. Farm building design and animal heat losses. Bâtiment International, Paris, 13(1):28-36, Jan./Feb. 1980.
49. STURKIE, P.D. Fisiologia aviar. Zaragoza, Ed. Acribia, 1967. 607p.
50. TEIXEIRA, V.H. Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco - MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 62p. Diss. maestr.
51. THOM, E.C. Cooling degree-days. Air conditioning, Heating and Ventilating, New York, 55(7):65-72, July 1958.
52. TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J.L. Meteorologia descritiva; fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo, Nobel, s.d. 374p.
53. ZIRLES, A.E.F. et alii. Zoneamento climático para a avicultura no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AVICULTURA, 4., Porto Alegre, set. 1975. p.91-106.