



**Filomena Alexandra
Gaspar Rodrigues**

**Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em
Ambiente Laboral**



**Filomena Alexandra
Gaspar Rodrigues**

**Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em
Ambiente Laboral**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física Aplicada, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia, Professor Auxiliar de Nomeação Definitiva do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Em todo o mundo, morrem anualmente mais de dois milhões de pessoas devido a acidentes de trabalho ou doenças profissionais. Vinte e duas mil dessas vítimas são crianças trabalhadoras. Dedico este trabalho a estes trabalhadores e às suas corajosas famílias.

o júri

presidente

Doutor João Lemos Pinto
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Doutora Liliana do Carmo Santiago Fernandes Amado Caramelo
professora auxiliar da Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia
professor auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

agradecimentos

A minha primeira palavra de agradecimento vai para o meu orientador, Doutor Mário Talaia, pelo apoio, dedicação, companheirismo e segurança que demonstrou ao longo destes últimos dois anos. Proporcionou-me um ambiente informal e estimulante de trabalho que foi de sobremaneira importante para a concretização desta investigação.

Ao Doutor Sobral e Dr.^a Susana Silva pela atenção e disponibilidade pessoal e pelo empréstimo dos equipamentos de medição, imprescindíveis para o desenvolvimento desta investigação.

A todos operários que colaboraram na distribuição e preenchimento dos questionários e realização de medições, pois as suas colaborações permitiram enriquecer esta investigação.

À Carla Quinteles, pela preciosa ajuda prestada nas traduções.

Às minhas colegas de licenciatura, em especial à Isabel Curado, Marta Batalha, Mery Reis, Susana Almeida e mais recentemente Mariana Martinho pelo apoio e carinho que me transmitiram ao longo destes anos.

À minha avó Lurdes por toda a ajuda prestada.

Ao meu mano Pedro, pela companhia, conversa e risadas, mesmo quando por vezes falta o tempo.

Ao David, por toda a ternura, apoio incondicional que tem demonstrado ao longo destes últimos anos, acreditando sempre em mim, mesmo nas situações em que o cansaço e o desânimo me fragilizaram. E por tudo o mais que ele sabe que representa.

Ao meu pai José, por ser para mim, um exemplo de força, dedicação, perseverança e princípios. À minha mãe, Leonor, cuja ternura e capacidade de sonhar são para mim uma lição de vida. Muito Obrigada.

palavras-chave

Conforto Térmico, Stress Térmico, Saúde, Índices térmicos, Ambiente quente

resumo

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA), na consequência do Conselho Europeu de Lisboa de 2000, criou um Observatório de Riscos que tinha como objectivo a identificação e antecipação das tendências em matéria de segurança e saúde no trabalho.

Um dos riscos emergentes identificado foi o Desconforto Térmico, reconhecendo-se a falta de estudos adequados que analisem “o impacto do conforto térmico no stress e no bem-estar dos trabalhadores” EU-OSHA (2005). Para além disso estabelece relações entre o ambiente térmico e a produtividade e a incidência de acidentes e doenças profissionais. Desta forma, a EU-OSHA reconhece a urgência em promover trabalhos de investigação nesta área em contexto real de trabalho.

Esta investigação pretende responder a esta problemática dando um contributo no estudo do conforto e stress térmico em ambientes moderados a quentes em postos de trabalho.

Esta investigação teve lugar em duas naves industriais inseridas numa empresa de grandes dimensões do ramo metalomecânico. Numa primeira fase da investigação, foram analisados parâmetros meteorológicos com o objectivo de identificar zonas vulneráveis a stress térmico em ambiente quente. Para tal foram analisados vários índices de conforto e stress térmico, de acordo com as normas ISO 7726/1984, 7730/2005 e ANSI/ASHRAE 55/2004.

Numa fase posterior da investigação foram ministrados questionários de forma a conhecer o nível de satisfação do operário relativamente ao ambiente térmico do seu local de trabalho.

Esta investigação pretendeu dar enfoque ao operário, avaliando as suas expectativas e tentando dar alternativas que permitam uma optimização do ambiente térmico que promova um incremento do bem-estar e consequentemente do seu nível de produtividade.

keywords

Thermal Comfort, Thermal Stress, Health, Thermal index, Hot environment

abstract

In consequence of the Lisbon European Council of 2000, the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) set up a Risk Observatory that aims to identify and anticipate occupational safety and health trends at work.

One of the emerging risks identified was the Thermal Discomfort: It was recognized the lack of appropriate studies which analyse "the impact of thermal comfort on workers' stress and well-being" EU-OSHA (2005). Furthermore, relations between thermal environment and productivity, occupational accidents and work illness were established, so that, the EU-OSHA recognizes the urgency of promoting studies on this area in the real context of work.

This investigation aims to answer to this problem by contributing to thermal comfort and stress study of moderate and hot thermal environments on workplace

This investigation took place in two industrial building which are part of one metalomechanics factory. In the first phase of the investigation, meteorological parameters were analysed in order to identify thermal hot stress vulnerable areas. For accomplish that, Stress and Comfort Thermal index were analyzed according to the standards ISO 7726/1984, 7730/2005 and ANSI/ASHRAE 55/2004

In a subsequent phase of the investigation, questionnaires were administered in order to know the worker's satisfaction level to thermal environment of his workplace.

This investigation focused on the worker, evaluating his expectations and giving alternatives that allow an improvement of the thermal environment and that promotes an increase of the well-being and productivity.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 2.1.01	Mudança de estado (líquido a gasoso e vice-versa)	12
Figura 3.2.01	Modelo de regulação térmica do ser humano [adaptado de MTSA (2001)]	39
Figura 3.2.02	Condução de energia sob a forma de calor no corpo humano	40
Figura 3.2.03	Área Corporal (área de Dubois), em função da altura e da massa	43
Figura 3.2.04	Taxa metabólica (Kvisgaard, 1997)	45
Figura 3.2.05	Variação da temperatura rectal, frequência cardíaca e taxa de sudação durante a fase de aclimatização [adaptado de Martinet and Meyer (1999)]	55
Figura 3.3.01	Escala Sétima da ASHRAE	59
Figura 3.3.02	<i>PPD</i> em função do <i>PMV</i>	65
Figura 3.4.01	Curvas de valores de referência de <i>WBGT</i> , para ciclos de trabalho/descanso	80
Figura 5.1.01	Ano 2005 - 12 de Julho 10:00 a.m.	107
Figura 5.1.02	Ano 2005 - 12 de Julho 03:00 p.m.	108
Figura 5.1.03	Ano 2005 - 13 de Julho 10:00 a.m.	109
Figura 5.1.04	Ano 2005 - 13 de Julho 03:00 p.m.	110
Figura 5.1.05	Ano 2005 - 15 de Julho 10:00 a.m.	111
Figura 5.1.06	Ano 2005 - 18 de Julho 10:00 a.m.	112
Figura 5.1.07	Ano 2005 - 19 de Julho 03:00 p.m.	113
Figura 5.1.08	Ano 2005 - 20 de Julho 10:00 a.m.	114
Figura 5.1.09	Ano 2005 - 20 de Julho 03:00 p.m.	115
Figura 5.1.10	Ano 2005 - 21 de Julho 10:00 a.m.	116
Figura 5.1.11	Ano 2005 - Dia: 12 de Julho 10:00 a.m.	118
Figura 5.1.12	Ano 2005 - Dia: 12 de Julho 03:00 a.m.	119
Figura 5.1.13	Ano 2005 - Dia: 13 de Julho 10:00 a.m.	120
Figura 5.1.14	Ano 2005 - Dia: 13 de Julho 03:00 p.m.	121
Figura 5.1.15	Ano 2005 - Dia: 14 de Julho 03:00 p.m.	122
Figura 5.1.16	Ano 2005 - Dia: 18 de Julho 10:00 a.m.	123
Figura 5.1.17	Ano 2005 - Dia: 18 de Julho 03:00 p.m.	124
Figura 5.1.18	Ano 2005 - Dia: 19 de Julho 03:00 p.m.	125
Figura 5.2.01	Ano 2005 - Dia: 19 de Dezembro 10:00 a.m.	129
Figura 5.2.02	Ano 2005 - Dia: 20 de Dezembro 10:00 a.m.	130
Figura 5.2.03	Ano 2005 - Dia: 21 de Dezembro 03:00 p.m.	131
Figura 5.2.04	Ano 2005 - Dia: 21 de Fevereiro 03:00 p.m.	132
Figura 5.2.05	Ano 2006 - Dia: 11 de Julho 03:00 p.m.	133

Figura 5.2.06:	Índice de stress térmico <i>WBGT</i> “versus” metabolismo	136
Figura 5.2.07	Condições de conforto / desconforto	137
Figura 5.3.01	Índice de stress térmico <i>WBGT</i> “versus” metabolismo	143
Figura 5.3.02	Diagrama de conforto (W.M.O, 1987)	144
Figura 5.3.04	Psicrómetro	145
Figura 5.3.05	Formação para a fase da leitura	145
Figura 5.2.06	Figura 5.3.06: Ano 2005 - Dia: 19 de Julho 03:00 p.m	146
Figura 5.3.07	Ano 2005 – Dia 20 de Dezembro 10:00 a.m.	147
Figura 5.3.08	Ano 2005 – Dia: 21 de Dezembro 10:00 a.m.	148
Figura 5.3.09	Ano 2005 - Dia: 21 de Dezembro 03:00 p.m.	149
Figura 5.3.10	Ano 2006 - Dia: 11 de Julho 10:00 a.m	150
Figura 5.3.11	Ano 2006 - Dia: 11 de Julho 03:00 p.m.	151
Figura 5.3.12	Ano 2006 - Dia: 12 de Julho 03:00 p.m.	152
Figura 5.3.13	Ano 2006 - Dia: 14 de Julho 10:00 a.m.	153
Figura 5.3.14	Ano 2006 - Dia: 19 de Julho 10:00 a.m.	154

LISTA DE TABELAS:

Tabela 2.1.01	Sensibilidade do movimento do ar	25
Tabela 3.3.01	Parâmetros a considerar no cálculo do PMV, de acordo com a norma ISO 7730 (2005)	60
Tabela 3.3.02	Constante A para o cálculo da temperatura operativa	62
Tabela 3.3.03	Factor de expectativa em ambientes não climatizados em ambientes quentes [Nilsson (2004)]	64
Tabela 3.3.04	Relação com T_C e T_N : respostas fisiológicas e comportamentais	67
Tabela 3.3.05	Assimetria da temperatura radiante permitida [adaptado de ASHRAE (2004)]	70
Tabela 3.3.06	Intervalo permitido para a temperatura do piso para diferentes materiais [adaptado de Calleja (1999)]	72
Tabela 3.4.01	Distribuição dos débitos sanguíneos em $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de acordo com a natureza da carga imposta ao sistema cardiovascular em dois cenários térmicos e para duas taxas metabólicas [adaptado de Martinet and Meyer (1999)]	75
Tabela 3.4.02	Valores de referência de $WBGT$ [adaptado de Corleto (1998) e Martinet and Meyer (1999)]	78
Tabela 3.4.03	Equações utilizadas para calcular o índice de stress térmico – HSI	82
Tabela 3.4.04	Valores das constantes utilizadas para calcular o índice de stress térmico – HSI [adaptado de Corleto (1998)]	82
Tabela 3.4.05	Interpretação do HSI e sua relação com os efeitos à exposição de 8 horas de trabalho contínuo (adaptado de Corleto, 1998)	84
Tabela 3.4.06	Valores limites para o índice ITH [adaptado de Emmanuel (2004)]	85
Tabela 3.4.07	Valores limites para o Índice ITE [adaptado de Mikani and Amorim (2005)]	87
Tabela 3.4.08	Medidas construtivas	92
Tabela 4.1.01	Constituição e horário dos turnos de trabalho para o ambiente TT	95
Tabela 4.1.02	Constituição e horário dos turnos de trabalho para o ambiente CV	95
Tabela 5.2.01	Ambiente TT - valores de $WBGT$ para Julho de 2005	134
Tabela 5.2.02	Índice ITH para os meses de Julho e Dezembro de 2005	137
Tabela 5.3.01	Posto de Trabalho nº 46	155
Tabela 5.3.02	Posto de trabalho nº 57	156

LISTA DE SÍMBOLOS:

ANSI/ASHVE	American Society for Heating and Ventilation Engineers)	
ASHRAE	American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers	
D.H.S.T	Departamento de Higiene e Segurança no Trabalho	
EU-OSHA	Agência Europeia para a Segurança no Trabalho	
HVAC&R	Heating, Ventilation, Air-conditioning and Refrigeration	
<i>IC</i>	Índice de Conforto	
IEA	International Ergonomics Association	
ISO	International Organization for Standardization	
O.I.T	Organização Internacional do Trabalho	
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios	
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios	
T.S.H.S.T	Técnica Superior de Higiene e Segurança no Trabalho	
W.M.O	World Meteorological Organization	
<i>a</i>	Índice que indica ar seco	
<i>A</i>	Constante para o cálculo da temperatura operativa	
<i>AET</i>	Allowable Exposure Time	min
<i>A_{WBGT}</i>	Valor do índice <i>WBGT</i> numa situação de descanso, para o cálculo do <i>ft</i> (valor tabelado)	°C
<i>A_{DU}</i>	Área de Dubois	m ²
<i>A_R</i>	Área de radiação efectiva do corpo vestido	m ²
<i>B_{WBGT}</i>	Valor do índice <i>WBGT</i> numa situação de descanso, para o cálculo do <i>ft</i> (valor calculado)	°C
<i>c_p</i>	Calor específico do ar a pressão constante	J.kg ⁻¹
<i>C</i>	Taxa de transferência de calor por convecção na pele	W.m ⁻²
<i>C_{WBGT}</i>	Valor do índice <i>WBGT</i> numa situação de trabalho, para o cálculo do <i>ft</i> (valor calculado)	°C
<i>CH_{PMV}</i>	Factor de correcção do cálculo do PMV devido à humidade relativa;	

C_{RES}	Taxa de transferência de calor por convecção através da respiração	$W.m^{-2}$
dq	Elemento de calor	J
ds	Elemento de entropia	$J.K^{-1}$
du	Elemento de energia interna	J
$D_{WBG T}$	Valor do índice <i>WBG T</i> numa situação de trabalho, para o cálculo do <i>ft</i> (valor tabelado)	$^{\circ}C$
DR	Porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao <i>draft</i>	%
e	Pressão parcial exercida pelo vapor de água	Pa
e_s	Pressão de saturação de vapor	Pa
$E_{M\acute{A}X}$	Evaporação máxima conseguida no ambiente térmico	$W.m^{-2}$
E_{REQ}	Evaporação necessária para manter o equilíbrio térmico	$W.m^{-2}$
E_{RES}	Taxa de transferência de calor por evaporação na respiração	$W.m^{-2}$
E_{SK}	Taxa de perda de calor por evaporação na pele	$W.m^{-2}$
E_{SW}	Taxa de evaporação de suor	$W.m^{-2}$
f_{CL}	Razão entre a área de corpo vestido e corpo nú	
f_e	Factor de expectativa no cálculo do PMV	
f_R	Factor de área de radiação efectiva (área de radiação efectiva do corpo vestido/área real do corpo vestido)	
ft	Fracção de tempo trabalho-descanso	minutos/hora
FC	Frequência cardíaca	bpm
FC_1	Frequência cardíaca (no pulso) medida entre 30 segundos e 1 minuto	bpm
FC_2	Frequência cardíaca (no pulso) medida entre 1,5 e 2 minutos	bpm
FC_3	Frequência cardíaca (no pulso) medida entre 2,5 e 3 minutos	bpm
FC_e	Frequência cardíaca de equilíbrio	bpm
FSP	Fluxo sanguíneo periférico	$mL.min^{-1}$
F_H	Factor de correcção da humidade relativa no cálculo do PMV	
h_c	Coefficiente de convecção entre ar e vestuário	$W.m^{-2}.^{\circ}C$
H_B	Taxa de calor produzida no interior do corpo humano	$W.m^{-2}$

<i>HR</i>	Humidade relativa	%
<i>HSI</i>	Heat Stress Index	%
<i>I_{CL}</i>	Resistência térmica total do vestuário	clo
<i>I_{CLi}</i>	Resistência térmica individual de cada peça de vestuário	clo
<i>IFC</i>	Índice de frequência cardíaca	
<i>ITE</i>	Índice da Temperatura Efectiva	°C
<i>ITH</i>	Índice de Temperatura e Humidade	°C
<i>k_B</i>	Factor de ponderação no cálculo da Temperatura Corporal Média	
<i>k</i>	Constante para cálculo de <i>C_{RES}</i>	0,7 m ² °C ⁻¹ .
<i>k₁</i>	Constante utilizada no cálculo do <i>R</i> na determinação do <i>HSI</i>	
<i>k₂</i>	Constante utilizada no cálculo do <i>C</i> na determinação do <i>HSI</i>	
<i>k₃</i>	Constante utilizada no cálculo do <i>E_{MÁX}</i> na determinação do <i>HSI</i>	
<i>K_{CL}</i>	Taxa de transferência de calor da pele até à superfície externa do vestuário	W.m ⁻²
<i>K_{REP}</i>	Constante para cálculo de <i>m_{RES}</i>	2,436 x 10 ⁻³ kg.m ² .J ⁻¹
<i>L_{1→2}</i>	Calor latente na mudança de fase	J.kg ⁻¹
<i>m</i>	Massa	kg
<i>m_{RES}</i>	Razão mássica de ar pulmonar	kg.s ⁻¹
<i>M</i>	Massa molar	kg.kmol ⁻¹
<i>M</i>	Taxa metabólica	W.m ⁻²
<i>M_a</i>	Massa molar para o ar seco	28,964 kg.kmol ⁻¹
<i>M_B</i>	Taxa metabólica basal	W.m ⁻²
<i>M_w</i>	Massa molar para o vapor de água	18,015 kg.kmol ⁻¹
<i>n</i>	Quantidade de substância	mol de moléculas

p	Pressão	Pa
p_a	Pressão parcial exercida pelo ar seco	Pa
PMV	Predicted Mean Vote	
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied	%
Q_{SK}	Perdas totais de calor através da pele	$W.m^{-2}$
Q_{RES}	Perdas totais de calor pela respiração	$W.m^{-2}$
r	Razão de mistura	$g/kg_{ar\ seco}$
r_{EXP}	Razão de mistura do ar expirado	$g/kg_{ar\ seco}$
r_s	Razão de mistura de saturação	$g/kg_{ar\ seco}$
R	Constante dos Gases Perfeitos	8,314 $J.kmol^{-1}.K^{-1}$
R	Taxa total de transferência de calor por radiação na pele	$W.m^{-2}$
R_a	Constante particular para o ar seco	287,05 $J.kg^{-1}.K^{-1}$
R_{CL}	Resistência total oferecida pelo vestuário à transferência do calor da pele para a superfície exterior da pele	$m^2. ^\circ C.W^{-1}$
R_w	Constante particular para o vapor de água	461,51 $J.kg^{-1}.K^{-1}$
S	Taxa de sudação	kg/h
SD_v	Desvio da velocidade do ar	m/s
T	Temperatura do ar	$^\circ C$
T_B	Temperatura corporal média	$^\circ C$
T_C	Temperatura do núcleo	$^\circ C$
T_{CL}	Temperatura superficial do vestuário	$^\circ C$
T_d	Temperatura do ponto de orvalho	$^\circ C$
T_{EXP}	Temperatura do ar expirado	$^\circ C$
T_{FL}	Temperatura do piso	$^\circ C$
T_g	Temperatura do globo	$^\circ C$
T_N	Temperatura neutra	$^\circ C$
T_0	Temperatura operativa	$^\circ C$

T_R	Temperatura radiante	°C
T_{RECTAL}	Temperatura rectal	°C
T_{RM}	Temperatura radiante média	°C
T_{SK}	Temperatura da periferia ou cutânea média	°C
T_w	Temperatura do termómetro molhado	°C
T_{wn}	Temperatura natural do termómetro molhado	°C
Tu	Intensidade da turbulência	%
v	Velocidade do ar	m.s ⁻¹
v_1	Volume específico	m ³ .kg ⁻¹
v_m	Velocidade média do ar	m.s ⁻¹
w	Índice que indica o vapor de água	
W	Trabalho externo	W.m ⁻²
$WBGT$	Wet Bulb Globe Temperature	°C
$WBGT_C$	WBGT calculado ao nível da cabeça	°C
$WBGT_A$	WBGT calculado ao nível do abdómen	°C
$WBGT_T$	WBGT calculado ao nível do tornozelo	°C
Z	Altura	m
ε	Relação das constantes particulares do ar seco e do vapor de água	0,622
ε	Emissividade da superfície exterior do corpo vestido	
ρ	Massa volúmica dos gás	kg.m ⁻³
ρ_a	Massa volúmica para o ar seco	kg.m ⁻³
ρ_w	Massa volúmica do vapor de água	kg.m ⁻³
η	Eficiência mecânica	
σ	Constante de Boltzmann	5,6866x10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴



INDICE:

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IV
1 INTRODUÇÃO	5
1.1. PROBLEMÁTICA	6
1.1.1. OBJECTIVOS	7
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2 CONDIÇÕES HIGROMÉTRICAS DO AR HÚMIDO	11
2.1. AR HÚMIDO	12
2.1.1. NOÇÕES GERAIS	12
2.1.2. EQUAÇÕES DE ESTADO	13
2.1.3. TERMODINÂMICA DO AR HÚMIDO	15
2.1.3.1. Lei de Dalton	15
2.1.3.1.1. Equação de Claussius – Clapeyron	16
2.2. PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA	19
2.2.1. TEMPERATURA DO AR	19
2.2.1.1. Definição	19
2.2.1.2. Instrumentos de medida	19
2.2.2. HUMIDADE RELATIVA DO AR	20
2.2.2.1. Definição	20
2.2.2.1.1. Razão de mistura	20
2.2.2.1.2. Razão de mistura de saturação	21
2.2.2.1.3. Temperatura do ponto de orvalho	22
2.2.2.1.4. Humidade relativa do ar	22
2.2.2.2. Instrumentos de medida	23
2.2.3. VELOCIDADE DO AR	25
2.2.3.1. Definição	25
2.2.3.2. Instrumento de medida	25
2.2.4. TEMPERATURA NATURAL DO TERMÓMETRO MOLHADO	26
2.2.5. TEMPERATURA DO GLOBO	26
2.2.6. TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE	27
3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO	29
3.1. A ERGONOMIA E A AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO	30



3.1.1.	IMPORTÂNCIA ERGONÓMICA DA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO	30
3.1.1.1.	Ambiente Térmico e a Produtividade	31
3.1.1.2.	Ambiente Térmico e a Saúde	32
3.1.2.	REFERÊNCIAS NORMATIVAS	33
3.1.2.1.	ISO - International Organization for Standardization	33
3.1.2.1.1.	Norma ISO 7726/1995 – Instrumentos e métodos para a medição das quantidades físicas	33
3.1.2.1.2.	Norma ISO 7730/2005 - Ambientes Térmicos Moderados:	34
3.1.2.2.	ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.	35
3.1.2.2.1.	ASHRAE Standard 55 – 2004	35
3.1.2.2.2.	ASHRAE Fundamentals Handbook - Chapter. 8 - Thermal Comfort	36
3.1.2.3.	Normativas Portuguesas	36
3.2.	INTERACÇÃO TÉRMICA DO SER HUMANO COM O MEIO AMBIENTE	37
3.2.1.	TERMOREGULAÇÃO HUMANA	37
3.2.2.	EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO	42
3.2.3.	VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO	44
3.2.3.1.	Taxa metabólica,	44
3.2.3.2.	Trabalho externo:	45
3.2.3.3.	Taxa de transferência de calor por convecção na pele	46
3.2.3.4.	Taxa de transferência de calor por convecção através da respiração	49
3.2.3.5.	Taxa de transferência de calor por evaporação na respiração	50
3.2.3.6.	Taxa total de transferência de calor por radiação na pele	51
3.2.3.7.	Taxa de transferência de calor da pele até à superfície externa do vestuário	52
3.2.3.8.	Taxa de perda de calor por evaporação na pele	53
3.2.4.	FACTORES QUE INFLUENCIAM A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO E A REGULAÇÃO TÉRMICA	54
3.2.4.1.	Localização geográfica	54
3.2.4.2.	Aclimatização	54
3.2.4.3.	Sexo	56
3.2.4.4.	Índice de massa corporal	56
3.2.4.5.	Idade	57

3.3.	CONFORTO TÉRMICO	58
3.3.1.	DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	58
3.3.2.	AMBIENTES TÉRMICOS MODERADOS	58
	DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES PMV E PPD	
3.3.2.1.	PMV – Predicted Mean Vote	58
3.3.2.1.1.	Escopo e Domínio de Aplicação	58
3.3.2.1.2.	Considerações Teóricas	59
3.3.2.1.3.	Determinação	60
3.3.2.1.4.	Factor de Correção	63
3.3.2.1.5.	Problemas e limitações	64
3.3.3.	PPD – PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED VOTE	64
3.3.3.1.1.	Considerações Teóricas	64
3.3.3.1.2.	Determinação	65
3.3.4.	CONDIÇÕES PARA O CONFORTO TÉRMICO	66
3.3.5.	DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO	69
3.3.5.1.	Assimetria da temperatura radiante	69
3.3.5.2.	Correntes de ar indesejável	70
3.3.5.3.	Diferença de temperatura do ar no sentido vertical	71
3.3.5.4.	Pisos quentes e frios	72
3.4.	STRESS TÉRMICO	73
3.4.1.	DEFINIÇÃO	73
3.4.2.	AMBIENTE TÉRMICO QUENTE	73
3.4.2.1.	Definição	73
3.4.2.2.	Regulação térmica em ambientes quentes	74
3.4.2.3.	Índices de Stress Térmico	76
3.4.2.3.1.	WBGT – Wet Bulb Globe Temperature	76
3.4.2.3.1.1.	Escopo e Domínio de Aplicação	76
3.4.2.3.1.2.	Determinação	77
3.4.2.3.1.3.	Adequação dos regimes de trabalho (trabalho- descanso) através do <i>WBGT</i>	79
3.4.2.3.1.4.	Problemas e limitações	80
3.4.2.3.2.	HSI - Heat Stress Índice	81
3.4.2.3.2.1.	Domínio de Aplicação	81
3.4.2.3.2.2.	Determinação	81
3.4.2.3.2.3.	Tempo máximo de exposição	83
3.4.2.3.2.4.	Interpretação do índice de stress por calor, HSI	83
3.4.2.3.2.5.	Problemas e limitações	84



3.4.2.3.3.	ITH – Índice de Temperatura e Humidade	85
3.4.2.3.3.1.	Considerações Teóricas	85
3.4.2.3.3.2.	Determinação	85
3.4.2.3.4.	ITE – Índice da Temperatura Efectiva.	86
3.4.2.3.4.1.	Considerações Teóricas	86
3.4.2.3.4.2.	Determinação	87
3.4.2.4.	Índices de sobrecarga fisiológica	88
3.4.2.4.1.	Frequência cardíaca	88
3.4.2.4.2.	Sudação	90
3.4.2.5.	Medidas de controlo	90
4	METODOLOGIA	93
4.1.	AMBIENTE DE ESTUDO	94
4.1.1.	EMPRESA EM ESTUDO	94
4.2.	METODOLOGIA ADOPTADA	96
4.2.1.	PRIMEIRA ETAPA: PESQUISA DE CAMPO	96
4.2.1.1.	Primeira fase	97
4.2.1.1.1.	A escolha dos ambientes térmicos a monitorizar	97
4.2.1.1.2.	Caracterização dos ambientes térmicos	97
4.2.1.1.3.	Determinação das variáveis pessoais	99
4.2.1.2.	Segunda Fase	99
4.2.1.3.	Terceira fase	100
4.2.1.3.1.	Medição das variáveis meteorológicas na zona vulnerável	100
4.2.1.3.2.	Questionário aplicado	101
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	105
5.1	AMBIENTE EM ESTUDO	106
5.2	AMBIENTE TT	126
5.2.1	INTRODUÇÃO	126
5.2.2	MÉTODOS, DADOS REGISTADOS E SUA ANÁLISE	127
5.3	AMBIENTE CV	140
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
ANEXOS		173



1 INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A Indústria sempre teve associada a si uma vertente humana, todavia nem sempre esta foi tratada como sendo a sua componente mais relevante.

Desde o início da Revolução Industrial que a Ciência contribuiu para o aperfeiçoamento do processo de produção e performance dos sistemas mecânicos associados a este. Até meados do século XX, as condições de trabalho nunca foram consideradas fundamentais na investigação científica ligada à Indústria mesmo que tais implicassem riscos de doenças para os trabalhadores. Para tal contribuíam dois factores, uma mentalidade em que o valor da vida humana era pouco mais valorizado comparando com os ganhos económicos e uma total ausência, por parte dos Estados, de leis que protegessem o operário.

Apenas a partir da década de 50/60, surgem as primeiras tentativas sérias de integrar os trabalhadores em actividades devidamente adequadas às suas capacidades. O estudo do ambiente térmico começou de forma a solucionar alguns problemas associados ao desempenho mecânico de determinados dispositivos industriais. A importância ergonómica do estudo do ambiente térmico surgiu nessa mesma década, intensificando a sua importância com a publicação do estudo de Fanger em 1970 intitulado *Thermal Comfort*. Neste estudo o autor enunciou a sua teoria referente à determinação da sensação de conforto térmico, conhecida como Modelo do PMV (Voto Médio Estimado), com uma abordagem analítica sustentada pela teoria de trocas térmicas e balanço do calor entre o corpo humano e o ambiente.

Desde este trabalho, as investigações do estudo do conforto térmico têm sido frutíferas e caracterizadas por uma grande multidisciplinaridade, nomeadamente Engenharia, Meteorologia, Medicina, Arquitectura, Ergonomia, entre outras.

Segundo Lamberts (2002), a maioria dos estudos de conforto térmico têm sido efectuados para indivíduos desempenhando actividades sedentárias. A avaliação do ambiente térmico têm sido, regularmente estudada, em estabelecimentos escolares, escritórios e departamentos bancários ou de serviços. É de crucial importância proliferar o estudo do conforto térmico em situações de actividade moderada até às que conferem esforço físico considerável. Este trabalho pretende ser mais uma contribuição no estudo do conforto térmico em ambientes industriais, mais precisamente na Indústria Metalomecânica.

1.1.1. OBJECTIVOS

Este trabalho tem como objectivos:

- o avaliar o ambiente térmico de uma Empresa Metalomecânica, utilizando índices de stress térmico, atendendo aos parâmetros pessoais específicos dos operários em causa;
- o estabelecer as relações existentes entre diferentes índices de stress térmico;
- o estabelecer uma metodologia simples, recorrendo a instrumentos simples, capaz de avaliar o ambiente térmico;
- o estabelecer relações entre o ambiente térmico e a produtividade.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos: INTRODUÇÃO, CONDIÇÕES HIGROMÉTRICAS DO AR HÚMIDO, PRESSUPOSTOS TEÓRICOS, METODOLOGIA, ANÁLISE DE RESULTADOS, CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS e REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. No final inclui também uma lista de ANEXOS referentes a tabelas de dados e constantes utilizadas e ao questionário ministrado aos operários da empresa metalomecânica.

A apresentação da problemática que constitui o pano de fundo da investigação, as questões orientadoras e objectivos da pesquisa são apresentados na INTRODUÇÃO, constituindo esta, o primeiro capítulo do presente trabalho.

No Capítulo 2 – CONDIÇÕES HIGROMÉTRICAS DO AR HÚMIDO, faz-se uma análise da termodinâmica do ar húmido bem como a definição de variáveis meteorológicas e instrumentos de medida. Este capítulo é de crucial importância de forma a compreender o balanço térmico e a dinâmica do ar que envolve o posto de trabalho.

O Capítulo 3 – PRESSUPOSTOS TEÓRICOS – está dividido em quatro subcapítulos: A ergonomia e a avaliação do ambiente térmico, Interação térmica do ser humano com o meio ambiente, Conforto Térmico e Stress Térmico. Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica com as principais normas internacionais, estudos e definições subjacentes à problemática do ambiente térmico. O primeiro subcapítulo faz referência às principais normas internacionais da ISO e ASHRAE que foram objecto de análise neste trabalho. Este subcapítulo procura também explicar a importância da avaliação do ambiente térmico nos locais de trabalho nomeadamente na produtividade e na saúde do operário analisando, com referência a estudos, a problemática da relação quantitativa entre o ambiente térmico e a produtividade. O segundo subcapítulo procura apreender a forma como o Homem reage a ambiente térmicos indesejáveis através dos mecanismos de auto-regulação. Para além disso, analisa-se pormenorizadamente a equação do balanço térmico definida por Fanger (1972). A avaliação do ambiente térmico da empresa de metalomecânica não foi efectuada através da equação do balanço térmico, todavia, visto que esta está na base da formulação das normas internacionais da ISO e ASHRAE utilizadas, tornou-se pertinente a inclusão da sua análise no presente

trabalho. Desta forma, é possível ter uma perspectiva mais abrangente da avaliação do ambiente térmico. Pretendia-se numa fase posterior da investigação efectuar a avaliação do ambiente térmico através da equação do balanço térmico. No entanto, esta abordagem metodológica não se tornou viável, pois exige a utilização de instrumentos de medida não disponíveis nesta fase da investigação. Neste subcapítulo, apresenta-se a definição das variáveis intervenientes na análise do conforto térmico. Os factores intervenientes na aplicação da equação do balanço térmico logo da regulação térmica são também alvo de análise. No terceiro subcapítulo do Capítulo 3, analisa-se as condições necessárias para que um ambiente esteja em conforto térmico, referenciando alguns índices teóricos. Para além disso, analisa-se a problemática do desconforto térmico deslocalizado. No último subcapítulo do Capítulo 3, apresenta-se a definição de stress térmico, destacando-se o stress térmico por calor. Faz-se referência a alguns índices de stress térmico e a sua contextualização nas normas internacionais. Dos índices de stress térmico referidos, nem todos serão utilizados na pesquisa de campo. No entanto, tornou-se pertinente a sua apresentação de forma a permitir a escolha dos índices a analisar no Capítulo 5.

No Capítulo 4 – METODOLOGIA – é apresentada a metodologia utilizada para execução da investigação. A mesma foi dividida em duas etapas. A primeira etapa é a pesquisa de campo e a segunda fase, a determinação dos índices de stress térmico. Neste capítulo são esclarecidas as razões da escolha dos ambientes em estudo e os objectivos do questionário.

No Capítulo 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS – são apresentados os resultados dos índices de stress térmico, analisando-se a relação existente entre os diferentes índices calculados.

No Capítulo 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS – descrevem-se as conclusões e resultados obtidos apresentando-se algumas dúvidas ou limitações que foram surgindo ao longo da realização da investigação e cujas resoluções poderão traduzir possíveis pontos de partida para futuros trabalhos.





2 CONDIÇÕES HIGROMÉTRICAS DO AR HÚMIDO

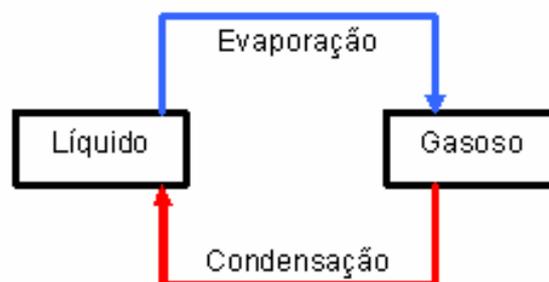
2.1. AR HÚMIDO

2.1.1. NOÇÕES GERAIS

Admite-se que o ar atmosférico é constituído por dois gases, o ar seco e o vapor de água, sendo esta mistura vulgarmente designada por ar húmido. Na ausência de mudança de estado, considera-se que estes dois gases são perfeitos ou ideais. Sendo assim, e pela Lei de Dalton, o ar húmido é também considerado um gás perfeito. A descrição termodinâmica do ar húmido resultará da combinação das propriedades individuais do ar seco e do vapor de água.

O ar seco é um gás que é constituído por uma mistura de gases considerados perfeitos, em proporções pouco variáveis, sendo os mais abundantes o N_2 , O_2 e o Ar.

Contrariamente ao ar seco, a quantidade de vapor de água no ar húmido é variável e em pequenas proporções. No entanto, desempenha um papel crucial no estudo do conforto térmico, devido à sua intervenção nos processos de auto-regulação térmica. Devido às mudanças de estado que sofre, o vapor de água funciona como veículo de transferência de energia. No caso específico, desta investigação, as mudanças de estado que intervêm na caracterização do ambiente térmico são as estabelecidas entre o estado líquido e o estado gasoso e vice-versa, como ilustra a Figura 2.1.01.



Legenda: — Mudanças de estado que promovem absorção de calor
— Mudanças de estado que promovem libertação de calor

Figura 2.1.01: Mudança de estado (líquido a gasoso e vice-versa)

Sendo assim torna-se crucial, para o estabelecimento do conforto térmico, o controlo da quantidade de vapor de água na atmosfera que envolve o ser humano. A importância da quantidade de vapor de água no balanço térmico do ser humano é particularmente visível no fenómeno da transpiração. A evaporação da superfície líquida que cobre a pele é um dos mecanismos de auto-regulação de temperatura promovidos pelo organismo humano. Sendo esta uma mudança de estado que envolve um processo endotérmico, o ser humano irá ter uma sensação de frescura. Torna-se desta forma interessante, sob o ponto de vista ergonómico, estabelecer as relações entre, a distribuição de água na atmosfera envolvente e a temperatura necessária para o estabelecimento do conforto térmico. Estas relações são apresentadas nas normas da ISO e ASHRAE, que foram a base teórico-prática orientadora desta investigação.

2.1.2. EQUAÇÕES DE ESTADO

Considerando que p (Pa) corresponde à pressão absoluta a que está sujeita um gás a que corresponde uma quantidade de substância n (mol de moléculas) que ocupa um volume V (m^3) à temperatura T (K), a sua equação de estado será dada por

$$pV = nRT \quad (2.1.01)$$

onde R designa a constante dos gases perfeitos e tem o valor de $8,314\text{J.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

A equação (2.1.01) é designada por equação dos gases perfeitos.

Sabendo que, m representa a massa de gás considerado e que M é a massa molar desse mesmo gás a equação (2.1.01) pode tomar a seguinte forma,

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (2.1.02)$$

Atendendo a que a massa volúmica do gás, é definida pela expressão $\rho = \frac{m}{V}$, resulta

$$p = \rho \frac{R}{M} T \quad (2.1.03)$$

Nesta última forma a equação de estado dos gases perfeitos é independente da quantidade de gás considerada. Assim sendo, é possível relacionar a pressão, o volume e a temperatura de qualquer substância. Este facto é de enorme importância, porque dentro de certas condições, todos os gases, seguem aproximadamente a mesma equação de estado.

Para o ar seco a equação de estado pode ser escrita na forma

$$p_a = \rho_a R_a T \quad (2.1.04)$$

onde o índice a representa o “ar seco”.

Na expressão (2.1.04), p_a (Pa) indica a pressão parcial exercida pelo ar seco, $R_a \left(= \frac{R}{M_a} \right) = 287.05 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a constante particular para o ar seco e ρ_a a massa volúmica do ar seco. $M_a = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{M_i}} = 28.964 \text{ kg.kmol}^{-1}$ representa a massa molar do ar seco.

Para o vapor de água, a equação de estado pode ser escrita na forma

$$e = \rho_w R_w T \quad (2.1.05)$$

onde o índice w representa o vapor de água

Na expressão (2.1.05), e (Pa) indica a pressão parcial exercida pelo vapor de água (a pressão parcial de um gás é a pressão que ele exerceria à mesma temperatura da mistura se ocupasse sozinho o volume ocupado pela mistura) e ρ_w a massa volúmica do vapor de água. $R_w \left(= \frac{R}{M_w} \right) = 461.51 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ representa a constante particular para o vapor de água e $M_w = 18.015 \text{ kg.kmol}^{-1}$ a massa molar do vapor de água.

A relação das constantes particulares do ar seco e do vapor de água é representada pela letra ε e o seu valor é dado por

$$\varepsilon \left(= \frac{R_a}{R_w} \right) = 0.622 \quad (2.1.06)$$

No Anexo 1 apresenta-se algumas propriedades físicas da água no estado líquido e gasoso.

2.1.3. TERMODINÂMICA DO AR HÚMIDO

2.1.3.1. Lei de Dalton

Atendendo à Lei de Dalton, a pressão do ar húmido é dada pela soma das pressões parciais do ar seco e do vapor de água, caso ocupassem sozinhos todo o volume da mistura à temperatura considerada. Assim sendo, a pressão parcial do ar húmido é dada por

$$p = p_a + e \quad (2.1.07)$$

O valor da pressão do ar húmido é o valor da pressão atmosférica, ou seja o valor registado pelo barómetro.

O valor da pressão parcial de vapor de água pode ser avaliado de duas maneiras: consulta directa de ábacos e/ou tabelas ou aplicação da equação de Clausius-Clapeyron.

O valor da pressão parcial do ar seco pode ser avaliado atendendo aos valores da pressão atmosférica e pressão parcial do vapor de água e é dada por

$$p_a = p - e \quad (2.1.08)$$

2.1.3.2. Equação de Claussius – Clapeyron

A mudança de estado de uma substância é um processo isotérmico e isobárico. A pressão parcial de vapor depende apenas da temperatura.

Combinado as equações que definem o primeiro e o segundo principio da Termodinâmica, vem que:

$$dq = Tds = du + pdv \quad (2.1.09)$$

Se os índices 1 e 2, representam duas fases de uma substância, coexistindo em equilíbrio, ou seja numa mudança de fase, resulta

$$\int_1^2 dq = \int_1^2 Tds = \int_1^2 du + \int_1^2 pdv \quad (2.1.10)$$

Atendendo a que as mudanças de fases são isobáricas e isotérmicas, e que $L_{1 \rightarrow 2}$ corresponde ao calor latente na mudança de fase considerada, também designada por calor de transformação, vem

$$L_{1 \rightarrow 2} = T(s_2 - s_1) = u_2 - u_1 + p(v_2 - v_1) \quad (2.1.11)$$

e

$$Ts_2 - u_2 - pv_2 = Ts_1 - u_1 - pv_1 \quad (2.1.12)$$

Se a expressão (2.1.12) for diferenciada obtém-se

$$Tds_2 + s_2dT - du_2 - v_2dp - pdv_2 = Tds_1 + s_1dT - du_1 - v_1dp - pdv_1 \quad (2.1.13)$$

mas como $dq = Tds$ e $dq = du + pdv$, resulta

$$s_2dT - v_2dp = s_1dT - v_1dp \quad (2.1.14)$$

ou seja

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_2 - s_1}{v_2 - v_1} \quad (2.1.15)$$

No caso específico da transição do estado líquido (índice 1) para o estado gasoso (índice 2), deve-se substituir p por e_s (pressão de saturação de vapor). Atendendo à expressão (2.1.11) e particularizando para o caso em análise, vem

$$s_2 - s_1 = \frac{L_{1 \rightarrow 2}}{T} \quad (2.1.16)$$

onde $L_{1 \rightarrow 2}$ corresponde ao calor latente de vaporização ou calor de transformação.

Se à expressão (2.1.16) for introduzida na expressão (2.1.15) obtém-se a Equação de Clausius-Clapeyron

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_{1 \rightarrow 2}}{T(v_2 - v_1)} \quad (2.1.17)$$

Na atmosfera o volume específico da água v_1 é desprezável em fase do volume específico do vapor de água v_2 , e assumindo, como já referido, que o vapor de água se comporta como um gás perfeito, a expressão (2.1.17) pode escrita como

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_{1 \rightarrow 2} e_s}{R_w T^2} \quad (2.1.18)$$

Se o calor de transformação $L_{1 \rightarrow 2}$ for considerado como constante (é uma boa aproximação na atmosfera) e se a expressão (1.1.18) for integrada entre o estado T_0 e e_{s0} e o estado T e e_s , vem

$$\ln \frac{e_s}{e_{s0}} = \frac{L_{1 \rightarrow 2}}{R_w} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (2.1.19)$$

em que e_{s0} representa a pressão de saturação de vapor correspondente à temperatura T_0 .

Experimentalmente para $T_0 = 273$ K o valor de e_{s0} é 6,11 mb (hPa). Para a atmosfera o valor típico aceite para $L_{1 \rightarrow 2}$ é de $2,5 \times 10^6$ J.kg⁻¹. Se estes valores forem introduzidos na expressão (2.1.19) e sabendo que R_w é igual a 461,51 J.kg⁻¹.K⁻¹ resulta

$$e_s = 6,11 e^{19,84 \left(1 - \frac{273}{T} \right)} \quad (2.1.20)$$

A expressão (2.1.20) mostra que a pressão de saturação de vapor é exclusivamente função da temperatura.

No Anexo 2, como informação indicam-se os valores experimentais da pressão de vapor de saturação em função da temperatura.

2.2. PARAMETROS METEOROLÓGICOS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA

A Norma ISO 7726 (1998), cujos objectivos serão abordados no Capítulo 3, define as variáveis meteorológicas envolvidas no conforto térmico e os instrumentos de medida a utilizar.

Na prática, a análise do conforto térmico ou stress térmico num posto de trabalho necessita do conhecimento de grandezas físicas e características do ambiente de trabalho. O conhecimento da temperatura, humidade relativa e velocidade do ar é crucial para a avaliação do conforto térmico. Para a avaliação do conforto térmico é igualmente crucial conhecer a temperatura natural do termómetro molhado, temperatura do globo e temperatura de radiação média. Por se considerar oportuno, apresenta-se a definição de algumas dessas variáveis no contexto deste trabalho, bem como os instrumentos de medida a utilizar e caso seja relevante alguns cuidados a adoptar no momento da medição.

2.2.1. TEMPERATURA DO AR

2.2.1.1. Definição

A temperatura do ar T , expressa em K ou °C, é a temperatura do ar na vizinhança do corpo humano. A temperatura do ar é uma das variáveis que regula as trocas de calor por convecção no corpo humano.

2.2.1.2. Instrumentos de medida

A determinação da temperatura é possível, através da utilização de vários instrumentos de medida. No entanto, qualquer que seja o instrumento utilizada, a medição da temperatura apenas tem validade no local da medição. No caso deste trabalho, foi utilizado um digital *hygro – thermometer anemometer* Pacer Model DA40H e

vários termómetros de bolbo de mercúrio, localizados a uma altura, a partir do solo, de cerca de 1,2 m.

Os cuidados a adoptar no momento do registo da temperatura, estão relacionados com dois factores: o efeito da radiação e a inércia térmica do sensor (caso seja este o instrumento a utilizar) e erros de paralaxe (caso do termómetro de bolbo de mercúrio).

De forma a eliminar possíveis erros de medida é necessário proteger o instrumento de medida dos efeitos da radiação, pois em caso negativo, o valor medido seria um valor intermédio da temperatura do ar e da temperatura média radiante.

Para além disso para o instrumento utilizado, durante a medição é necessário respeitar o tempo de resposta do sensor. A leitura não deverá ser instantânea, devendo a medição ser concretizada num período não inferior a 1,5 vezes o tempo de resposta do aparelho (Lamberts, 2002).

2.2.2. HUMIDADE RELATIVA DO AR

2.2.2.1. Definição

Para definir a humidade relativa é necessário avaliar o conteúdo de vapor de água na atmosfera envolvente. Assim sendo, apresenta-se de seguida a definição de algumas grandezas higrométricas, cuja compreensão é de crucial importância para a determinação da humidade relativa.

2.2.2.1.1. Razão de mistura

A razão de mistura, r , a uma dada pressão atmosférica, p , é calculada pelo quociente entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco dada por:

$$r = \frac{\rho_w}{\rho_a} \quad (2.1.21)$$

Atendendo às expressões (2.1.04), (2.1.05), (2.1.06) e (2.1.07) por manipulações matemáticas resulta

$$r = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (2.1.22)$$

mas como na atmosfera o valor de p é muito superior a e , este pode ser desprezado em face de p e a expressão (2.1.22) pode assumir a seguinte forma

$$r = 0,622 \frac{e}{p} \quad (2.1.23)$$

onde r é expresso em gramas de vapor de água por quilograma de ar seco.

A expressão simplificada (2.1.23) dá uma boa aproximação do valor da razão de mistura quando se conhecem a pressão parcial de vapor de água a uma dada temperatura e a pressão atmosférica (do nível de estudo). Conforme já referido, a pressão parcial de vapor a uma dada temperatura pode ser determinada através da Equação de Clausius-Clapeyron, tabelas e ábacos disponíveis na literatura da especialidade.

2.2.2.1.2. Razão de mistura de saturação

No caso do ar saturado, ou seja quando uma certa quantidade de ar húmido não consegue “absorver” mais vapor de água sem que o vapor de água mude de estado, a razão de mistura de saturação é dada por

$$r_s = 0,622 \frac{e_s}{p - e_s} \quad (2.1.24)$$

em que r_s é expresso em grama de vapor de água por quilograma de ar saturado. (g/kg_{ar seco}).

Analogamente $p \gg e_s$, a expressão (2.1.24) torna-se

$$r_s = 0,622 \frac{e_s}{p} \quad (2.1.25)$$

A pressão de saturação de vapor de água associada a cada temperatura pode ser retirada, por exemplo, a partir de tabelas como a apresentada no Anexo 2.

2.2.2.1.3. Temperatura do ponto de orvalho

A temperatura do ponto de orvalho T_d é definida como a temperatura à qual uma quantidade de ar húmido precisa de ser arrefecida de forma a alcançar a saturação, mantendo a pressão e a razão de mistura constantes. Assim sendo, no ponto de orvalho, a razão de mistura r iguala a razão de mistura de saturação r_s , ou seja a temperatura do ar iguala a temperatura do ponto de orvalho.

2.2.2.1.4. Humidade relativa do ar

A humidade relativa HR é o quociente (expresso em percentagem) entre razão de mistura r e a razão de mistura de saturação r_s dada por

$$HR = \frac{r}{r_s} 100 \quad (2.1.26)$$

Atendendo à (2.1.23) e (2.1.25), vem que:

$$HR = \frac{e(T_d)}{e_s(T)} 100 \quad (2.1.27)$$

A expressão (2.1.26) ou (2.1.27) indica que a humidade relativa do ar aumenta com a diminuição da temperatura de ar T pois neste caso a pressão parcial de vapor $e(T)$ aproxima-se da pressão parcial de vapor $e_s(T_d)$.

Nestes termos a humidade relativa do ar, HR pode ser definida como o quociente entre a razão de mistura de saturação à temperatura do ponto de orvalho T_d e a razão de mistura de saturação r_s à temperatura do ar T e ao mesmo nível isobárico. A humidade relativa do ar intervém na determinação das trocas de calor por evaporação ao nível do homem.

Assim, no caso mais geral, a humidade relativa do ar é facilmente determinada através da expressão,

$$HR = \frac{r(T_d, p)}{r_s(T, p)} 100 \quad (2.1.28)$$

em que $r(T_d, p)$ e $r_s(T_d, p)$ são determinadas por aplicação das expressões (2.1.22) e (2.1.24), respectivamente.

2.2.2.2. Instrumentos de medida

A humidade relativa pode ser registada por um instrumento de medida denominado higrómetro ou higrógrafo. Como nesta investigação se usaram diversos psicrómetros, considerou-se oportuno descrever como é avaliada a humidade relativa do ar.

Um psicrómetro é constituído por dois termómetros, um termómetro do bolbo seco e um termómetro do bolbo molhado. Estes termómetros têm como objectivo permitir o registo da temperatura do ar e da temperatura húmida no momento da observação. A conjugação destes dois valores permite avaliar a humidade relativa do ar.

O termómetro de bolbo seco indica a temperatura do ar e esta é designada por temperatura do bolbo seco.

O termómetro de bolbo molhado consiste num termómetro cujo bolbo está revestido com uma gaze mergulhada em água destilada. Este termómetro indica a temperatura do bolbo molhado ou temperatura húmida. Caso o ar não esteja saturado, ocorrerá evaporação da água que envolve o bolbo. O calor latente necessário para a evaporação é transferido do próprio bolbo o que provoca uma diminuição da temperatura lida no termómetro de bolbo molhado. No caso do ar estar saturado não ocorrerá nenhuma evaporação da água que envolve o bolbo, ou seja a temperatura do bolbo seco é igual à temperatura do bolbo molhado.

Em ambos os termómetros constituintes do psicrómetro a substância termométrica utilizada é o mercúrio.

Este instrumento de medida foi utilizado na terceira fase da primeira etapa deste trabalho, como será descrito no Capítulo 4 do presente trabalho.

No caso do psicrómetro é necessário ter algumas precauções durante a sua utilização. Estes cuidados prendem-se essencialmente com dois factores: a radiação, a gaze e líquido a utilizar. No primeiro caso e analogamente com o já descrito para a medição da temperatura é necessário proteger os termómetros da radiação. No caso do termómetro do bolbo molhado é necessário ter algumas precauções relativamente à gaze e ao líquido. O líquido que humedece a gaze deve ser água destilada, pois a pressão de vapor difere caso se utilize água não destilada. A gaze que envolve o bolbo do termómetro do bolbo molhado deverá prolongar-se além da parte sensível do termómetro a fim de evitar erros devido à condução térmica no termómetro.

A temperatura do termómetro molhado T_w situa-se sempre entre a temperatura do termómetro seco e a temperatura do ponto de orvalho T_d , ou seja $T \geq T_w \geq T_d$. No limite, são temperaturas iguais quando a humidade relativa do ar é 100%.

A partir do conhecimento da temperatura do ar e da temperatura do termómetro molhado e conhecendo a pressão atmosférica, é possível a partir de tabelas de valores diagramas psicrométricos ou da fórmula de Sprung avaliar a humidade relativa do ar (Dossat, 1980), dada por

$$HR = \frac{100}{e(T)} \left[e(T_w) - 0,79 \frac{p}{760} (T - T_w) \right] \quad (2.1.29)$$

Na expressão (2.1.29) T representa a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), T_w a temperatura do termómetro molhado ($^{\circ}\text{C}$), $e(T)$ a pressão parcial de vapor à temperatura T , $e(T_w)$ a pressão parcial de vapor à temperatura T_w e p a pressão atmosférica (mmHg).

2.2.3. VELOCIDADE DO AR

2.2.3.1. Definição

A velocidade do ar, v expressa em m.s^{-1} é uma variável meteorológica que intervém na determinação das trocas de calor por convecção e por evaporação ao nível do Homem. É uma variável que apresenta dificuldades na medição e determinação devido às constantes e rápidas flutuações em intensidade e direcção. A Tabela (2.1.01) apresenta valores orientadores para a sensibilidade da velocidade do ar.

Tabela 2.1.01 – Sensibilidade do movimento do ar

Situação	Velocidade do ar (m.s^{-1})
Ausência de movimento	< 0,30
Ligeira brisa	0,30 – 0,50
Causa movimento do cabelo	0,50 – 1,50
Sensação forte	> 1,50

2.2.3.2. Instrumento de medida

O anemómetro é o instrumento utilizado para medir a velocidade do ar.

Existem vários tipos de anemómetros no mercado, possibilitando medições unidireccionais ou omnidireccionais.

Neste trabalho foi utilizado um anemómetro de pás, apto a realizar medições unidireccionais. O instrumento digital *hygro – termometer anemometer* Pacer Model

DA4OH usado para avaliar a temperatura e a humidade relativa do ar também regista a velocidade de agitação do ar.

2.2.4. TEMPERATURA NATURAL DO TERMÓMETRO MOLHADO

A temperatura natural do termómetro molhado T_{wn} depende da temperatura, velocidade e humidade relativa do ar bem como da temperatura média radiante. Esta temperatura não deve ser confundida com a temperatura do termómetro molhado T_w usada para avaliar a humidade relativa do ar usando instrumentos de rotação (psicrómetro giratório - método utilizado para determinação de humidade relativa do ar usando o sistema de termómetros de bolbo seco e húmido para aplicações em conforto ambiental, fins meteorológicos, etc.). Esta observação parece-nos interessante pois existe diferença entre T_{wn} e T_w , basicamente porque T_{wn} é superior a T_w e é função da velocidade da corrente de ar que é forçada a passar nos instrumentos de medida para avaliação dos índices térmicos como o *WBGT*, que será tratado mais à frente.

2.2.5. TEMPERATURA DO GLOBO

A temperatura de globo T_g , medida por um termómetro de globo depende da temperatura média radiante, da temperatura e velocidade do ar. É expressa em K ou °C. O termómetro de globo é constituído por uma esfera de cobre, oca e pintada externamente de negro mate a fim de absorver a radiação infravermelha (normalmente usa-se uma esfera de 15 cm de diâmetro com um coeficiente de emissividade de 0.95).

É possível construir um equipamento simples usando uma bola de pingue-pongue pintada de negro e depois calibrado “contra” os valores registados pelo termómetro de globo, nas mesmas condições ambientais.

2.2.6. TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE

Segundo a norma ISO 7726 (1998), a radiação de um ambiente é um dos factores de desconforto térmico. Por este motivo, é crucial o conhecimento da temperatura radiante média, T_{RM} , expressa em K ou °C, que depende da temperatura de globo, da temperatura ambiente e da velocidade do ar.

A temperatura média radiante pode ser determinada através da expressão:

$$T_{RM} = \sqrt[4]{(T + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 (T_g - T) \sqrt{v}} - 273 \quad (2.1.30)$$





3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

3.1. A ERGONOMIA E A AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO

3.1.1. IMPORTÂNCIA ERGONÓMICA DA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO

No dia 1 de Agosto de 2000 o Conselho Científico da IEA – International Ergonomics Association, aprovou por unanimidade a definição internacional de Ergonomia. Segundo a IEA, a Ergonomia é a disciplina científica relacionada com a compreensão das interações entre os seres humanos e os outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica a teoria, princípios, dados e métodos para conceber com vista a otimizar o bem estar humano e o desempenho global dos sistemas.¹

A Ergonomia centra a sua acção no binómio Homem-Sistema que está presente em diversos “cenários” de actuação como ambientes industriais, de serviços ou comerciais, hospitais, escolas, transportes, sistemas informatizados, entre outros. O campo de actuação da Ergonomia é vasto agindo em qualquer situação de trabalho ou lazer, desde o stress físico nas articulações, músculos, nervos, tendões, ossos, etc; aos processos mentais como a percepção, memória, raciocínio e respostas motoras até aos factores ambientais que possam afectar a audição, visão, conforto e principalmente a saúde, entre outros (APERGO, 2007). A Ergonomia também actua na definição de tarefas de modo a que sejam eficientes e tenham em conta as necessidades humanas, tais como, pausas para descanso e turnos de trabalho sensíveis, bem como outros factores, tais como recompensas intrínsecas do trabalho em si e concepção de ambientes de trabalho, incluindo a iluminação e a temperatura ambiente, de modo a satisfazer as necessidades dos utilizadores e das tarefas executadas (Castillo e Villena, 2005).

Com o desenvolvimento de pesquisas em torno da Ergonomia surgiu a necessidade de avaliar o efeito do clima no posto de trabalho e no operador humano (Krüger et al., 2001). As primeiras investigações que se debruçaram no estudo desta relação surgiram no século XIX e tinham como finalidade incrementar os níveis de produtividade industrial (Markov, 2002). Na década de 50 do século XX, a ASHVE

¹ Informação disponível no sitio oficial da IEA http://www.iea.cc/browse.php?contID=what_is_ergonomics (última visita 03/06/2007)

(American Society for Heating and Ventilation Engineers) promove a primeira sistematização de pesquisas empíricas e analíticas sobre ambiente e conforto térmico.

A obra *Thermal Comfort* de Fanger (1972) veio confirmar a importância do estudo do conforto térmico e enfatizar o carácter multi e interdisciplinar desta área de estudo. No prefácio da obra de Fanger, são citadas as diversas disciplinas envolvidas no estudo do conforto térmico: transferência de calor e massa, fisiologia, ergonomia, biometeorologia, arquitectura e engenharia têxtil.

A publicação de legislação relacionada com o conforto térmico, pela ISO (International Organization for Standardization) e ASHRAE (American Society for Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), veio reforçar a importância do estudo desta temática e a obrigatoriedade de a legislar de forma a salvaguardar a saúde do trabalhador.

O estudo do conforto térmico tem uma forte importância económica. O controlo das variáveis meteorológicas permite a optimização do ambiente térmico e consequentemente um incremento nos níveis de produção. Várias pesquisas realizadas em laboratório e em campo têm sido desenvolvidas de forma a demonstrar a relação entre o conforto térmico e o desempenho do trabalhador. Embora os resultados destas actividades experimentais não tenham conduzido a conclusões definitivas, mostraram claramente a tendência do desconforto, proporcionado por ambientes quentes ou frios, reduzir o referido desempenho (Krüger et al., 2001).

No entanto é necessário enfatizar o carácter social do estudo desta temática. O conforto térmico não deverá ser analisado tendo como “pano” de fundo uma perspectiva economicista. O conforto térmico é antes de mais um problema de saúde pública e deverá ser analisado desta forma.

3.1.1.1. Ambiente Térmico e a Produtividade

O Homem é um sistema termodinâmico aberto que produz calor interagindo com o meio para manter a sua temperatura interna dentro de um certo intervalo – ser homeotérmico. É também um ser racional que busca a satisfação das suas necessidades e expectativas. A associação dessas duas ideias permite concluir que as condições ambientais que proporcionam o conforto térmico são também condições que favorecem a obtenção de uma maior produtividade (Ruas, 2002).

O estudo da relação entre o ambiente térmico e a produtividade é complexo pois ambos os conceitos dependem de muitos factores, entre eles parâmetros individuais, não tendo por este motivo o mesmo efeito para todas as pessoas.

Estudos realizados por Lorsch e Abdou (1994), que tinham como objectivo determinar a relação quantitativa entre a produtividade e o ambiente térmico, demonstraram que o controlo dos parâmetros meteorológicos pode ser efectuado de forma a otimizar os níveis de produtividade.

A influência pessoal e humana, na avaliação da satisfação com o meio ambiente e posterior relação com o seu nível de produtividade, depende de vários factores não mensuráveis como o seu estado psicológico, expectativas e sua postura social no local de trabalho (Silva, 2001). Por este motivo, há discrepâncias entre as experiências de campo e os resultados dos testes feitos em ambientes térmicos controlados, como os efectuados em manequins computadorizados, podendo o peso da variável psicológica ser uma das explicações possíveis.

Todavia, como refere Stoops (2004), a entidade patronal reconhece que o aumento da satisfação ambiental favorece a produtividade dos trabalhadores e que o controlo individual dos sistemas de climatização, dependendo da actividade desenvolvida, proporciona um aumento da produtividade, na ordem dos 2,8% a 8,6%.

3.1.1.2. Ambiente Térmico e a Saúde

Em zonas de desconforto existe stress térmico devido às condições ambientais desfavoráveis, como por exemplo excesso de calor e ruídos que podem suscitar o risco de acidentes e provocar danos à saúde (Grandjean, 1998).

No entanto, alguns estudos evidenciam a necessidade da estimulação térmica para o estabelecimento de um estilo de vida saudável a longo prazo. Apontam como estratégia de melhoria dos índices de produtividade o aquecimento ou arrefecimento do ambiente de trabalho. Todavia, a estimulação térmica não reúne consenso na comunidade científica (Stoops, 2004).

3.1.2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

3.1.2.1. ISO - International Organization for Standardization

ISO – International Standardization for Organization é uma organização não-governamental sediada em Genebra e fundada em 23 de Fevereiro de 1947. De acordo com informações disponibilizadas no sítio oficial da ISO², esta organização funciona como um fórum internacional de normalização actuando como uma entidade harmonizadora entre os diversos institutos nacionais de normalização de mais de 156 países. As normas ISO reflectem o consenso internacional de vários grupos de investigação.

As definições das normas têm em conta as contribuições dos especialistas, empresas e outras identidades que as têm de implementar. As normas ISO são de aplicação voluntária. Como uma organização não governamental, a ISO não tem autoridade legal para obrigar a sua implementação. Todavia, determinadas normas ISO, especialmente as relacionadas com a saúde, segurança e ambiente, foram adoptadas por alguns países como parte da sua legislação reguladora servindo como base técnica.

Embora as normas ISO sejam de aplicação voluntária, estas tornaram-se uma exigência do mercado e por este motivo amplamente respeitadas e aceites por sectores públicos e privados internacionais. A ISO elaborou várias normas relacionadas com o estudo do conforto térmico.

Em seguida referem-se apenas as utilizadas neste trabalho:

3.1.2.1.1. Norma ISO 7726 (1998) – Instrumentos e métodos para a medição das quantidades físicas

Esta norma internacional tem como principais objectivos:

- Definição dos termos usados nos métodos de medição e testes de interpretação;

² International Organization for Standardization (2005), *Overview of ISO System*, disponível em <http://www.iso.org/iso/en/aboutiso/introduction/index.html> (última visita: 13/04/2005)

- Selecção de um ou mais métodos de interpretação dos parâmetros;
- Especificação dos valores limites recomendados para a exposição a determinados ambientes térmicos – ambientes quentes, frios ou dentro do intervalo de conforto;
- Especificação de métodos de medida de eficiência ou processos de protecção pessoal ou colectiva em ambientes quentes ou frios.

Em suma, a ISO 7726/1998³ define os parâmetros envolvidos no conforto térmico e orienta quanto ao processo de medições em condições confortáveis ou extremas.

3.1.2.1.2. Norma ISO 7730 (2005) – Ambientes térmicos moderados:

A norma internacional ISO 7730/2005⁴ aplica-se à avaliação de ambientes térmicos moderados. As sensações térmicas do Homem são influenciadas pelos parâmetros individuais, actividade desenvolvida e vestuário, e pelos parâmetros físicos. Os parâmetros físicos estudados são a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade do ar. Com a medição dos parâmetros meteorológicos já referidos, a sensação térmica do corpo pode ser estimada através do cálculo do índice *PMV* (Predicted Mean Vote). O índice *PPD* (Predicted Percentage of Dissatisfied) fornece informações sobre o desconforto térmico, estimando a percentagem de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio.

A norma ISO 7730/2005 fornece também um método para o cálculo da percentagem de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar, bem como apresenta os parâmetros relativos à condição de aceitabilidade térmica de um ambiente, tendo em vista os índices do *PMV* e *PPD*.

Esta norma aplica-se a homens e mulheres saudáveis expostos a ambientes interiores onde o conforto térmico foi atingido, ou onde existem zonas de conforto. A ISO 7730/2005 pode ser utilizada para conceber novos ambientes ou para avaliar ambientes já existentes.

³ ISO 7726/1998, *Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse

⁴ ISO 7730/2005, *Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV e PPD et spécification des conditions de confort thermique*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse

3.1.2.2. ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

A ASHRAE é uma organização norte-americana cujo objectivo principal é o desenvolvimento das ciências e tecnologias associadas a HVAC&R – aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (tradução do inglês heating, ventilation, air-conditioning, and refrigeration) – em prol do desenvolvimento e do bem-estar humano.

A ASHRAE tem mais de 175 normas que descrevem métodos de teste, especificam valores e recomendam normas metodológicas⁵. Analogamente como se fez para a ISO, discrimina-se a norma da ASHRAE utilizada neste trabalho.

3.1.2.2.1. ASHRAE Standard 55 (2004)

Esta norma internacional tem como principal objectivo a especificação das diferentes combinações dos factores térmicos ambientais e os factores pessoais que produzem um ambiente térmico aceite pela maioria dos ocupantes do espaço⁶. Os parâmetros ambientais considerados nesta norma internacional são a temperatura, a radiação, humidade e velocidade do ar. Os factores pessoais são a taxa metabólica e o vestuário.

Esta norma é aplicável a adultos saudáveis que ocupem ambientes interiores num intervalo de tempo não inferior a 15 minutos e especifica as condições às quais uma fracção específica de ocupantes classifica o ambiente como termicamente satisfatório.

À semelhança das normas internacionais supracitadas, ASHRAE Standard 55 – 2004, não contempla factores como a qualidade do ar, níveis de ruído, iluminação e presença de contaminantes biológicos e químicos.

⁵ Informação disponível no sitio <http://techstreet.com/info/ashrae.tmp#hist> (última visita: 03/07/2006)

⁶ ANSI/ASHRAE 55/2004, Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, USA

3.1.2.2.2. ASHRAE Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort (2001)

Esta normativa apresenta os fundamentos de termoregulação humana e conforto térmico e foi elaborada com objectivo de constituir uma ferramenta útil e prática na elaboração de projectos de edifícios visando o conforto de ocupantes. É uma normativa usada em gabinetes de projectos de engenharia civil e arquitectura. Adicionalmente, a normativa apresenta, de maneira sumariada, as principais directrizes das normas ISO referentes ao ambiente térmico e as conclusões dos mais recentes estudos académicos.

3.1.2.3. Normativas Portuguesas

Portugal está sensível à problemática da energia na construção de edifícios. Os novos diplomas legais relativos ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) foram publicados no dia 4 de Abril de 2006. Estes diplomas legais estão em vigor desde Julho de 2006.

- Decreto – Lei nº 78/2006 (2006) – aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios;
- Decreto – Lei nº 79/2006 (2006) – aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;
- Decreto – Lei nº 80/2006 (2006) – aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

3.2. INTERACÇÃO TÉRMICA DO SER HUMANO COM O MEIO AMBIENTE

3.2.1. TERMOREGULAÇÃO HUMANA

A temperatura é sem dúvida um dos parâmetros mais importantes a considerar quando se pretende avaliar o conforto térmico. O Homem é um ser vivo homeotérmico ou seja, dentro de certos limites, independentemente da temperatura exterior a sua temperatura interna mantém-se constante. Esta conservação da temperatura interna realiza-se através de certos mecanismos fisiológicos de regulação térmica, sendo estes responsáveis pela conservação e dissipação de energia.

Para a generalidade das células vivas os limites máximos de tolerância da temperatura são 0°C e 45°C. O limite inferior, denominado temperatura crítica inferior, está relacionado com a formação de cristais de gelo na célula, que provoca a rotura da membrana celular e sua consequente morte. O limite superior, denominado temperatura superior crítica, está relacionado com a coagulação das proteínas intracelulares que provoca igualmente a morte da célula. No caso do Homem, estes limites estão relacionados com a temperatura do ambiente mais alta e mais baixa que permitem a manutenção da temperatura interna em 37°C considerada como a temperatura óptima. Este valor pode oscilar devido à exposição a ambientes quentes ou frios, doenças ou prática de exercício. Todavia a temperatura corporal média deverá estar compreendida no intervalo [36,1; 37,8] °C. Fora deste intervalo a sobrevivência torna-se difícil.

Para analisar temperatura do organismo torna-se pertinente dividir o organismo humano em dois componentes: o núcleo e a periferia (MTAS, 2001). A temperatura do núcleo T_C é a temperatura interna profunda e pode ser medida no recto ou na boca. A temperatura da periferia corresponde á temperatura cutânea média T_{SK} . Deste modo, temperatura corporal média T_B é dada por

$$T_B = k_B T_C + (1 - k_B) T_{SK} \quad (3.2.01)$$

onde k_B corresponde a um factor de ponderação que varia aproximadamente entre 0,67 e 0,90 (MTSA, 2001).

Quando a temperatura ambiente não permite que o organismo humano permaneça em neutralidade térmica, como é o caso de situações de stress térmico, o organismo acciona mecanismos fisiológicos de regulação térmica de forma a manter constante a temperatura do núcleo, T_C . A temperatura cutânea média, T_{SK} , é muito influenciada pelas condições do microclima que se apresenta em redor do ser humano. Por este motivo a regulação térmica e consequente acção dos mecanismos fisiológicos de regulação térmica, são realizados atendendo à temperatura do núcleo, T_C .

A homeostasia humana é um processo complicado e é constituída por dois processos paralelos de ocorrência simultânea:

- regulação da temperatura comportamental;
- regulação da temperatura fisiológica.

O primeiro processo está relacionado com os comportamentos conscientes que podem ser aplicados de forma a permitir a manutenção da temperatura do núcleo. O segundo processo manifesta-se através de mecanismos de acção involuntária não podendo estes serem controlados pelo indivíduo (Weller, 2005).

A região do cérebro que coordena a regulação térmica do organismo (processo de regulação da temperatura fisiológica) é o hipotálamo anterior (MTSA, 2001). Esta regulação é feita devido à existência de células nervosas que respondem especificamente ao calor (neurónios sensíveis ao calor) ou especificamente ao frio (neurónios sensíveis ao frio). Consoante os sinais recebidos pelas células nervosas o hipotálamo anterior envia sinais à pele, músculos e outros órgãos. Outras regiões do sistema nervoso central, como o hipotálamo posterior, a formação reticular, o bolbo raquidiano e a espinal medula, permitem a comunicação entre o hipotálamo anterior e os órgãos responsáveis pela regulação térmica.

Os mecanismos fisiológicos de regulação térmica são accionados como resposta a um “erro” de carga. O hipotálamo recebe os sinais das células nervosas sensíveis às alterações de temperatura do núcleo e interpreta-os como sendo uma soma de impulsos de carga positiva e negativa. Os sinais de carga positiva são os provenientes dos neurónios sensíveis ao calor e os de carga contrária originários dos neurónios sensíveis ao frio. Quando estes são de igual amplitude o organismo está em neutralidade térmica. Quando ocorre um “erro” de carga, dependentemente do seu sinal, a temperatura do

núcleo é superior ou inferior a um determinado valor de referência. A Figura 3.2.01 ilustra o modelo de regulação térmica do ser humano.

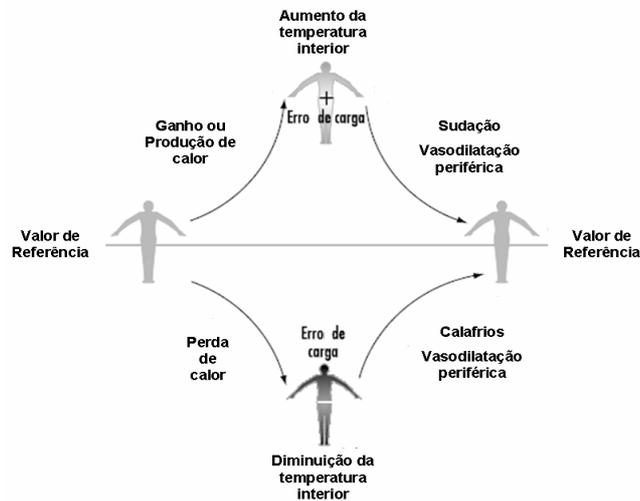


Figura 3.2.01: Modelo de regulação térmica do ser humano (adaptado de MTSA, 2001)

As trocas de energia sob a forma de calor, entre o corpo humano e o ambiente são realizadas segundo quatro processos: condução, convecção, radiação e evaporação.

Quando ocorre um “erro” de carga positivo, é necessário que ocorram trocas de energia entre a superfície do corpo e o meio ambiente – perda de energia sob a forma de calor.

A condução envolve a transferência de energia sob a forma de calor de um material para outro por contacto directo. A uma escala microscópica, este processo resulta da transferência de energia cinética entre partículas. As partículas menos energéticas ganham energia através de colisões com as partículas de maior energia (Serway and Beichner, 2000). Aplicando este conceito ao processo de regulação da temperatura fisiológica em ambientes quentes, a energia sob a forma de calor é conduzida desde interior do corpo até à superfície (pele), através dos tecidos adjacentes, sendo posteriormente transferida para o vestuário ou o ar que está em contacto directo com a superfície do corpo. A Figura 3.2.02 tenta ilustrar (sem ser considerada em escala) o processo de condução de energia sob a forma de calor no corpo humano.

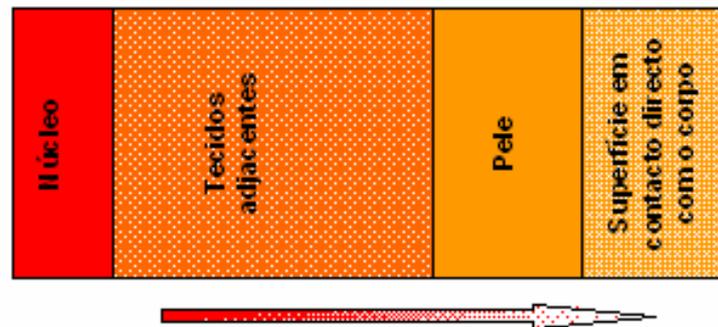


Figura 3.2.02: Condução de energia sob a forma de calor no corpo humano

Se a superfície em contacto directo com a superfície do corpo estiver a uma temperatura maior que a pele, a transferência de energia sob a forma de calor ocorrerá em sentido contrário, não sendo possível a perda de calor e a diminuição da temperatura do núcleo, estabelecendo-se uma situação favorável para o estabelecimento de condições de stress térmico.

A convecção envolve transferência de energia sob a forma de calor através do movimento entre um corpo aquecido e a camada de fluido adjacente à sua superfície. Aplicando este conceito ao processo de regulação da temperatura fisiológica em ambientes quentes, o ar circula em redor da superfície do corpo, restituindo moléculas de ar e afastando as que foram aquecidas pelo contacto com a superfície do corpo (Weller, 2005). Neste caso, o calor gerado no interior do corpo humano pode ser conduzido através dos tecidos adjacentes até à superfície do corpo, constituindo este comportamento involuntário um mecanismo de termoregulação térmica. Devido à maior capacidade térmica mássica da água, este processo é otimizado quando a superfície do corpo está molhada.

O principal mecanismo para a perda de energia sob forma de calor por parte do corpo é a radiação. Um corpo despido pode perder 60% do seu excesso de calor através deste processo (Weller, 2005). A energia sob a forma de calor transferido por radiação é emitida do corpo para objectos mais frios como as peças de vestuário. Em ambientes quentes é necessário minimizar as trocas de energia radiante entre o corpo e a fonte radiante.

A contribuição da evaporação é responsável por uma perda de energia [20, 80] % correspondendo o limite inferior a uma situação de repouso e limite superior a uma actividade de alta exigência física. A energia necessária para mudança de estado da

água (estado líquido para o estado gasoso) é transferida da superfície da pele para a água, contribuindo para o seu arrefecimento. A sudorese requer a actividade das glândulas sudoríparas. Quando a pressão parcial de vapor é alta, ou seja altos valores de humidade relativa do ar, ou quando o vestuário é praticamente impermeável a eficácia deste processo é altamente afectada.

A perda de energia de calor sob a forma de calor é largamente determinada pela diferença entre a temperatura da superfície e o ambiente. Após a detecção de um “erro” de carga positivo, por parte do hipotálamo, são accionados mecanismos fisiológicos de termoregulação indicados no subcapítulo 3.4.2.2. Estes mecanismos estão associados aos processos da regulação da temperatura fisiológica.

De crucial importância para a prevenção de situações de stress térmico são os processos de regulação da temperatura comportamental. A escolha adequada das peças de vestuário, correcta hidratação e alimentação e a promoção da convecção forçada através do uso de ventoinhas são comportamentos voluntários que contribuem para a prevenção de ocorrência de situações de stress térmico. Estas medidas serão explicitadas no subcapítulo 3.4.2.5.

Quando ocorre um “erro” de carga negativo, é necessário que ocorram trocas de energia entre o meio ambiente e a superfície do corpo – ganho de energia sob a forma de calor. Os mecanismos de termoregulação a adoptar são a vasoconstrição e o tiritar ou tremor muscular sendo este de maior importância.

Este trabalho debruça-se essencialmente no estudo do ambiente quente, por este motivo não se apresenta a termogénese dos mecanismos do tiritar e vasoconstrição.

No caso da não eficácia dos mecanismos de termoregulação e dos comportamentos preventivos, estabelecem-se situações de stress térmico que podem levar a danos graves no metabolismo e “falência” dos órgãos internos⁷:

- Hipertermia, associada a um “erro” de carga positivo. Ocorre quando a temperatura corporal média é superior a 42°C (MTSA, 2001).
- Hipotermia, associada a um “erro” de carga negativo. Ocorre quando a temperatura corporal média é inferior a 24°C (MTSA, 2001).

⁷ Informação retirada do Sítio Oficial do I.N.E.M – Instituto Nacional de Emergência Médica <http://www.inem.min-saude.pt>

3.2.2. EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO

Duas condições devem ser cumpridas para que um ser humano esteja em conforto térmico. A primeira condição é que a combinação entre a temperatura da periferia ou cutânea média e a temperatura do núcleo promova uma sensação de neutralidade térmica. A segunda condição é que o organismo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, o calor produzido pelo metabolismo deverá ser igual ao calor dissipado pelo corpo para o ambiente através das diferentes formas de transferência de calor (Lamberts, 2002). Estas duas condições combinam-se numa única equação denominada Equação de Balanço Térmico. A equação de balanço térmico foi estabelecida pela primeira vez por Fanger (1972). Os resultados obtidos resultaram de um trabalho de investigação realizado em câmaras climatizadas, onde alunos dinamarqueses e americanos foram sujeitos a diferentes combinações de variáveis meteorológicas. Segundo Lamberts (2002), a Equação de Balanço Térmico é dada por:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad (3.2.02)$$

onde M representa a taxa metabólica ($W.m^{-2}$), W o trabalho externo ($W.m^{-2}$), Q_{SK} as perdas totais de calor da pele ($W.m^{-2}$), Q_{RES} as perdas totais através da respiração ($W.m^{-2}$), C a taxa de transferência de calor por convecção na pele ($W.m^{-2}$), R a taxa total de transferência de calor por radiação na pele ($W.m^{-2}$), E_{SK} a taxa de perda de calor por evaporação na pele ($W.m^{-2}$), C_{RES} a taxa de transferência de calor por convecção através da respiração ($W.m^{-2}$) e E_{RES} a taxa de transferência de calor por evaporação na respiração ($W.m^{-2}$).

A expressão pode ter o aspecto

$$(M - W) - C_{RES} - E_{SK} - E_{RES} = C + R \quad (3.2.03)$$

O segundo termo da expressão (3.2.02) pode ser determinada através da igualdade

$$K_{CL} = C + R \quad (3.2.04)$$

em que K_{CL} representa a taxa de transferência de calor da pele até à superfície externa do vestuário ($W.m^{-2}$).

Os termos da expressão (3.2.02) são expressos em $W.m^{-2}$ e referem-se à superfície extensível do corpo nú. Nestes termos é necessário avaliar a área da superfície extensível do corpo nú, que originalmente foi proposta por Dubois and Dubois (1916) como se segue

$$A_{DU} = 0,203 m^{0,425} Z^{0,725} \quad (3.2.05)$$

onde m representa a massa (kg) e Z a altura (m) do indivíduo.

A Figura 3.2.03 mostra a evolução de limites para valores da superfície extensível do corpo nú para diferentes massa e alturas de um indivíduo.

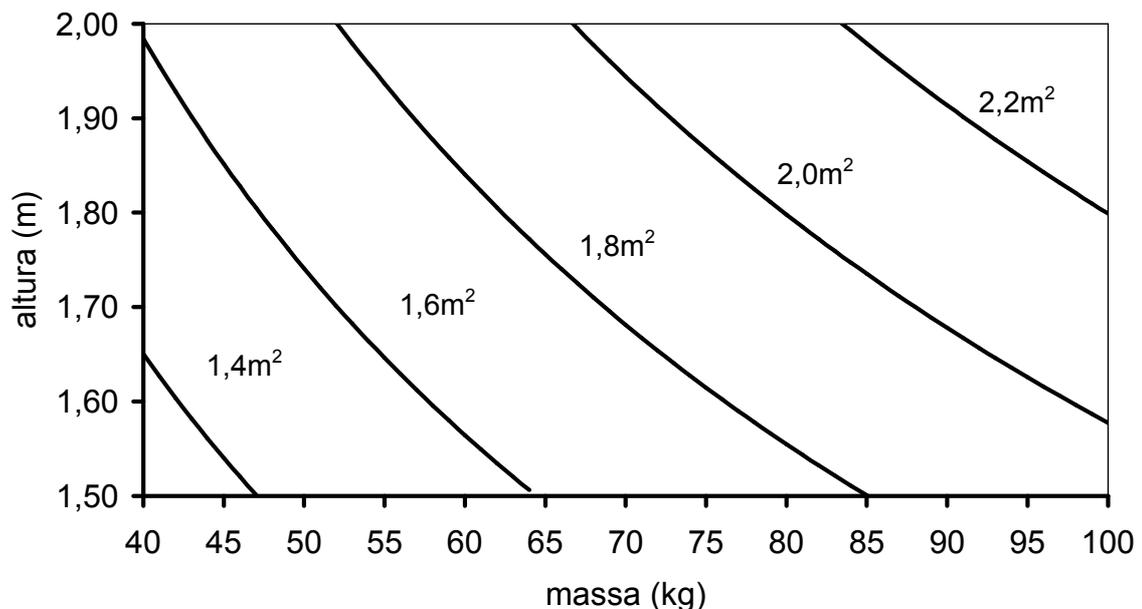


Figura 3.2.03: Área Corporal (área de Dubois), em função da altura e da massa

Para um adulto, o valor típico aceite para a superfície corporal é de $1,7\text{m}^2$ (Kvisgaard, 1997).

3.2.3. VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO

3.2.3.1. Taxa metabólica

Designa-se por metabolismo o conjunto de processos bioquímicos que ocorrem no organismo quando este cria tecido vivo a partir de substâncias nutritivas básicas e as transforma em energia (Rodrigues, 1978). Quando o organismo está em repouso físico e intelectual o metabolismo designa-se por metabolismo basal. Este deverá ser determinado a uma temperatura do ar de 20°C , em jejum e após alguns instantes do despertar matinal (Miguel, 1998). Estes processos bioquímicos resultam de actividades involuntárias suficientes para o funcionamento mínimo dos órgãos do organismo. Nestas condições designa-se por taxa metabólica basal, M_B , a energia produzida pelo organismo humano, por oxidação, por unidade de tempo.

Designam-se por actividades externas, aquelas realizadas pelo indivíduo através do seu trabalho ou outra actividade, designando-se por taxa metabólica, M , a energia produzida pelo organismo nestas condições. A taxa metabólica para o caso de indivíduos em actividade será tanto maior quanto maior for o trabalho externo realizado.

Quando o indivíduo está a realizar um trabalho externo parte desta energia é convertida em energia mecânica, ainda que grande parte seja convertida em energia calorífica interna, necessária para o funcionamento fisiológico do organismo. A restante deverá ser dissipada para o ambiente, a fim de não acarretar um aumento substancial da temperatura interna do organismo. Esta dissipação dar-se-á através da pele e da respiração. Deste modo é possível comparar o Homem a uma máquina térmica, com um rendimento de cerca de 20 %, sendo a restante energia transformada no corpo sob a forma de calor (Rodrigues, 1978).

Na prática o valor da taxa metabólica é determinado consultando tabelas, que estão organizadas, consoante o tipo de actividade. A taxa metabólica pode ser expressa na unidade met.

Segundo a norma internacional ISO 7730 (2005), 1 met corresponde à taxa metabólica de uma pessoa em repouso e sentada, que equivale a uma perda de calor igual a 58 W.m^{-2} . O Anexo 3 apresenta a tabela da taxa metabólica proposta pela norma ISO 7730 (2005).

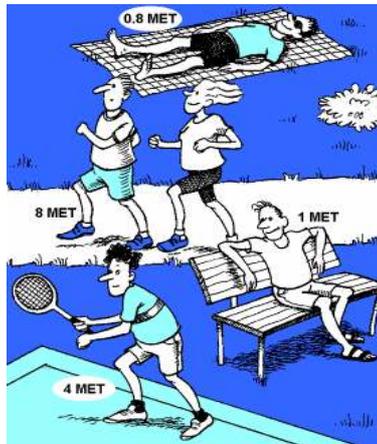


Figura 3.2.04: Taxa metabólica (Kvisgaard, 1997)

3.2.3.2. Trabalho externo

O trabalho externo é um parâmetro que depende da actividade desenvolvida pelo indivíduo. Segundo Fanger (1972) o trabalho externo relaciona-se com a taxa metabólica através da expressão

$$W = \eta M \quad (3.2.06)$$

onde η representa a eficiência mecânica

Se a expressão (3.2.06) for introduzida na expressão

$$H_B = M - W \quad (3.2.07)$$

em que H_B representa a taxa de calor produzida no interior do corpo humano, resulta

$$H_B = M(1 - \eta) \quad (3.2.08)$$

Quando a actividade desenvolvida não exige trabalho externo significativo, por exemplo uma pessoa a andar numa superfície horizontal, $\eta = 0$. Em contrapartida uma pessoa a subir uma ladeira íngreme desenvolve uma actividade física cuja eficiência mecânica poderá atingir valores 0,20 ou 0,25. Quando o trabalho externo é transferido para o organismo como energia calorífica, η atinge valores abaixo de zero. É o caso, por exemplo de uma pessoa a descer uma ladeira íngreme. A energia potencial é transformada em energia calorífica que depois é transferida para os músculos das pernas (Rodrigues, 1978).

3.2.3.3. Taxa de transferência de calor por convecção na pele

A taxa de transferência de calor por convecção na pele é função da temperatura da pele, temperatura do ar, velocidade do ar e o tipo de vestuário através do valor de f_{CL} no qual está implícita a resistência térmica do vestuário.

Segundo Fanger (1972), C é dado por:

$$C = f_{CL} h_C (T_{CL} - T) \quad (3.2.09)$$

onde f_{CL} representa a razão entre a área de corpo vestido e corpo nú (adimensional), h_C o coeficiente de convecção entre ar e vestuário ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C$), T_{CL} a temperatura superficial do vestuário ($^\circ C$) e T a temperatura do ar ($^\circ C$).

O valor f_{CL} representa a razão entre as áreas cobertas e desnudas do corpo. A norma internacional ISO 7730 (2005) define o valor de f_{CL} através das equações:

$$f_{CL} = 1,00 + 1,290 I_{CL} \text{ para } I_{CL} < 0,078 \text{ m}^2 \text{C} \cdot W^{-1} \quad (3.2.10)$$

e

$$f_{CL} = 1,05 + 0,645I_{CL} \text{ para } I_{CL} > 0,078 \text{ m}^2\text{°C.W}^{-1} \quad (3.2.11)$$

onde I_{CL} representa a resistência térmica total do vestuário (clo).

A resistência térmica do vestuário é expressa em clo (1 clo = 0,155 m².°C/W) e relaciona-se com o poder protector do vestuário (ISO 7730, 2005). Segundo Rodrigues (1978), esta variável pode ser definida como a resistência térmica oferecida por uma peça de vestuário que assegure o balanço térmico de um individuo em repouso, sentado, num local cuja velocidade do ar, v está entre 0 e 0,1 m.s⁻¹, T é igual a 21 °C e humidade relativa HR igual a 50 %.

1 clo poderá também ser definido como a resistência térmica oferecida por cada 0,155 m² do conjunto de roupa vestida, quando a pele coberta arrefece 1 °C devido à transferência de calor de 1 W para a superfície exterior da referida roupa.

Segundo Fanger (1972), a resistência térmica do vestuário pode ser avaliada

$$I_{CL} = 4,78R_{CL} \quad (3.2.12)$$

em que R_{CL} representa a resistência total oferecida pelo vestuário à transferência do calor da pele para a superfície exterior da pele (m². °C.W⁻¹)

A resistência térmica depende da temperatura do ar e do trabalho externo realizado pelo individuo. Para além disso depende de variáveis intrínsecas ao próprio vestuário como a espessura e porosidade do tecido, características influenciadas pelos índices de condutividade térmicos do vestuário.

A transferência de calor entre a pele e a superfície exterior do vestuário é bastante complexa, envolvendo processos de convecção interna e de radiação, nos sítios por onde o ar passa, e condução através do próprio vestuário (Rodrigues, 1978).

Na prática, ou seja durante o trabalho de campo, os valores de I_{CLi} podem ser consultados em tabelas disponíveis na norma ISO 7730 (2005). Entende-se por I_{CLi} , a resistência térmica individual de cada peça de vestuário.

No Anexo 4, apresenta-se uma tabela que reúne os valores da resistência térmica de algumas peças de vestuário. Segundo a norma ISO 7730 (2005), a resistência térmica total I_{CL} , ou seja a resistência térmica do conjunto de peças de vestuário vestido pelo indivíduo é calculada através da seguinte expressão

$$I_{CL} = 0,82 \sum I_{CLi} \quad (3.2.13)$$

As correlações que são indicadas em (3.2.10) e (3.2.11) para a determinação do valor de f_{CL} estão representadas na seguinte Figura 3.2.05

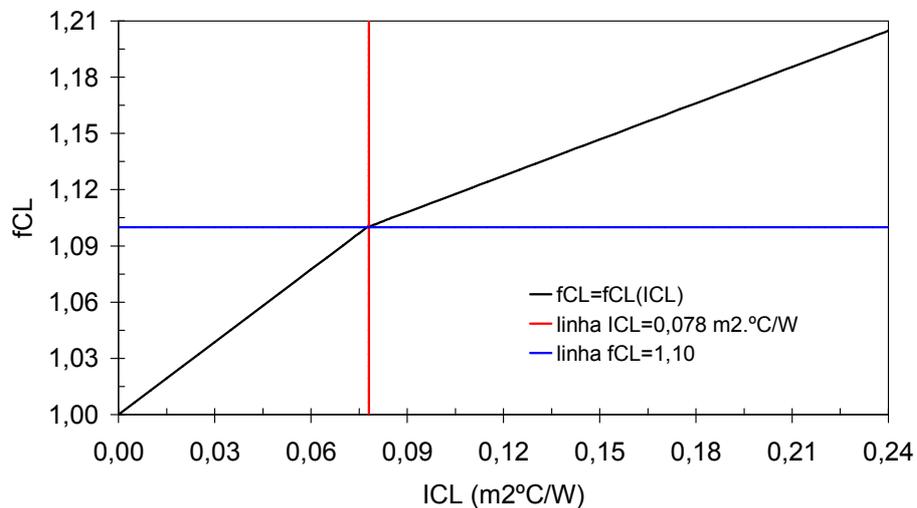


Figura 3.2.05: f_{CL} em função da resistência térmica da roupa I_{CL}

O coeficiente de convecção entre ar e o vestuário, h_c , depende do tipo de convecção: natural ou forçada. A norma ISO 7730 (2005) define este coeficiente através das expressões

$$h_c = 2,38(T_{CL} - T)^{0,25} \text{ para } 2,38(T_{CL} - T)^{0,25} > 12,1\sqrt{v} \text{ .- convecção natural (3.2.14)}$$

e

$$h_c = 12,1\sqrt{v} \text{ para } 2,38(T_{CL} - T)^{0,25} < 12,1\sqrt{v} \text{ .- convecção forçada (3.2.15)}$$

3.2.3.4. Taxa de transferência de calor por convecção através da respiração

Durante a respiração o ar é inspirado à temperatura ambiente e expirado praticamente saturado e a uma temperatura ligeiramente inferior à temperatura interna do corpo. O aquecimento e a humidificação do ar representam para o organismo uma perda de energia sob a forma de calor por convecção respiratória e por evaporação. Segundo Ruas (2001) esta perda de energia é proporcional à quantidade de ar inalado, que por sua vez depende da taxa metabólica.

Fanger (1972) indica uma expressão para o cálculo de C_{RES} dada por

$$C_{RES} = m_{RES} c_p \frac{T_{EXP} - T}{A_{DU}} \quad (3.2.16)$$

onde m_{RES} representa taxa de ventilação pulmonar ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$), c_p o calor específico do ar seco a pressão constante ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$), T_{EXP} a temperatura do ar expirado ($^{\circ}\text{C}$) e T a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Ainda segundo Fanger (1972) para condições consideradas normais, a taxa de ventilação pulmonar é uma função directa do metabolismo cuja expressão é

$$m_{RES} = K_{EXP} M \quad (3.2.17)$$

onde K_{REP} representa uma constante de valor $2,436 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{J}^{-1}$ que oferece excelente acordo com os dados experimentais.

Nestes termos a expressão (3.2.16) pode ter o aspecto

$$C_{RES} = kM \frac{T_{EXP} - T}{A_{DU}} \quad (3.2.18)$$

em que M é expresso em $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, $T_{EXP} - T$ em $^{\circ}\text{C}$, A_{DU} em m^2 , C_{RES} em $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ e k representa uma constante cujo valor é $0,7 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Para ambientes interiores considerados típicos, McCutcham and Taylor (1951) mostraram que

$$T_{EXP} = 32,6 + 0,066T + 31,5HR \quad (3.2.19)$$

onde HR representa a humidade do ar e T a temperatura do ar.

Para condições extremas em ambientes exteriores durante o Inverno, aconselha-se a leitura do artigo de Holmer (1984).

ASHRAE (2001) apresenta uma expressão simplificada para a taxa de transferência de calor por convecção respiratória, C_{RES} dada por

$$C_{RES} = 0,0014M(34 - T) \quad (3.2.20)$$

em que M é expressa em $W.m^{-2}$, T em $^{\circ}C$ e C_{RES} em $W.m^{-2}$.

3.2.3.5. Taxa de transferência de calor por evaporação na respiração

De acordo com Fanger (1972), a taxa de transferência de calor por evaporação na respiração pode ser avaliada através da expressão

$$E_{RES} = m_{RES} l_v \frac{r_{EXP} - r}{A_{DU}} \quad (3.2.21)$$

onde l_v representa o calor de transformação ou calor latente de vaporização da água ($J.kg^{-1}$) e r_{EXP} a razão de mistura do ar expirado.

Segundo McCutcham and Taylor (1951), para ambientes interiores considerados típicos, a razão de mistura do ar expirado pode ser determinada a partir da expressão

$$r_{EXP} = 0,00277 + 0,000065T + 0,2r \quad (3.2.22)$$

onde r representa a razão de mistura do ar à temperatura do ponto de orvalho (massa de vapor de água / massa de ar seco) expressas em kg de vapor de água por kg de ar seco e calculada a partir de

$$r = 0,622 \frac{e(T_d)}{p - e(T_d)} \quad (3.2.23)$$

Uma expressão de fácil aplicação para a determinação de E_{RES} é sugerida pela ASHRAE (2001) é dada por

$$E_{RES} = 0,0173M[5,87 - e(T_d)] \quad (3.2.24)$$

em que M é expressa em $W.m^{-2}$, $e(T_d)$ em Pa e E_{RES} em $W.m^{-2}$.

3.2.3.6. Taxa total de transferência de calor por radiação na pele

Segundo Fanger (1972) a perda de calor por radiação da superfície exterior da roupa é dada por:

$$R = A_R \varepsilon \sigma \left[(T_{CL} + 273)^4 - (T_{RM} + 273)^4 \right] \quad (3.2.25)$$

onde A_R representa a área de radiação efectiva do corpo vestido (m^2), ε a emissividade da superfície exterior do corpo vestido, T_{CL} a temperatura superficial do vestuário ($^{\circ}C$), σ a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6866 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$) e T_{RM} a temperatura radiante média ($^{\circ}C$).

A área de radiação efectiva do corpo vestido não é a área real de corpo vestido mas sim uma área mais reduzida, devido ao facto do organismo humano não ser perfeitamente convexo e é dada através de

$$A_R = f_R f_{CL} A_{DU} \quad (3.2.26)$$

onde f_R representa o factor de área de radiação efectiva (área de radiação efectiva do corpo vestido/área real do corpo vestido).

O factor f_R é determinado a partir do registo de dados experimentais. Segundo Fanger (1972) os seus valores situam-se entre 0,696 e 0,725, correspondendo aos valores obtidos para um corpo sentado e posicionado de pé, respectivamente. Verificou-se que estes não variavam com o sexo, idade, estrutura óssea e área de Dubois do indivíduo. Para além disso como a diferença entre os valores para as diferentes posições é reduzida é usual utilizar-se o valor médio de 0,711.

Relativamente ao valor de emissividade este tem o valor de 1,0 para a pele humana, e de 0,95 para a maior parte do vestuário. Um valor típico usado para a emissividade é 0,97 (Rodrigues, 1978).

Para radiações de comprimento de onda curto, como a radiação solar ou uma fonte radiante de altas temperaturas, a emissividade depende fortemente da cor da pele e das peças de vestuário, por isso é necessário avaliar as reflectividades destas. Para temperaturas radiantes baixas esta relação já não se verifica.

Assim, a expressão (3.2.25) é reescrita ficando com o aspecto

$$R = 3,96 \times 10^{-8} f_{CL} \left[(T_{CL} + 273)^4 - (T_{RM} + 273)^4 \right] \quad (3.2.27)$$

3.2.3.7. Taxa de transferência de calor da pele até à superfície externa do vestuário

O valor de K_{CL} depende do tipo de vestuário utilizado, da temperatura superficial do vestuário e da taxa metabólica. É determinada através da expressão empírica (Lamberts, 2002)

$$K_{CL} = \frac{[35,7 - 0,028(M - W)] - T_{CL}}{0,155 I_{CL}} \quad (3.2.28)$$

3.2.3.8. Taxa de perda de calor por evaporação na pele

Lamberts (2002) apresenta uma expressão empírica para a determinação da taxa de perda de calor por evaporação na pele

$$E_{SK} = 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - e(T_d)] + [0,42(M - W) - 58,15] \quad (3.2.29)$$

em que $e(T_d)$ representa a pressão parcial de vapor de água à temperatura de orvalho expressa em kPa.

A perda de calor por evaporação de água na pele depende da diferença entre a pressão parcial de vapor de água junto à pele e no ar ambiente, da permeabilidade permitida pelo vestuário, da humidade relativa, do coeficiente de convecção entre o ar e as roupas e da fracção de pele molhada.

Se as expressões que indicam a determinação das diferentes taxas de transferência de energia em forma de calor forem introduzidas na expressão do balanço térmico, a expressão (3.2.03), torna-se igual a

$$\begin{aligned} & (M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - e(T_d)] - 0,42[(M - W) - 58,15] \\ & - 0,0173M[5,87 - e(T_d)] - 0,0014M(34 - T) \quad (3.2.30) \\ & = \frac{[35,7 - 0,0028(M - W)] - T_{CL}}{0,155I_{CL}} \end{aligned}$$

Na expressão (3.2.30) como já referimos anteriormente W representa o trabalho externo desenvolvido pelo corpo, sendo que para a maioria das actividades humanas esse trabalho é considerado nulo ou desprezável em fase a M (taxa metabólica de produção de calor).

A expressão (3.2.30) conforme o indicado na expressão (3.2.04)

$$\begin{aligned} & \frac{[35,7 - 0,0028(M - W)] - T_{CL}}{0,155I_{CL}} = \\ & = 3,96 \times 10^{-8} f_{CL} [(T_{CL} + 273)^4 - (T_{RM} + 273)^4] + f_{CL} h_c (T_{CL} - T) \quad (3.2.31) \end{aligned}$$

também pode ser obtida através de

$$\begin{aligned} & (M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - e(T_d)] - 0,42[(M - W) - 58,15] \\ & - 0,0173M[5,87 - e(T_d)] - 0,0014M(34 - T) = \quad (3.2.32) \\ & = 3,96 \times 10^{-8} [(T_{CL} + 273)^4 - (T_{RM} + 273)^4] + f_{CL} h_C (T_{CL} - T) \end{aligned}$$

A partir da valorização das diferentes variáveis e através de métodos computacionais é possível encontrar a solução para as equações nas formas de (3.2.30), (3.2.31) e (3.2.32).

3.2.4. FACTORES QUE INFLUENCIAM A APLICABILIDADE DA EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO E A REGULAÇÃO TÉRMICA

3.2.4.1. Localização geográfica

Segundo Fanger (1972), não existe diferença significativa nas condições de conforto entre diferentes indivíduos habitantes de zonas diferentes caracterizadas com o clima temperado. Segundo Fanger (1972) e comparando com outros estudos realizados a indivíduos que residem nos trópicos, não existem diferenças significativas entre as condições de conforto preferidas por indivíduos habitantes em diferentes climas, podendo a equação de conforto ser aplicada todos os Homens independentemente do clima onde residem.

3.2.4.2. Aclimatização

A aclimatização é caracterizada por uma série de ajustes fisiológicos que ocorrem quando um indivíduo é sujeito a um determinado ambiente térmico. Exposições prolongadas permitem ao Homem tolerar melhor ambiente quentes ou frios. Esta aclimatização é em geral conseguida ao fim de 9 ou 12 dias. Segundo Martinet and

Meyer (1999), citando Pandolf (1998), e relativamente a ambientes quentes a moderados, um sujeito aclimatizado apresenta:

- o uma melhor eficácia da sudação. A sudação é mais abundante para uma mesma temperatura do núcleo e melhor distribuída pelo tronco e membros;
- o o débito de sangue periférico e cutâneo é mais adaptado. O aumento da frequência cardíaca é menos significativo. O volume de sangue que circula ao nível dos músculos é maior no caso de um sujeito aclimatizado.

A Figura 3.2.06 ilustra a evolução da frequência cardíaca F_C , da temperatura rectal T_{RECTAL} e da taxa de sudação S ao longo da aclimatização para condições meteorológicas iguais. A frequência cardíaca e a temperatura rectal podem funcionar como um indicador de conforto térmico (Martinet and Meyer, 1999).

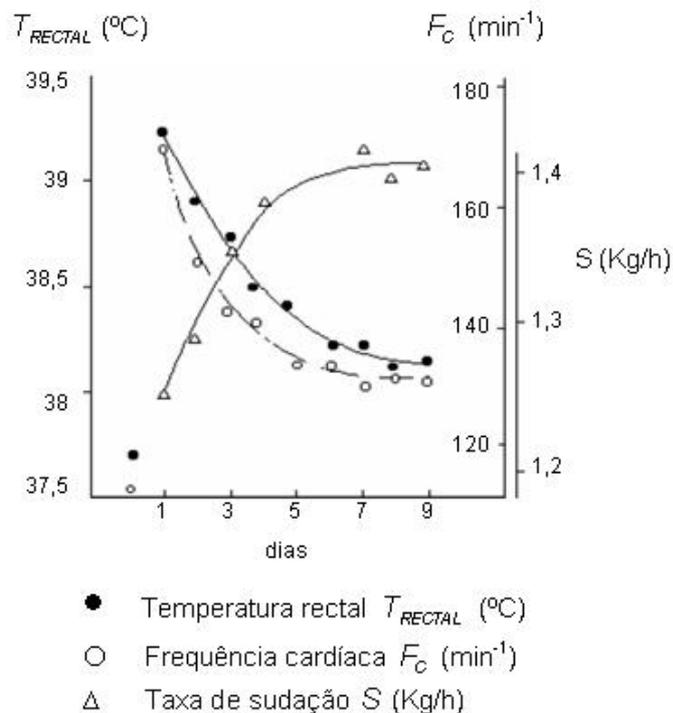


Figura 3.2.06: Variação da temperatura rectal, frequência cardíaca e taxa de sudação durante a fase de aclimatização [adaptado de Martinet and Meyer (1999)]

Em ambientes frios também se verifica que a aclimatização influencia a regulação térmica.

Estudos realizados por Prosser (1958) demonstraram que a adaptação a longo prazo pode tornar-se irreversível ao contrário do que acontece com a adaptação a curto prazo. Por exemplo, indivíduos habitantes em climas quentes e húmidos possuíam diferentes distribuições das glândulas sudoríparas comparando-as com habitantes de climas temperados (Stops, 2004).

3.2.4.3. Sexo

Nos estudos realizados por Fanger (1972) verificou-se que as mulheres preferem um ambiente mais quente que os homens, no entanto esta diferença é estatisticamente irrelevante (5%) e sem grandes consequências em termos de estratégias a adoptar quando se estuda o conforto térmico em termos de engenharia ou arquitectura.

Estes resultados foram comprovados mais recentemente por Morrisey (1998). Segundo Nielsen and Meyer (1987), as mulheres toleram melhor a humidade que o homem. As mulheres possuem uma razão superfície corporal/massa maior que no caso dos homens. Como em ambientes húmidos, a evaporação do suor é menor, esta característica das mulheres optimiza a sua tolerância a ambientes húmidos (MTAS, 2001).

3.2.4.4. Índice de massa corporal

Em condições sedentárias não existem diferenças significativas na adaptação a um ambiente térmico entre indivíduos com massa corporal distinta. No entanto a taxa metabólica de actividades que pressupõem movimentos corporais tende a ser superior para pessoas obesas, logo a temperatura de conforto térmico tende a ser inferior para sujeitos com maior índice de massa corporal (Fanger, 1972).

3.2.4.5. Idade

Em média todos os homens e mulheres com mais de 40 anos preferem uma temperatura efectiva mais elevada que indivíduos com menos anos de idade (Fanger, 1972). Uma das razões apontadas para a preferência de uma temperatura de conforto mais elevada para indivíduos mais velhos é a diminuição da taxa metabólica basal com a idade. No entanto verifica-se que a transpiração é mais baixa para indivíduos com mais velhos, ou seja a perda de calor por evaporação diminui com a idade.

3.3. CONFORTO TÉRMICO

3.3.1. DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

A norma ISO 7730 (2005) define o conforto térmico como sendo “*a satisfação expressa quando sujeito a um determinado ambiente térmico*”. Contudo a definição dada pela referida norma, implica um certo grau de subjectividade, pressupondo a análise de dois tipos de aspectos: aspectos físicos (ambiente térmico) e aspectos subjectivos (o estado de espírito do indivíduo) (Krüger et al., 2001). O conforto térmico é uma sensação que depende da opinião pessoal de cada um. Assim, um ambiente termicamente confortável para uma pessoa pode ser desconfortável para outra.

Desta forma, satisfazer todos os indivíduos inseridos num determinado ambiente térmico é uma tarefa quase impossível (Markov, 2002). Um objectivo realista neste tipo de estudo será a criação de um ambiente térmico que propicie bem-estar ao maior número de pessoas possível.

De acordo com a norma ISO 7730 (2005), a insatisfação pode ser resultado de um desconforto térmico causado por um ambiente considerado frio ou quente, ou ainda por um desconforto térmico localizado numa parte específica do corpo.

3.3.2. AMBIENTES TÉRMICOS MODERADOS DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES PMV E PPD

3.3.2.1. PMV – Predicted Mean Vote

3.3.2.1.1. Escopo e Domínio de Aplicação

O índice *PMV*, Voto Médio Estimado (tradução do inglês Predicted Mean Vote), foi desenvolvido em 1970 através de experiências laboratoriais em divisões climatizadas

realizadas por Fanger (1972). Nestes estudos, os indivíduos estavam vestidos com determinadas peças de roupa, previamente escolhidas, realizando diversas actividades e sujeitos a determinadas condições térmicas. Em determinadas experiências o ambiente térmico era controlado pelo investigador e os indivíduos mostravam a sua satisfação ou insatisfação com o ambiente usando a escala sétima da ASHRAE. Noutros estudos o ambiente era ajustado pelos indivíduos correspondendo este ao valor “0” da escala de ASHRAE, ou seja um ambiente termicamente neutro (Charles, 2003).



Figura 3.3.01: Escala Sétima da ASHRAE

A escala sétima de ASHRAE é simétrica em relação ao ponto “0”, que corresponde ao conforto térmico e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações de calor, ou negativos, correspondendo às sensações de frio.

A determinação deste índice de stress térmico tem como principal objectivo a verificação da aceitabilidade térmica de um determinado ambiente estabelecendo os limites permitidos. Fixando-se o *PMV* ao valor “0” é possível determinar as combinações possíveis das diferentes variáveis que promovem uma sensação de neutralidade térmica (ISO 7730, 2005).

3.3.2.1.2. Considerações Teóricas

O índice *PMV* prevê o voto médio estimado de um grande grupo de pessoas sujeitas a um mesmo ambiente térmico.

O índice *PMV* baseia-se na equação de balanço térmico e nas teorias de termoregulação. Segundo estas teorias o corpo humano desenvolve vários processos fisiológicos como a vasodilatação e vasoconstrição periférica, sudação e tremores musculares, de forma a manter o organismo em balanço térmico, ou seja que o calor produzido pelo metabolismo seja igual ao perdido pela pele e respiração. A definição do índice *PMV* foi possível conjugando estatisticamente a resposta fisiológica do sistema de termoregulação com os votos de 1300 sujeitos segundo a escala sétima da ASHRAE (Lamberts, 2002). Segundo a ISO 7730 (2005) a aplicação deste índice é recomendada apenas quando as variáveis meteorológicas e pessoais estão dentro de certos intervalos. Estes valores são a seguir indicados:

- $0,8 \text{ met} < M < 4 \text{ met}$;
- $0 \text{ clo} < I_{CL} < 2 \text{ clo}$;
- $10^\circ\text{C} < T < 30^\circ\text{C}$;
- $10^\circ\text{C} < T_{RM} < 40^\circ\text{C}$;
- $0 \text{ m.s}^{-1} < v < 1 \text{ m.s}^{-1}$;
- $0 \text{ Pa} < e(T_d) < 2700 \text{ Pa}$.

3.3.2.1.3. Determinação do índice *PMV*

A Tabela 3.3.01, de acordo com a norma ISO 7730 (2005), mostra os parâmetros que devem ser considerados na determinação do índice *PMV*.

Tabela 3.3.01: Parâmetros a considerar no cálculo do *PMV*, de acordo com a norma ISO 7730 (2005)

<i>PMV</i>	
Valores estimados	Taxa metabólica, M Resistência térmica do vestuário, I_{CL}
Variáveis Meteorológicas	Temperatura do ar, T Temperatura radiante média, T_{RM} Velocidade do ar, v Pressão parcial de vapor de água, $e(T_d)$

Segundo a norma ISO 7730 (2005), o índice de stress térmico PMV é dado pela seguinte expressão:

$$PMV = (0,303e^{0,036M} + 0,028) \left[\begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - e(T_d)] - \\ & - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M(5867 - e(T_d)) - \\ & - 0,0014M(34 - T) - \\ & - 3,96 \times 10^{-8} f_{CL} [(T_{CL} + 273)^4 - (T_{MR} + 273)^4] + \\ & + f_{CL} h_C (T_{CL} - T) \end{aligned} \right] \quad (3.3.01)$$

onde $e(T_d)$ é expressa em kPa e T_{CL} corresponde à temperatura superficial das peças de vestuário (°C) dada pela expressão

$$T_{CL} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{CL} \left[3,96 \times 10^{-8} f_{CL} [(T_{CL} + 273)^4 - (T_{MR} + 273)^4] + f_{CL} h_C (T_{CL} - T) \right] \quad (3.3.02)$$

As variáveis I_{CL} , h_C e f_{CL} estão descritas nas expressões (3.2.13), (3.2.14) e (3.2.15), (3.2.10) e (3.2.11) respectivamente.

A expressão (3.3.01) pode usar diferentes combinações de taxa metabólica, tipo de vestuário, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade relativa.

A equação do índice de stress térmico PMV , à semelhança da equação de balanço térmico, é complexa e de difícil manipulação. Por este motivo, Fanger (1972) preparou tabelas que fornecem o PMV para diferentes combinações de oito taxas metabólicas, M , sete resistências térmicas de roupa I_{CL} , oito velocidades do ar v e oito temperaturas operativas T_o . Uma dessas tabelas pode ser consultada no Anexo 5 onde é ilustrada uma aplicação.

A temperatura operativa, é a temperatura uniforme de um ambiente radiante hipotético negro, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real, sendo dada pela expressão

$$T_o = AT + (1 - A)T_{RM} \quad (3.3.03)$$

em que a temperatura T_o é expressa em °C.

Segundo a norma ISO 7730 (2005), a constante A é função da velocidade do ar. A Tabela 3.3.02 indica diferentes valores de A para três gamas de valores de velocidade do ar.

Tabela 3.3.02: Valores da constante A para o cálculo da temperatura operativa

Velocidade do ar v (m.s ⁻¹)	A
< 0,2	0,5
0,2 a 0,6	0,6
0,6 a 1,0	0,7

Na maior parte dos casos, se v é inferior a 0,2 m/s, ou se a diferença entre T e T_{RM} é inferior a 4 °C, a temperatura operativa pode ser calculada com suficiente aproximação como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (Lamberts, 2002).

Os valores PMV fornecidos no Anexo 5 são determinados para uma humidade relativa de 50% e para um nível de actividade de 1,8 met.

Quando a humidade relativa difere de 50% é possível determinar um factor de correcção de humidade relativa, F_H , em função do nível de actividade, tipo de vestuário e velocidade do ar. Este factor é determinado a partir dos gráficos apresentados no Anexo 6.

Em seguida exemplifica-se como se pode usar o factor de correcção na humidade relativa.

Se, por exemplo, num ambiente se regista uma HR de 30%, uma resistência térmica da roupa I_{CL} de 0,5 clo e uma velocidade relativa do ar v de 0,2m/s, para uma actividade sedentário F_H toma o valor de 0,0095, através do primeiro gráfico do lado esquerdo superior do Anexo 6. O factor de correcção para o cálculo de PMV devido à humidade relativa, designado por CH_{PMV} é dado através da expressão

$$CH_{PMV} = F_H (HR - 50) \quad (3.3.04)$$

Neste caso, CH_{PMV} toma o valor de -0,19. Nestes termos, o valor do PMV corrigido, será a soma dos valores de CH_{PMV} e PMV dado pelas tabelas do Anexo 5. A correcção negativa demonstra que um ambiente com iguais variáveis meteorológicas e pessoais mas com humidade relativa de 30% será considerado ligeiramente mais frio que um ambiente com humidade relativa de 50%.

3.3.2.1.4. Factor de Correcção

Em 2001, introduziu-se uma correcção ao índice PMV , pois superestimava a sensação de calor experienciada por indivíduos sujeitos a ambientes interiores não climatizados. O índice PMV foi corrigido através de um factor de expectativa denominado f_e . O índice PMV é multiplicado por este factor de correcção de modo a determinar o voto de sensação térmica média dos ocupantes de ambientes não climatizados em climas moderados a quentes. Este factor varia entre “0” e “1” (Nilsson, 2004).

Este factor de correcção baseia-se no princípio adaptativo. Se uma mudança ocorre produzindo desconforto, o ser humano reage de forma a restaurar o seu conforto térmico. Este princípio adaptativo sugere que o ser humano se adapta a certas condições climáticas. Por exemplo em ambientes quentes, em que os parâmetros de conforto térmico apontam para valores elevados de PMV , os indivíduos adaptam-se a temperaturas mais elevadas, sentindo-se igualmente confortáveis. A temperatura de conforto térmico resulta da interacção entre os sujeitos e o ambiente térmico.

Tabela 3.3.03: Factor de expectativa em ambientes não climatizados em ambientes quentes
[Nilsson (2004)]

<i>Expectativa</i>	<i>Classificação dos Edifícios</i>	<i>Factor de Expectativa f_e</i>
Alta	Edifícios não climatizados localizados em regiões onde a climatização é comum. Períodos quentes ocorrem durante o Verão em curtos períodos.	0,9 -1,0
Moderada	Edifícios não climatizados localizados em regiões onde existem alguns edifícios climatizados. Verão quente.	0,7 – 0,9
Baixa	Edifícios não climatizados localizados em regiões onde existem poucos edifícios climatizados. Clima quente em todas as estações do ano.	0,5 – 0,7

3.3.2.1.5. Problemas e limitações

A aplicação prática do índice *PMV* deve ser acautelada, pois não deixa de ser um modelo matemático desenvolvido a partir de experiências em laboratório onde todas as variáveis foram medidas; essa condição, contudo, não pode ser garantida para as variáveis pessoais nas aplicações de campo devido aos recursos técnicos necessários. Assim essas variáveis têm que ser subjectivamente estimadas e isso pode gerar erros consideráveis na avaliação do conforto térmico (Ruas, 2002).

3.3.2.2. PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied Vote

3.3.2.2.1. Considerações Teóricas

O índice *PPD*, Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (tradução do inglês Predicted Percentage of Dissatisfied Vote), estabelece a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. Este baseia-se na percentagem de um

grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala sétima de ASHRAE.

3.3.2.2.2. Determinação

O índice *PPD* pode ser determinado analiticamente através da expressão

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (3.3.05)$$

A Figura 3.3.02 relaciona o índice *PPD* com o índice *PMV*, ou seja a percentagem de pessoas insatisfeitas em função do voto estimado médio.

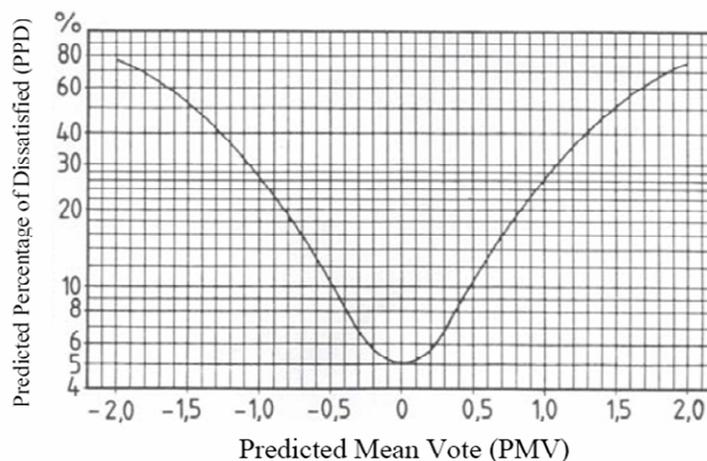


Figura 3.3.02: *PPD* em função do *PMV*

A análise da Figura 3.3.02 permite verificar que:

- é impossível obter num ambiente uma combinação de variáveis meteorológicas e pessoais que satisfaça plenamente todos os indivíduos de um grande grupo;
- o valor do índice *PPD* nunca é inferior a 5 %. O valor mínimo de *PPD* corresponde à condição de neutralidade térmica;
- a curva é simétrica em relação ao ponto de $PMV = 0$, ou seja, observam-se sensações equivalentes de calor e de frio para um mesmo *PMV* em valor absoluto, correspondem a igual percentagem de insatisfeitos.

Estas conclusões resultam da diferença de sensação térmica entre diferentes indivíduos. A neutralidade térmica é atingida com diferentes valores de temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar, consoante o indivíduo e a sua capacidade de aclimatização.

Os valores máximos admissíveis para os índices *PMV* e *PPD*, para que se possa considerar a área estudada uma zona de conforto são respectivamente:

- $-0,5 < PMV < +0,5$
- *PPD* inferior a 10%

Outra variável relacionada com o *PMV*, útil para a avaliação do ambiente térmico, é a temperatura operativa óptima que corresponde a um $PMV = 0$ e que varia com M e I_{CL} . Para actividades sedentárias, a temperatura operativa deverá estar compreendida entre 23 °C e 26 °C, ou seja $24,5 \text{ °C} \pm 1,5 \text{ °C}$. A norma ISO 7730 (2005) apresenta sob a forma de um gráfico os limites da temperatura operativa para actividades sedentárias, que é a actividade característica de indivíduos que ocupam escritórios, escolas e residências (Anexo 7).

3.3.3. CONDIÇÕES PARA O CONFORTO TÉRMICO

Conforme já referido anteriormente uma das condições necessárias para que um indivíduo se encontre em conforto térmico é a verificação da equação de balanço térmico, e nesta situação há a condição de neutralidade térmica.

Fanger (1972) define neutralidade térmica como “a condição na qual uma pessoa não deseja nem mais calor nem mais frio no ambiente em seu redor”.

Para Lamberts (2002), a “neutralidade térmica é o estado, no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, é trocado em igual proporção com o ambiente circundante, não havendo nem acumulação nem perda excessiva de calor, mantendo-se constante a temperatura corporal.”

A temperatura corporal, que corresponde à temperatura do núcleo definida na secção 3.2.1 como T_C , que corresponde a uma situação de neutralidade térmica designa-se por temperatura neutra, T_N . A esta temperatura um indivíduo não necessita de accionar mecanismos de termoregulação.

Segundo Lamberts (2002), algumas respostas fisiológicas e comportamentais podem ser explicadas pela comparação das duas temperaturas, T_C e T_N . A Tabela 3.3.04 indica as respostas fisiológicas e comportamentais que podem surgir.

Tabela 3.3.04 Relação com T_C e T_N : respostas fisiológicas e comportamentais

Respostas fisiológicas	
$T_C < T_N$	Accionamento de mecanismos de vasoconstrição
$31^\circ\text{C} \leq T_C < 35^\circ\text{C}$	Perda de eficiência /habilidade
$T_C < 31^\circ\text{C}$	Situação de temperatura corporal letal
$T_C > T_N$	Accionamento de mecanismos de vasodilatação
$39^\circ\text{C} \geq T_C > 37^\circ\text{C}$	Início da secreção de suor
$42^\circ\text{C} \geq T_C > 39^\circ\text{C}$	Perda de eficiência/habilidade
$T_C > 42^\circ\text{C}$	Situação de temperatura corporal letal

A condição de conforto térmico indicada na Tabela 3.3.04 não é suficiente. O indivíduo pode encontrar-se em neutralidade térmica mas estar sujeito a algum tipo de desconforto localizado. Este pode ser originado por uma assimetria térmica vertical, corrente de ar localizada, temperatura do piso ou assimetria da radiação térmica.

Estudos empíricos realizados por Fanger (1972) em câmaras climatizadas demonstram que a actividade desenvolvida por um indivíduo, regula a temperatura da pele, T_{SK} , pois esta está relacionada com a secreção de suor. Por este motivo, a temperatura da pele e a taxa de evaporação de suor, E_{SW} , têm de obedecer a certos intervalos. Caso estes não sejam respeitados e mesmo que o indivíduo esteja em neutralidade térmica e não sujeito a desconforto localizado, este não estará em conforto térmico (Lamberts, 2002).

Os valores de T_{SK} e E_{SW} para um dado individuo, com um determinado nível de actividade estável, estão compreendidos entre certos limites designados por, a , b , c e d com

$$a < T_{SK} < b \quad (3.3.06)$$

$$c < E_{SW} < d \quad (3.3.07)$$

onde E_{SW} representa a taxa de evaporação de suor em unidades SI ($W.m^{-2}$)

Segundo Lamberts (2002), citando ASHRAE 55 (2004), T_{SK} e E_{SW} podem ser avaliadas a partir das expressões,

$$T_{SK} = 35,7 - 0,0275M \quad (3.3.08)$$

$$E_{SW} = 0,42(M - 58,15) \quad (3.3.09)$$

As expressões (3.3.08) e (3.3.09) evidenciam a proporcionalidade inversa entre a temperatura da pele e a taxa metabólica e a proporcionalidade directa entre a taxa de evaporação de suor e a taxa metabólica de forma a manter o conforto térmico (Fanger, 1972).

Assim as expressões (3.3.08) e (3.3.09) mostram que para uma actividade sedentária ($M=58,15 W.m^{-2}$), a taxa de evaporação de suor deverá ser zero de forma a manter o conforto térmico e a temperatura da pele, T_{SK} , pode ter o valor de $34,1^{\circ}C$.

Para valores de M muito superiores a $58,15 W.m^{-2}$, por exemplo 3 met ($174 W.m^{-2}$) serão necessárias secreções moderadas de suor para haver conforto térmico. A temperatura da pele deverá registar em média o valor de $31^{\circ}C$.

Fanger (1972) afirma que, para actividades sedentárias, uma das condições de conforto é a existência de uma temperatura da pele de $33^{\circ}C$ ou $34^{\circ}C$, sem ocorrência de secreção de suor.

Para níveis altos de actividade, a temperatura da pele necessária para conforto térmico irá diminuir e a secreção moderada de suor necessária para diminuir a temperatura terá de surgir (Rodrigues, 1978).

Estudos realizados na Universidade Técnica da Dinamarca, onde indivíduos foram submetidos a 32 horas de testes sujeitos a diferentes combinações de variáveis ambientais e individuais, demonstraram que não ocorreram diferenças significativas nos valores T_{SK} e E_{SW} , determinados para diferentes indivíduos (Fanger, 1972).

Em síntese pode-se afirmar que existem três condições para que um individuo esteja em conforto térmico:

- o indivíduo tem que estar em neutralidade térmica, ou seja tem de se verificar a equação de balanço térmico;
- a temperatura da pele e a taxa de evaporação de suor têm de estar dentro de certos limites compatíveis com o valor da taxa metabólica;
- o indivíduo não pode estar sujeito a desconforto térmico localizado.

3.3.4. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO

O desconforto térmico pode estar relacionado com vários factores, nomeadamente:

- assimetria de radiação térmica;
- correntes de ar indesejáveis;
- diferença de temperatura do ar no sentido vertical;
- pisos quentes e frios.

3.3.4.1. Assimetria da temperatura radiante

A assimetria térmica pode ser causada por paredes e tectos quentes ou frios, superfícies não isoladas, bocas de fornos, máquinas e outros aparelhos.

Esta assimetria pode causar desconforto térmico local e reduzir a aceitabilidade térmica dos indivíduos a um determinado ambiente térmico. Segundo a norma ASHRAE

55 (2004), o ser humano é mais sensível à assimetria radiante causada por tectos quentes do que à causada por paredes frias ou quentes. Na Tabela 3.3.05, apresentam-se os valores limites permitidos à assimetria da temperatura radiante.

Tabela 3.3.05: Assimetria da temperatura radiante permitida [adaptado de ASHRAE (2004)]

Assimetria da temperatura radiante (°C)			
Tecto quente	Parede fria	Tecto frio	Parede quente
< 5	< 10	< 14	< 23

A norma ISO 7730 (2005) indica como valores limites da temperatura radiante:

- a assimetria da temperatura radiante devido a um tecto quente ou frio deverá ser inferior a 5°C;
- a assimetria da temperatura radiante devido a uma janela ou outra superfície vertical deverá ser inferior a 10°C.

3.3.4.2. Correntes de ar indesejável

O termo inglês *draft* é muitas vezes utilizado para designar o arrefecimento indesejado causado pelo movimento do ar. Esta sensação térmica está relacionada com a temperatura do ar, velocidade do ar, taxa metabólica, intensidade da turbulência e resistência térmica da roupa.

A intensidade da turbulência Tu é definida pelo quociente entre o desvio absoluto da velocidade do ar SD_V e a velocidade do ar média v_m .

Segundo ASHRAE (2004), o desvio absoluto da velocidade do ar é definido por

$$SD_V = v - v_m \quad (3.3.10)$$

onde v representa a velocidade do ar medido no instante considerado ($m \cdot s^{-1}$) e a intensidade da turbulência é dada por

$$Tu = \frac{SD_v}{v_m} \times 100 \quad (3.3.11)$$

sendo expressa em percentagem (%).

O arrefecimento indesejado faz-se incidir com maior relevo em zonas da pele não cobertas por vestuário, como a cabeça, pescoço, ombros, tornozelos e pés.

A percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao *draft*, DR , pode ser calculada através da expressão

$$DR = (34 - T)(v - 0,05)^{0,62} (0,37vTu + 3,14) \quad (3.3.12)$$

em que T representa a temperatura do ar local ($^{\circ}\text{C}$), v a velocidade do ar média local ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e Tu a intensidade da turbulência (%).

Na expressão (3.3.12), quando se regista a condição $v < 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e para $DR > 100\%$ deve-se usar $DR = 100\%$.

Segundo informações disponibilizadas na norma ASHRAE 55 (2004), para espaços sem ventilação mecânica, DR deverá ser inferior a 20% enquanto que para espaços que utilizam sistemas de ventilação o valor sobe para os 35%. Assim é possível determinar a velocidade do ar máxima permitida para que não ocorra a sensação de “draft”, mantendo uma situação de conforto térmico.

3.3.4.3. Diferença de temperatura do ar no sentido vertical

Na maioria dos espaços interiores a temperatura do ar aumenta com a altura relativamente ao piso. Se o gradiente de temperatura entre a cabeça e os tornozelos atinge determinados valores poderá ocorrer desconforto térmico: sensação de frio ao nível dos pés e membros inferiores e sensação de calor ao nível da cabeça.

Lamberts (2002) afirma que quando a temperatura do ar ao nível da cabeça é inferior à determinada ao nível do tornozelo esta diferença de temperatura vertical não causa desconforto térmico. Se por um lado esta situação é aceite por outro lado deve ser

dada atenção à diferença que se regista entre as duas temperaturas. Estudos de pormenor parecem ser oportunos.

3.3.4.4. Pisos quentes e frios

Segundo Fanger (1972), a condução directa de energia sob a forma de calor entre o piso e a superfície de contacto dos pés poderá despontar sensações de desconforto térmico localizado. A norma ASHRAE 55 (2004) estipula limites aconselháveis para a temperatura do piso, T_{FL} de forma a minimizar este desconforto térmico localizado. Para indivíduos calçados, esta norma internacional aconselha a que a temperatura do piso se situe entre 19°C e 29°C. Apesar da temperatura do piso e do tipo de calçado serem as principais variáveis a considerar quando se estuda o desconforto térmico sentido nos pés, ASHRAE 55 (2004) alerta para a influência dos materiais e técnicas utilizadas na sua construção quer de pisos quer de calçado. A Tabela 3.3.06 indica diferentes intervalos de temperatura do piso aceites consoante o material utilizado para o seu fabrico.

Tabela 3.3.06: Intervalo permitido para a temperatura do piso para diferentes materiais (adaptado de Calleja (1999))

Intervalo da Temperatura do piso (°C)	
Piso com material têxtil	$21,0 < T_{FL} < 28,0$
Piso de pinheiro	$22,5 < T_{FL} < 28,0$
Piso de carvalho	$24,5 < T_{FL} < 28,0$
PVC	$25,5 < T_{FL} < 28,0$
Linóleo	$24,0 < T_{FL} < 28,0$
Cimento	$26,0 < T_{FL} < 28,5$
Mármore	$28,0 < T_{FL} < 29,0$

O estudo deste tipo de desconforto térmico tem sido impulsionado pela engenharia têxtil, na procura de novos materiais transpiráveis e termicamente confortáveis.

3.4. STRESS TÉRMICO

3.4.1. DEFINIÇÃO

Stress térmico é o estado psicofisiológico a que um individuo está sujeito quando exposto a situações ambientais extremas de frio ou calor. Em condições de stress térmico o ser humano sofre alterações das reacções psicossensoriais, debilitação do estado geral de saúde, queda do rendimento laboral e intelectual, entre outros. É fundamental conhecer as condições ambientais que facultam o stress térmico de modo a estabelecer acções preventivas e correctivas. Os ambientes térmicos sujeitos a stress térmico podem dividir-se em dois tipos:

- Ambiente quente – stress por efeito do calor
- Ambiente frio – stress por efeito do frio.

Este trabalho debruça-se essencialmente no estudo do ambiente quente.

3.4.2. AMBIENTE TÉRMICO QUENTE

3.4.2.1. Definição

Os ambientes térmicos quentes são aqueles para os quais o balanço térmico, calculado na base das trocas de calor por radiação, evaporação e convecção, é positivo (Miguel, 1998). Stress térmico por efeito do calor pode ocorrer devido a:

- um aumento da taxa metabólica;
- um aumento da temperatura do ar;
- um aumento da humidade do ar;
- um aumento da temperatura radiante média;
- uma modificação da velocidade do ar quando a temperatura do ar é superior à temperatura cutânea média.

3.4.2.2. Regulação térmica em ambientes quentes

Quando a temperatura do núcleo, T_C , é superior a 37°C, são accionados mecanismos que permitem a perda de energia sob a forma de calor para o meio ambiente. Esta perda de energia sob a forma de calor é realizada através de quatro processos: condução, convecção, radiação e evaporação. O organismo reage fundamentalmente por três processos, denominados sobrecargas fisiológicas: sobrecarga termostática, circulatória e de sudação (Lamberts, 2002).

A eficácia destes processos depende do estado de saúde individual, actividade desenvolvida, vestuário, temperatura, humidade e agitação do ar (Silva, 2001).

O primeiro mecanismo a ser accionado é o incremento da temperatura periférica (sobrecarga termostática), que permite um aumento da temperatura do núcleo, T_C , mais gradual. Desta forma optimiza-se as trocas energia sob a forma de calor por convecção e por radiação entre a pele e o ambiente.

O mecanismo fisiológico associado a uma sobrecarga circulatória é a vasodilatação periférica. A sua principal função é a transferência de calor proveniente do interior do corpo para a periferia, através do sangue. Com o aumento da temperatura do núcleo, T_C , ocorre a dilatação dos vasos sanguíneos periféricos possibilitando ao coração começar a bombear mais sangue para a superfície da pele, permitindo deste modo a perda de calor por convecção. Uma das consequências deste processo é o avermelhamento da pele. A quantidade de calor transferido do núcleo para a periferia depende do fluxo sanguíneo periférico (FSP), do gradiente de temperaturas entre o núcleo e a periferia e do calor específico do sangue (MTSA, 2001). Quando o organismo está em repouso e termicamente neutro o FSP corresponde em média a 10% do fluxo sanguíneo total e o gradiente de temperatura é de 4°C, correspondendo a 37°C e 33°C de T_C e T_{SK} , respectivamente. Quando o gradiente de temperaturas é menor, correspondendo a situações de desconforto térmico, é necessário um incremento do FSP , para que ocorra uma eficiente dissipação de calor. A eficácia da vasodilatação periférica é facilitada pela grande capacidade de distensão dos vasos sanguíneos localizados na pele e por uma diminuição da velocidade de circulação sanguínea na periferia.

A Tabela 3.4.01 indica valores para a distribuição do fluxo sanguíneo numa situação de repouso e de trabalho num ambiente de conforto térmico e de stress térmico por calor.

Tabela 3.4.01: Distribuição dos débitos sanguíneos em mL.min⁻¹ de acordo com a natureza da carga imposta ao sistema cardiovascular em dois cenários térmicos e para duas taxas metabólicas [adaptado de Martinet and Meyer (1999)]

Órgãos	Repouso		Actividade Física intensa	
	Ambiente neutro (T=25,6°C)	Ambiente quente (T=43,4°C)	Ambiente neutro (T=25,6°C)	Ambiente quente (T=43,4°C)
Cérebro	750	750	750	750
Coração	250	250	1000	1000
Músculos	850	850	11000	9800
Rins e aparelho digestivo	2700	1550	1700	1000
Pele	450	6000	1400	3000
Outros	600	300	450	350
Débito cardíaco	5600	9700	16300	15900

Quando o processo de vasodilatação não é suficiente, as glândulas sudoríparas iniciam a produção de suor, que evapora na pele. O organismo por intermédio da humidificação cutânea realiza e mantém um certo débito evaporativo (Lamberts, 2002). O suor produzido pelas glândulas sudoríparas é inodoro, incolor resultando de um ultrafiltrado do plasma, possuindo um valor elevado de calor de transformação para a mudança de fase (liquido/gasoso).

O volume de suor produzido depende de factores biológicos e de factores climatológicos. A estrutura das glândulas sudoríparas e o número de glândulas activas é um factor crucial na produção de suor. A diferença entre o volume de suor produzido por vários indivíduos pode atribuir-se ao tamanho das glândulas sudoríparas. A aclimatização é outro importante factor que determina a produção de calor. A utilização de vestuário impermeável e valores elevados de humidade relativa do ar restringem a taxa de evaporação (MTSA, 2001). Se o ar estiver calmo e saturado junto à pele, torna-se quase

impossível a evaporação do suor. Todavia se o ar estiver em movimento, ocorre a substituição das camadas saturadas de ar, junto à superfície líquida do corpo por camadas não saturadas, facilitando a evaporação (Silva, 2001).

3.4.2.3. Índices de Stress Térmico

A literatura da especialidade apresenta um número muito interessante de índices que permitem caracterizar um ambiente sujeito a stress térmico.

Corleto (1998) mostra que um índice de stress térmico é um número que integra o efeito de vários parâmetros no ambiente térmico humano de tal forma que o seu valor caracteriza a tensão termal experienciada pelo indivíduo num ambiente quente.

Neste trabalho serão usados os seguintes índices:

- Índice de Temperatura de bolbo Molhado (*WBGT*);
- Índice de Stress por Calor (*HSI*);
- Índice de Temperatura – Humidade Relativa (*ITH*);
- Índice de Temperatura Efectiva (*TE*).

3.4.2.3.1. *WBGT* – Wet Bulb Globe Temperature

3.4.2.3.1.1. Escopo e Domínio de Aplicação

O índice *WBGT*, Índice de Temperatura de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo (tradução do inglês Wet Bulb Globe Temperature Index) é um dos mais utilizados índices de avaliação de stress térmico no Mundo.

De acordo com Yaglou y Minard (1957), o índice *WBGT* foi desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos da América após uma investigação sobre acidentes por calor sofridos pelos militares. Funcionava como uma aproximação à Temperatura Efectiva Corrigida, mais complicada de determinar, modificada para ter em conta a absorção solar dos uniformes militares.

Os valores limites de *WBGT* determinavam a ocorrência de treinos militares. Observou-se que os acidentes e o tempo perdido em interrupções à instrução militar se

reduziram significativamente quando se utilizava o índice *WBGT* ao invés da temperatura do ar.

3.4.2.3.1.2. Determinação

A norma que regulariza a determinação do índice *WBGT* é a ISO 7243 (1989) que define o nível de desconforto do ambiente em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO 7730 (2005). O índice *WBGT* é determinado através das seguintes expressões que são fornecidas pela norma ISO 7243 (1989).

Ambiente externo com radiação solar directa:

$$WBGT = 0,7T_{wn} + 0,2T_g + 0,1T \quad (3.4.01)$$

Ambiente interior ou exterior sem radiação solar directa:

$$WBGT = 0,7T_{wn} + 0,3T_g \quad (3.4.02)$$

onde T_{wn} representa a temperatura do bolbo húmido com ventilação natural (°C) e T_g a temperatura do globo (°C).

Em casos de ambientes heterogéneos, onde os parâmetros do espaço em redor do indivíduo não são constantes, o índice *WBGT* deverá ser calculado em três posições diferentes, representando o $WBGT_C$ o nível da cabeça, $WBGT_A$ o nível do abdómen e $WBGT_T$ o nível do tornozelo da pessoa relativamente ao nível do solo (Sousa et al., 2003).

O valor do índice *WBGT* médio é então calculado pela seguinte expressão ponderada

$$WBGT = (WBGT_C + 2WBGT_A + WBGT_T) \quad (3.4.03)$$

onde $WBGT_C$ é calculado ao nível da cabeça, $WBGT_A$ calculado ao nível do abdómen e $WBGT_T$ calculado ao nível do tornozelo.

Uma vez conhecido o valor do índice $WBGT$ é possível, mediante comparação com valores de referência, determinar o nível de stress térmico a que o operário está sujeito e, caso se justifique, limitar o seu tempo de exposição às condições térmicas que originam o stress térmico medido (Martinet and Meyer, 1999)

Tabela 3.4.02: Valores de referência de $WBGT$
[adaptado de Corleto (1998) e Martinet and Meyer (1999)]

Taxa Metabólica M ($W.m^{-2}$)	Valor de Referência de $WBGT$		
	Trabalhador aclimatizado		Trabalhador não aclimatizado
	$v \leq 1,5 \text{ m.s}^{-1}$	$v \geq 1,5 \text{ m.s}^{-1}$	
Trabalho manual leve $65 < M \leq 130$	30,0	32,5	29,0
Trabalho braçal moderado $130 < M < 200$	27,8	30,5	25,7

A aclimatização é o processo de adaptação fisiológica (essencialmente por variações do fluxo sanguíneo e ritmo cardíaco) que aumenta a tolerância do indivíduo a um dado ambiente térmico por um período longo. Em comparação com um indivíduo não aclimatizado, um indivíduo aclimatizado apresenta menores alterações fisiológicas sob a mesma carga térmica. A aclimatização é um processo necessário que dever-se-á realizar ao longo de 9 a 12 dias (Martinet and Meyer, 1999), de forma gradual e progressiva.

Se o índice $WBGT$ for superior aos valores indicados na Tabela 3.4.02 será necessário implementar uma de duas soluções alternativas, partindo do princípio que nada se poderá fazer quanto à actividade do trabalhador:

- diminuir o tempo de permanência no local de trabalho (por exemplo, criando um esquema de turnos que permita alternância nos locais mais críticos;
- criar condições que permitam uma diminuição do índice $WBGT$ local.

Importa desde já referir que a criação de condições que permitam a redução do índice $WBGT$ exige uma caracterização detalhada do ambiente térmico do local em questão. Caso contrário, corre-se o risco de intervir num sentido que não é o mais adequado [ex.: instalar um sistema de climatização/ventilação para baixar a temperatura do ar no interior de uma nave industrial quando a origem do stress térmico está relacionada com elevadas temperaturas de superfície, Sá (1999)].

3.4.2.3.1.3. Adequação dos regimes de trabalho (trabalho-descanso) através do índice $WBGT$

Mendaza (1996) mostrou que uma das estratégias a adotar quando há o risco de stress térmico é o estabelecimento de um regime trabalho-descanso para que o organismo possa restabelecer o seu balanço térmico. Desta forma é possível determinar os períodos de pausa e trabalho através da fracção de tempo trabalho-descanso, ft , dada por

$$ft = \frac{60(A_{WBGT} - B_{WBGT})}{(C_{WBGT} - D_{WBGT}) + (A_{WBGT} - B_{WBGT})} \quad (3.4.04)$$

onde ft representa a fracção de tempo trabalho-descanso (indica os minutos a trabalhar em cada hora), A_{WBGT} o valor do índice $WBGT$ numa situação de descanso (valor tabelado), B_{WBGT} o valor do índice $WBGT$ na situação de descanso (valor calculado), C_{WBGT} o valor do índice $WBGT$ na situação de trabalho (valor calculado) e D_{WBGT} o valor limite do índice $WBGT$ numa situação de trabalho (valor tabelado).

No caso de um trabalhador aclimatizado, que permanece no seu local de trabalho durante a pausa, o valor de ft pode ser determinado a partir de

$$ft = \frac{60(33 - B_{WBGT})}{33 - D_{WBGT}} \quad (3.4.05)$$

Quando $B_{WBGT} \geq A_{WBGT}$, o cálculo de ft não é relevante, pois esta situação corresponde a um índice $WBGT$ tão elevado que a técnica do estabelecimento de períodos de descanso não contribuem para a segurança do trabalhador. Nestes casos, a pausa dever-se-á realizar num local mais fresco para que se cumpra a condição $B_{WBGT} < A_{WBGT}$.

A figura 3.4.01 mostra para cada taxa metabólica a estratégica que se pode adoptar para uma actividade em termos de diferentes valores do índice $WBGT$.

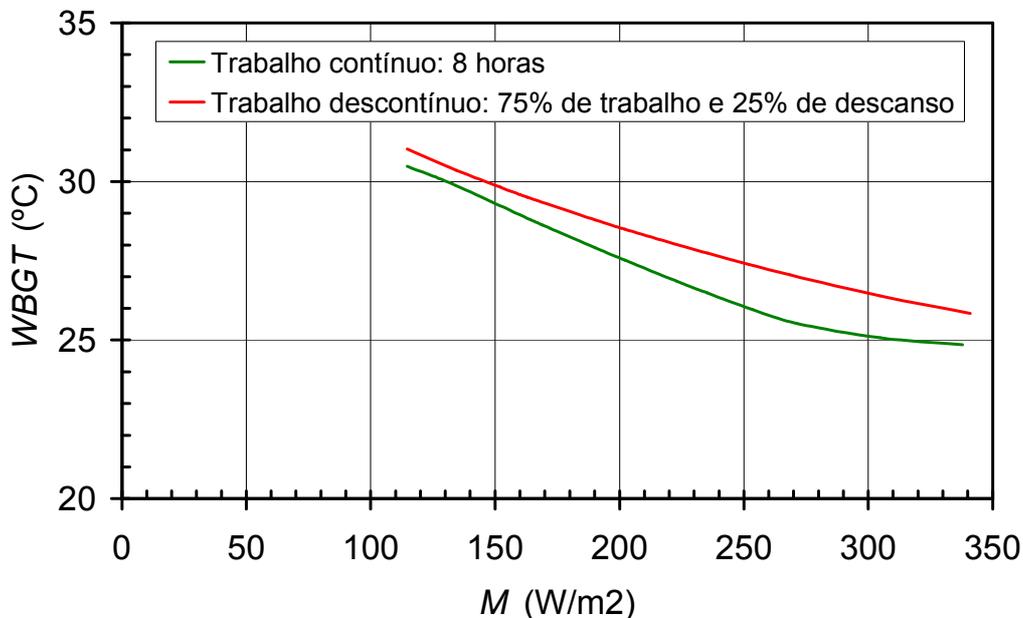


Figura 3.4.01: Curvas de valores de referência de $WBGT$, para ciclos de trabalho/descanso

3.4.2.3.1.4. Problemas e limitações

A simplicidade do método está sujeita a certas limitações devido a restrições nos valores das variáveis. A curva limite do índice $WBGT$ é aplicada a indivíduos cujo vestuário possui a resistência térmica de 0,6 clo.

3.4.2.3.2. HSI - Heat Stress Índice

3.4.2.3.2.1. Escopo e Domínio de Aplicação

O índice *HSI*, Índice de Stress por Calor (tradução do inglês Heat Stress Index) é um índice para avaliação de stress térmico de fácil determinação e foi definido pela primeira vez por Belding and Hatch (1955). Muitos autores, consideram este método mais preciso que o índice *WBGT* que no entanto é frequentemente mais usado na Indústria.

3.4.2.3.2.2. Determinação

O Índice de Stress por Calor traduz a proporção entre a evaporação necessária para manter o equilíbrio térmico e a evaporação máxima conseguida no ambiente térmico, expressa em percentagem (Belding and Hatch, 1955).

$$HSI = \frac{E_{REQ}}{E_{MAX}} 100 \quad (3.4.06)$$

onde *HSI* representa Índice de stress por calor (%), E_{REQ} a evaporação necessária para manter o equilíbrio térmico ou perda requerida por evaporação ($W.m^{-2}$) e E_{MAX} a evaporação máxima conseguida no ambiente térmico ($W.m^{-2}$).

A determinação deste índice de stress térmico pressupõe uma temperatura da pele constante de valor 35°C e uma superfície corporal de 1,86 m². As trocas de calor através da respiração não são consideradas.

A evaporação necessária e a máxima são dadas pelas expressões

$$E_{REQ} = M - R - C \quad (3.4.07)$$

$$E_{MAX} = K_3 v^{0.6} (56 - e(T)) \quad (3.4.08)$$

em que $E_{MÁX}$ representa a perda máxima por evaporação com limite superior de 390 $W.m^{-2}$ e $e(T)$ a pressão parcial de vapor à temperatura T .

O cálculo de R e C é realizado atendendo às equações descritas na Tabela 3.4.03,

Tabela 3.4.03: Equações utilizadas para calcular o índice de stress térmico – HSI

	Fórmulas
Calor perdido por radiação ($W.m^{-2}$)	$R = K_1(35 - T_{RM})$
Calor perdido por convecção ($W.m^{-2}$)	$C = K_2v^{0,6}(35 - T)$

onde T_{RM} representa a temperatura radiante ($^{\circ}C$), sendo calculada pela expressão (2.1.30).

Nas expressões, os valores das constantes K_1 , K_2 e K_3 têm valores diferentes para indivíduos nus ou vestidos. A Tabela 3.4.04 indica alguns valores típicos usados.

Tabela 3.4.04: Valores das constantes utilizadas para calcular o índice de stress térmico – HSI [adaptado de Corleto (1998)]

Constantes	Valor	
	com roupa	sem roupa
K_1	4,4	7,3
K_2	4,6	7,6
K_3	7,0	11,7

O valor máximo permitido para $E_{MÁX}$ é de 390 Wm^{-2} . Este valor corresponde a uma taxa de evaporação de cerca de 1litro/hora para um indivíduo de superfície corporal 1,86 m^2 e que se encontre em perfeito estado de saúde. Este valor equivale a taxa de evaporação máxima que pode ser mantida num período de 8 horas (MTSA, 2001).

Se a E_{REQ} for maior que $E_{MÁX}$, o organismo não consegue manter o balanço térmico e a temperatura interna aumenta, pois há armazenamento de calor no corpo, correspondendo a um valor de HSI superior a 100%. Segundo Belding and Hatch (1955), o aumento máximo permitido para a temperatura interna do organismo é 1,8°C que corresponde a um valor de energia sob a forma de calor armazenado de 264 kJ.

Se o índice HSI é inferior a zero, existe um ligeiro stress por calor (por exemplo quando os operários estão a recuperar da exposição ao calor).

3.4.2.3.2.3. Tempo máximo de exposição ou de permissão

O tempo máximo de exposição AET (tradução do inglês Allowable Exposure Time) pode ser determinado através da expressão (3.4.09) e é expresso em minutos (MTSA, 2001).

$$AET = \frac{2440}{E_{REQ} - E_{MAX}} \quad (3.4.09)$$

3.4.2.3.2.4. Interpretação do índice de stress por calor, HSI

Os efeitos na exposição de determinadas condições ambientais e pessoais, durante 8 horas de trabalho contínuo, podem ser estimados atendendo ao valor do índice HSI . A Tabela 3.4.05 indica para diferentes índices de HSI os efeitos devido à exposição a oito horas de trabalho contínuo.

Tabela 3.4.05: Interpretação do *HSI* e sua relação com os efeitos à exposição de 8 horas de trabalho contínuo (adaptado de Corleto, 1998)

<i>HSI</i>	<i>Efeitos devido à exposição a 8 horas de trabalho contínuo</i>
-20	Stress por calor leve (ocorre durante o período de recuperação à exposição ao calor)
0	Não ocorre stress térmico
10 - 30	Stress por calor moderado. Ligeiro efeito em trabalhos físicos mas ocorrência possível de efeitos moderados em trabalhos qualificados que exijam determinadas habilidades e qualidades.
40 - 60	Stress por calor intenso que pressupõe risco para a saúde do indivíduo. O risco pode ser atenuado se o indivíduo possuir uma boa condição física. Necessidade de aclimatização.
70 - 90	Stress por calor muito intenso. Os operários deverão ser seleccionados mediante rigoroso exame médico. Necessidade de ingestão de água e sais minerais
100	Stress por calor máximo tolerado por indivíduos jovens, em boa forma física e aclimatizados.
Mais que 100	Tempo de exposição limitado por um aumento da temperatura interna

3.4.2.3.2.5. Problemas e limitações

A definição do índice *HSI* não contempla determinadas situações originando alguns problemas de aplicação (Corleto, 1998).

- O valor de *HSI* determinado para situações caracterizadas por pequenas velocidades do ar podem indiciar situações mais severas que as indicadas por outros índices de stress térmico.
- A contribuição do movimento de ar devido ao movimento corporal é desprezada.
- A transpiração não é feita uniformemente. Por exemplo, gotas de suor que caem e não evaporam na pele não contribuem para um arrefecimento do corpo.

3.4.2.3.3. ITH – Índice de Temperatura e Humidade

3.4.2.3.3.1. Considerações Teóricas

O índice *ITH*, Índice de Temperatura e Humidade (tradução do inglês Temperature-Humidity Index) foi inicialmente desenvolvido por Thom (1959) e combinava a temperatura do termómetro de bolbo molhado T_{wn} (°C) com a temperatura do ar T (°C). Nieuwolt (1977) modificou o índice *ITH* estabelecido por Thom (1959) usando a temperatura do ar T (°C) e a humidade relativa HR (%). Esta alteração tinha como objectivo facilitar a sua aplicação e avaliação visto que os valores da humidade relativa do ar HR estão mais frequentemente disponíveis que os valores da temperatura do termómetro de bolbo molhado.

3.4.2.3.3.2. Determinação

Segundo Nieuwolt (1977), o índice *ITH* é calculado a partir da expressão

$$ITH = 0,8T + T \frac{HR}{500} \quad (3.4.10)$$

em que T representa a temperatura do ar (°C) e HR a humidade relativa do ar (%).

Através de testes empíricos, Nieuwolt (1977) estabeleceu valores de referência que delimitam situações de conforto e stress térmico para seres humanos, como indica a Tabela 3.4.06

Tabela 3.4.06: Valores limites para o índice *ITH* [adaptado de Emmanuel (2004)]

<i>ITH</i>	
$21^{\circ}\text{C} \leq ITH \leq 24^{\circ}\text{C}$	100% dos indivíduos estão termicamente confortáveis
$24^{\circ}\text{C} < ITH \leq 26^{\circ}\text{C}$	50% dos indivíduos estão termicamente confortáveis
$ITH > 26^{\circ}\text{C}$	100% dos indivíduos estão termicamente desconfortáveis

Os valores indicados na Tabela 3.4.06 são aceites para indivíduos que residam nas latitudes médias. Os indivíduos que residem em zonas tropicais, devido ao efeito da aclimatização, toleram mais eficazmente ambientes com valores de índice *ITH* mais elevados, particularmente em ambientes exteriores.

3.4.2.3.4. ITE – Índice da Temperatura Efectiva

3.4.2.3.4.1. Considerações Teóricas

A temperatura efectiva é um dos índices de stress térmico com uma maior área de aplicação. O Índice da Temperatura Efectiva *ITE* estabelecido por Houghten and Yaglou (1923) permite relacionar os efeitos da temperatura do ar T e da humidade relativa HR no bem-estar do ser humano. Assim, dois ambientes com a mesma temperatura efectiva devem admitir a mesma resposta térmica, mesmo com valores diferentes de temperatura do ar e de humidade relativa do ar desde que se registe o mesmo valor da velocidade do ar (ASHRAE, 2001).

O índice *ITE* resultou de um estudo empírico realizado em câmaras climatizadas em que diferentes indivíduos foram questionados sobre o seu bem-estar quando sujeitos a distintas condições ambientais. Foram utilizadas duas câmaras de teste climatizadas ligadas por uma porta, que estavam sujeitas a diferentes valores de temperatura e humidade relativa do ar. Numa das câmaras, foram mantidas os registos da temperatura do ar e humidade relativa (100%) enquanto que na outra câmara a temperatura do ar e a temperatura do termómetro húmido eram alteradas. Através da porta de ligação os indivíduos circulariam de uma câmara para a outra relatando aos investigadores a sua sensação térmica por comparação das sensações térmicas vivenciadas nas duas câmaras.

Com esta metodologia, quando se variava os valores da temperatura e da temperatura húmida, ou seja, quando se variava a humidade relativa do ar, determinaram-se linhas que correspondiam a uma sensação térmica de bem-estar através das respostas “imediatas” dos indivíduos.

3.4.2.3.4.2. Determinação

Na prática, o Índice da Temperatura Efectiva pode ser avaliado de duas formas, ou através de ábacos ou cartas psicrométricas ou analiticamente.

- Carta psicrométrica

Os resultados dos testes empíricos permitiram a construção de uma carta psicrométrica, como a apresentada no Anexo 8, onde é apresentado um exemplo de aplicação a partir dos registos da temperatura do ar, da temperatura húmida e da velocidade do ar. A partir do conhecimento destes parâmetros meteorológicos facilmente é avaliado o valor de *ITE*.

- Cálculo analítico

O Índice da Temperatura Efectiva, de acordo com Thom (1959) pode ser determinado analiticamente recorrendo à expressão,

$$ITE = 0,4(T_{wn} + T) + 4,8 \quad (3.4.11)$$

em que T_{wn} representa a temperatura húmida (°C) e T a temperatura do ar (°C). Na expressão (3.4.11) o índice *ITE* é expresso em °C.

Mikani e Amorim (2005) disponibilizam valores limites para o índice *ITE* que são indicados na Tabela 3.4.07

Tabela 3.4.07: Valores limites para o Índice *ITE* [adaptado de Mikani e Amorim (2005)]

<i>ITE</i>	<i>Sensação Térmica</i>
$ITE \leq 18,9 \text{ °C}$	Stress provocado por ambiente frio
$18,9\text{°C} < ITE < 25,6\text{°C}$	Zona de conforto térmico
$25,6 \text{ °C} \leq ITE$	Stress provocado por ambiente quente

3.4.2.4. Índices de sobrecarga fisiológica

3.4.2.4.1. Frequência cardíaca

A frequência cardíaca pode ser utilizada como índice de avaliação do stress térmico. Tal como já foi referido um aumento de temperatura promove um aumento do débito sanguíneo e conseqüentemente da frequência cardíaca.

Givoni and Goldman (1973) desenvolveram expressões para a determinação da variação da frequência cardíaca com o tempo e respectivas correcções para se ter em conta o grau de aclimatização dos indivíduos. A frequência cardíaca FC pode ser avaliada a partir da expressão

$$FC = 22,4 + 0,18M + 0,25[5T - 2e(T_d)] \quad (3.4.12)$$

em que M representa a taxa metabólica ($W.m^{-2}$), T a temperatura do ar ($^{\circ}C$) e $e(T_d)$ a pressão parcial do vapor à temperatura do ponto de orvalho (hPa).

Também, Givoni and Goldman (1973) propuseram equações para prever a frequência cardíaca de pessoas em ambientes quentes, através de um índice de frequência cardíaca IFC ,

$$IFC = 0,4M + \frac{2,5}{I_{CL}}(T - 36) + 80e^{0,0047}(E_{REQ} - E_{MAX}) \quad (3.4.13)$$

em que I_{CL} representa a resistência térmica total do vestuário, E_{REQ} a evaporação necessária para manter o equilíbrio térmico e E_{MAX} a evaporação máxima.

A temperatura rectal de equilíbrio T_{RECTAL} poder ser obtida por

$$T_{RECTAL} = 36,75 + 0,005(M - W) + \frac{0,025}{I_{CL}}(T - 36) + 0,8e^{0,0047}(E_{REQ} - E_{MAX}) \quad (3.4.14)$$

em que W representa o trabalho externo ($W.m^{-2}$).

A experiência mostra que para um valor de $IFC \leq 225$ existe uma relação linear entre a temperatura rectal e a frequência cardíaca até cerca de 150 batimentos por minuto (bpm). Para um valor de $IFC > 225$ existe uma relação exponencial, à medida que a frequência cardíaca se aproxima do valor máximo. As relações são dadas por

$$FC_e = 65 + 0,35(IFC - 25) \text{ para } IFC \leq 225 \quad (3.4.15)$$

$$FC_e = 65 + (FC_e - 65)(1 - e^{-3t}) \text{ para } IFC > 225 \quad (3.4.16)$$

em que FC_e representa a frequência cardíaca de equilíbrio (batimentos por minuto) e t representa o tempo (horas). Nas expressões (3.4.15) e (3.4.16) o valor de 65 indica a frequência cardíaca em condições de repouso e bem-estar.

NIOSH (1986) descreve um método para prever a frequência cardíaca durante o trabalho e a recuperação. Segundo este método, durante o ciclo de trabalho ocorre um aumento progressivo da frequência cardíaca que não deverá ultrapassar 110 (bpm) para pessoas aptas e 8 horas de trabalho contínuo.

No final de um ciclo de trabalho dever-se-á proceder a novas medições de registo de frequência cardíaca (no pulso) obedecendo aos seguintes intervalos:

- FC_1 : frequência cardíaca (no pulso) medida entre 30 segundos e 1 minuto;
- FC_2 : frequência cardíaca (no pulso) medida entre 1,5 e 2 minutos;
- FC_3 : frequência cardíaca (no pulso) medida entre 2,5 e 3 minutos.

Estas medições são realizadas com o trabalhador sentado e em repouso. É também necessário medir a temperatura oral.

O principal critério para a ocorrência de stress térmico é uma temperatura oral de $37,5^\circ\text{C}$. O valor FC_3 não deverá exceder 90 bpm e a diferença entre FC_3 e FC_1 não deverá ser inferior a 10 bpm

$FC_3 - FC_1 = 0$ indica uma carga de excesso de trabalho apenas com ligeiro aumento da temperatura corporal.

Se $FC_3 > 90$ bpm e $FC_3 - FC_1 < 10$ bpm o stress (calor + trabalho) é excessivo e devem ser tomadas medidas de prevenção imediatas, ou seja, é necessário estabelecer novas rotinas de trabalho e adequar os tempos de trabalho.

3.4.2.4.2. Sudação

A taxa de sudação pode ser avaliada através da massa corporal dos indivíduos. A variação da massa corporal num certo intervalo de tempo é função da evaporação, ingestão de substâncias e excreção fisiológica. A balança a utilizar neste tipo de estudos não deverá ter uma precisão inferior a 20g e as medições devem ocorrer em dois momentos: antes do ciclo de trabalho e depois do ciclo de trabalho. As medições deverão contemplar duas situações distintas: trabalhador nú e trabalhador vestido. No caso de ingestão de líquidos e alimentos, estes deverão ser sujeitos a uma pesagem rigorosa da sua massa. As idas à casa de banho deverão ser precedidas de uma medição da massa corporal do indivíduo sendo esta repetida no final (Martinet and Meyer, 1999).

A variação de massa corporal ao fim de um dia de trabalho não deverá exceder 1,5% da massa corporal do trabalhador. A perda máxima por sudação considerada tolerável é de 1 L.h^{-1} .

3.4.2.5. Medidas de controlo

O ambiente térmico em contexto laboral pode ser controlado através de três medidas técnicas:

- Medidas organizacionais;
- Medidas de protecção individual do operário;
- Medidas construtivas.

Através do controlo e da adequada aplicação das três medidas técnicas por parte do D.H.S.T – Departamento de Higiene e Segurança no Trabalho é possível prevenir situações de stress térmico. O D.H. S T terá que articular as três medidas técnicas com três parâmetros fundamentais: a actividade realizada, o operário e o ambiente físico da empresa.

Em termos organizacionais, uma das formas de prevenir situações de stress térmico é a adequação dos períodos de descanso às condições meteorológicas do local de trabalho. Estes períodos podem ser quantificados atendendo ao índice *WBGT* e/ou *HSI*, tal como foi anteriormente referido. Complementarmente a calendarização e planificação diária das tarefas laborais pode ser elaborada de forma a evitar que as

tarefas mais exigentes em termos físicos sejam realizadas nos períodos considerados de ambiente mais quente. Para além disso e sempre que a actividade implique a permanência num ambiente especialmente quente esses trabalhos devem ser realizados nos últimos dias da semana, pois o operador está mais aclimatizado. Uma outra medida que pode ser implementada, com bons resultados, é a introdução de períodos de climatização. Nestes termos, a entrada dos operários em ambientes termicamente hostis é realizada de forma sequencial a fim de permitir que os mecanismos de termoregulação actuem eficazmente.

Outra medida de crucial importância na prevenção de situações de stress térmico é a reposição de líquidos por parte do operário. Devido à sudorese, o fornecimento de água e outros líquidos não pode ser menosprezado. A desidratação e desalinização são um dos problemas mais frequentes em ambientes quentes que quando não acautelados poderão dar origem a situações clínicas complicadas. A reposição de líquidos deve ser feita regularmente ao longo do dia, com bebidas a uma temperatura entre 12°C e 13°C ou mornas, como o chá. Bebidas alcoólicas ou com cafeína, refrigerantes ou leite (mais de 1 litro) não são aconselháveis. A ingestão de alimentos deverá também ser controlada. As refeições deverão ser leves e pobres em lípidos.

O D.S.H.T tem uma função muito importante na aplicação das medidas organizacionais. Cabe ao D.S.H.T implementar as medidas relacionadas com a calendarização e estabelecimento de tarefas e elaborar o plano de formação adequado para a implementação de todas as medidas preventivas de situações de stress térmico.

O D.S.H.T deverá também intervir directamente na escolha dos materiais de protecção mais adequados à laboração em ambientes quentes. O vestuário de protecção deve reunir algumas características como uma adequada ventilação, flexibilidade, reflexão, entre outros.

Com as medidas supracitadas é possível prevenir situações de stress térmico intervindo no operário e na forma como este se relaciona com a actividade que desenvolve.

A minimização de situações de stress térmico através da adequação do ambiente físico, ou seja através da implementação de medidas construtivas pode ser realizada atendendo a três critérios:

- redução da radiação solar;
- redução da troca de calor de natureza radiante;
- redução da troca de calor de natureza convectiva.

A redução da radiação solar pode ser conseguida através de diversas técnicas. Uma das mais simples de implementar é a colocação de coberturas vegetais privilegiando árvores de folha permanente e autóctones. Estes cuidados minimiza o custo de manutenção. Esta técnica é recomendada especialmente para ambientes de escritórios ou prestação de serviços e estabelecimentos de ensino não tendo grande impacto em naves industriais. Outra técnica passível de ser aplicada é a protecção das superfícies envidraçadas com sistema de persianas, colocação de telas metálicas e escolha de materiais reflectores.

A redução da troca de calor de natureza radiante pode ser conseguida recorrendo a várias técnicas como a diminuição da temperatura das superfícies circundantes e utilização de telas protectoras. Esta última é usualmente empregue diante de fornos de forma a proteger da energia radiante os operários ou outros equipamentos.

As medidas construtivas preventivas de situações de stress térmico de implementação mais vulgares são indicadas na Tabela 3.4.08

Tabela 3.4.08: Medidas construtivas

Área de aplicação	Medida construtiva
Geral	<ul style="list-style-type: none">○ Instalação de um sistema de ventilação e climatização;○ Instalação de exaustores em postos trabalho de elevada libertação de calor;○ Utilização de ventoinhas;○ Instalação de hottes aspiradoras que evacuem o ar quente por convecção;○ Instalação de refrigeradores para o ar renovado;○ Isolamento, recolocação ou substituição de equipamento produtor de calor.
Pisos	<ul style="list-style-type: none">○ Utilização de pavimentos frios e “lâminas” de água.
Tecto	<ul style="list-style-type: none">○ Utilização de esguichos de água;○ Instalação de bicoberturas com revestimentos de água fria.



4 METODOLOGIA

4.1. AMBIENTE DE ESTUDO

Segundo a literatura da especialidade, existem três contextos que abrangem a maioria das pesquisas de conforto. A mais importante é o clima, pois este influencia directamente a cultura e atitudes térmicas de qualquer grupo de pessoas e também os projectos arquitectónicos em que eles habitam. O segundo contexto é a actividade desempenhada por um indivíduo em determinado espaço físico e há quanto tempo este a realiza, pois a coordenação destes dois contextos leva a uma contínua mudança da temperatura de conforto. O terceiro contexto é o próprio edifício, ou seja, a sua finalidade e construção, que contribui na definição dos resultados das pesquisas em conforto térmico.

Considerando esta abordagem, tornou-se pertinente incluir nesta investigação índices de conforto capazes de detectar condições de bem-estar.

4.1.1. EMPRESA EM ESTUDO

A empresa em estudo está localizada na zona industrial da freguesia de Cacia, concelho de Aveiro, a cerca de 10km do centro da cidade de Aveiro.

Esta empresa foi oficialmente inaugurada em Setembro de 1981 e actualmente emprega 1011 pessoas.

A empresa em estudo dedica-se ao fabrico e montagem de componentes automóveis. Esta empresa trabalha em regime de laboração contínua em que os operários estão distribuídos em turnos de trabalhos.

Os ambientes seleccionados para análise foram condicionados a zonas de desconforto que serão apresentadas no Capítulo 5. Os operários estão divididos para cada ambiente considerado (CV e TT) da seguinte maneira, perfazendo no total 487 num universo de 1011 pessoas:

Tabela 4.1.01: Constituição e horário dos turnos de trabalho para o ambiente TT

<i>Turno</i>	<i>Hora do início</i>	<i>Hora de terminus</i>	<i>Nº de operários</i>
I	6h00	14h00	5
II	14h00	22h00	4
III	22h00	6h00	4
IV	8h00	17h00	3

Tabela 4.1.02: Constituição e horário dos turnos de trabalho para o ambiente CV

<i>Turno</i>	<i>Hora do início</i>	<i>Hora de terminus</i>	<i>Nº de operários</i>
I	6h00	14h00	163
II	14h00	22h00	128
III	22h00	6h00	90
IV	8h00	17h00	90

Devido aos horários de medição das variáveis meteorológicas, os turnos estudados neste trabalho, para ambos os ambientes, foram os turnos I e II.

4.2. METODOLOGIA ADOPTADA

Atendendo aos objectivos do trabalho, a avaliação das condições de conforto térmico dos operários foi elaborada em duas etapas:

A primeira a ser realizada foi a pesquisa de campo. Segundo Fanger (1972), a análise dos índices de conforto térmico de uma determinada população deve compreender a medição de variáveis ambientais e dos parâmetros pessoais que influenciam os índices de conforto térmico. Os parâmetros meteorológicos medidos para a realização deste trabalho foram a temperatura do ar, velocidade relativa do ar e a humidade relativa do ar. Além dos parâmetros ambientais, as variáveis pessoais analisadas foram a taxa metabólica e a resistência térmica do vestuário. Dados subjectivos para a avaliação do conforto térmico, inerentes à estrutura arquitectónica das naves como a existência de ventilação ou a disposição espacial de aberturas como portas e janelas, foram igualmente estudadas e a sua influência contemplada na pesquisa de campo. Nesta etapa e numa fase final do estudo foram aplicados questionários aos operários.

Na segunda etapa do trabalho foram determinados índices de conforto térmico para os dois ambientes e de stress térmico para a zona vulnerável.

É de notar que a concretização destas etapas metodológicas não ocorreram em momentos distintos. Estas, em termos temporais, ocorreram em paralelo para que possíveis problemas metodológicos e logísticos fossem ponderados e solucionados.

4.2.1. PRIMEIRA ETAPA: PESQUISA DE CAMPO

A pesquisa de campo necessária para a avaliação das condições de conforto térmico aos operários das naves industriais da indústria metalomecânica foi realizada em três fases metodológicas sequenciais:

- Primeira Fase: Escolha e caracterização física das naves industriais a monitorizar e caracterização das funções desempenhadas pelos operários;

- Segunda Fase: Caracterização do ambiente térmico das naves industriais e identificação das zonas vulneráveis a stress térmico;
- Terceira Fase: Estudo de pormenor às zonas vulneráveis identificadas e aplicação de questionários.

4.2.1.1. Primeira fase

4.2.1.1.1. A escolha dos ambientes térmicos a monitorizar

Devido à dimensão da empresa, e atendendo aos objectivos e às expectativas do trabalho e dos responsáveis da empresa do D.H.S.T – Departamento de Higiene e Segurança no Trabalho, foi necessário identificar as zonas mais relevantes para o presente estudo. Esta escolha baseou-se em dois argumentos: informações transmitidas pelo D.H.S.T relativamente às zonas onde se registaram queixas por parte dos operários que laboram nos ambientes TT e CV e em medições, não sistemáticas, realizadas pela T.S.H.S.T – Técnica Superior de Higiene e Segurança no Trabalho. Estas medições, apesar de ocasionais, vieram confirmar a necessidade de um estudo mais pormenorizado, visando a caracterização do ambiente térmico das naves industriais seleccionadas.

Os ambientes TT e CV foram investigados, partindo da informação inicial do D.S.H.T de que o ambiente TT reunia mais informações negativas partilhadas pelos operários.

4.2.1.1.2. Caracterização dos ambientes térmicos

O ambiente TT é constituído por uma nave industrial de 1491 m² (72,4m por 20,6 m). A nave é constituída por paredes de alvenaria de cor clara. Na parede Oeste, com 72,4 m de comprimento, estão situadas duas portas nas posições médias de 6,3 m e 64,4 m com 2,6 m e 5 m de largura, respectivamente. Esta portas de grandes dimensões permitem a entrada e saída de material e equipamentos, sendo a sua abertura realizada de forma não cronometrada. Na parede oposta, também de 72,4 m de comprimento estão situadas duas portas iguais de pequena dimensão que permitem a entrada e saída de

operários. Estas portas estão situadas nas posições 21 m e 45 m. A ventilação do ambiente TT é realizada através de janelas de persiana, construídas para o efeito, situadas junto ao pavimento e nas paredes Este e Oeste do edifício. Todavia devido à disposição de material, a sua eficácia pode ser considerada diminuída, pois uma grande parte da área é vedada.

A disposição dos equipamentos é feita segundo o eixo longitudinal central da nave industrial, de Norte para Sul ou Sul para Norte.

Esta nave industrial possui 5 fornos de grandes dimensões de abertura não permanente. Para além disso possui um forno de pequenas dimensões na posição 20 m do lado Este e 4 m no lado Norte. A contagem dos valores numéricos faz-se de Norte para Sul e de Oeste para Este.

Para a realização da segunda fase da primeira etapa do trabalho foram seleccionados e criados 40 postos de observação uniformemente distribuídos pela nave industrial.

O ambiente CV é constituído por área de trabalho de 18880 m² (160 m por 118m) situada numa nave industrial de grande dimensão de área coberta.

Este ambiente possui, na zona Este, uma porta de grandes dimensões, de 5,5 m de largura, e de abertura não permanente. Quando esta porta está aberta influencia os valores dos parâmetros meteorológicos registados. Para além desta porta, a ventilação da nave é realizada através de janelas de persianas, situadas no tecto e sopé do edifício e em todo o perímetro do edifício. No início desta investigação era a única ventilação disponível que afectava a “performance” do ambiente interior da nave. Mais tarde, foi instalado um sistema de ventilação e de tratamento do ar numa zona limitada de produção onde se registava uma concentração de poluentes com características de valorização.

A disposição dos equipamentos está de acordo com a eficiência requerida do equipamento instalado. Em traços gerais pode-se afirmar que os dispositivos mecânicos se distribuem em linhas de alimentação segundo eixos longitudinais à nave industrial, existindo zonas de maior densidade de dispositivos e equipamentos mecânicos dando origem a “ilhas de calor”.

Foram seleccionados e criados 90 postos de observação uniformemente distribuídos pela nave industrial.

4.2.1.1.3. Determinação das variáveis pessoais

A posição dos operários no ambiente TT não é fixa. Os operários circulam pela nave e permanecem durante um curto intervalo de tempo diante dos fornos de grandes dimensões. Desta forma, a acção destabilizadora provocada pela elevada temperatura radiante quando se abre a porta de um forno é minimizada devido à inconstância da posição dos trabalhos.

A função dos operários, no ambiente CV é muito diversa e de tipologia muito distinta. Numa zona vulnerável seleccionada criaram-se 26 postos de medição e nesta zona os operários trabalham em posições fixas inseridas em linhas de montagem. As tarefas desempenhadas são repetitivas que obrigam aos mesmos movimentos e posturas corporais. Nos restantes postos de trabalho, as posições dos trabalhadores são semi-fixas, na medida em que estas estão confinadas a áreas superiores de acção, ou seja os operários deslocam-se em mais do que uma máquina.

Todavia, comparativamente com as posições de trabalho adoptadas pelos operários que laboram no ambiente TT, as posições adoptadas no ambiente CV obrigam a uma maior estabilidade espacial.

Segundo os critérios estabelecidos pela ISO 7730 (2005), a actividade dos operários nos dois ambientes pode ser caracterizada por uma taxa metabólica para trabalho de médio esforço com valores entre 200 kcal.h^{-1} e 300 kcal.h^{-1} , ou seja, entre 2,3 met e 3,5 met.

4.2.1.2. Segunda Fase

Para alcançar os objectivos do trabalho, procederam-se a várias medições dos parâmetros meteorológicos. Estas foram realizadas em 4 momentos de colecta distintos: Julho de 2005, Dezembro de 2005, Fevereiro de 2006 e de Julho de 2006. As medições foram realizadas em períodos de 3 a 5 dias em cada momento de colecta de dados e em dois horários distintos, 10:00 a.m. e 03:00 p.m.

O principal objectivo específico desta fase do trabalho foi a construção de malhas de temperatura, humidade relativa e velocidade do ar traçadas sobre as plantas dos dois ambientes TT e CV, que permitissem avaliar índices de conforto térmico e identificar zonas vulneráveis a stress térmico por acção do calor.

As leituras eram feitas durante cerca de 20 minutos para o ambiente TT e 45 minutos para o ambiente CV. As leituras eram realizadas de forma sequencial junto ao posto de observação que muitas vezes coincidia com uma posição de trabalho de um operário. Esta era realizada ao nível do abdómen e respeitando o tempo de resposta dos aparelhos utilizados.

Atendendo ao hiato temporal existente entre a primeira e a última leitura de cada ambiente, foram efectuados vários trajectos de forma a estudar o impacto da alteração das variáveis meteorológicas exteriores ao longo do momento de medição. Este possível factor de erro foi estudado durante o primeiro momento de medições que decorreu durante o mês de Julho de 2005. Este mês foi escolhido pois em caso de ocorrência de erro, este seria mais perceptível em tempo quente, devido ao efeito de “ilha de calor”.

Após vários trajectos escolhidos e percorridos, verificou-se que a alteração na medição não influenciava a localização da zona mais quente sujeita a um eventual stress térmico o que levou a aprovar a metodologia adoptada.

4.2.1.3. Terceira fase

4.2.1.3.1. Medição das variáveis meteorológicas na zona vulnerável

Após a identificação da zona vulnerável procedeu-se ao estudo de pormenor. Foi construída uma nova grelha de pontos de observação e os registos foram feitos agora de duas em duas horas, pelos dois turnos de trabalho, ou seja das 10:00 a.m. às 08:00 p.m. Para tal, foram colocados vários psicrómetros perto do posto de trabalho. Nesta fase os operários participaram activamente na medição das variáveis registando em folhas construídas para o efeito a temperatura do termómetro de bolbo seco e a temperatura do termómetro de bolbo molhado.

Os operários foram informados dos objectivos desta fase da investigação e receberam formação rudimentar sobre o psicrómetro. Estes foram alertados sobre as precauções específicas a serem tomadas quando se utiliza um psicrómetro, descritas no Capítulo 2 do presente trabalho. Para além disso, os operários foram alertados a não cometerem erros de paralaxe durante as medições.

Assim sendo foram efectuadas dois tipos de medições nesta fase da investigação: uma efectuada pelos operários que laboram na zona vulnerável a eventual stress térmico e outra efectuada pelos instrumentos de medida usados pelos investigadores.

Nesta situação foi possível avaliar eventuais erros de medição, contudo é digno de realçar o grande profissionalismo demonstrado pelos operários nas leituras e registos efectuados.

4.2.1.3.2. Questionário aplicado

De forma a avaliar o índice de stress térmico, foram ministrados questionários aos operários que laboravam perto dos postos de observação da zona vulnerável identificada na segunda fase da primeira parte da investigação. Este questionário foi elaborado segundo a norma ISO 10551 (1995) e teve como principal objectivo avaliar a sensação térmica dos operários numa situação real. Assim sendo, não foi efectuada nenhuma pré-selecção dos operários, abrangendo a amostragem operários de várias idades e funções.

Por razões alheias aos objectivos do trabalho todos os operários são do género masculino.

Esta fase da investigação foi realizada entre os dias 18 e 20 de Julho de 2006 e realizou-se em simultâneo com o registo de temperatura, humidade relativa e velocidade do ar para a nova grelha de pontos de observação da zona vulnerável.

O questionário foi apresentado e discutido com os responsáveis pelo D.H.S.T e a sua finalidade foi explicada aos operários. Os operários foram alertados para o facto de que as sensações e as preferências térmicas eram apenas referentes ao que sentiam e experienciavam no exacto momento da entrevista e não visava avaliar a sua opinião pessoal sobre o que normalmente sentia no seu posto de trabalho. Devido às características do trabalho que impossibilitavam a interrupção das tarefas por parte dos operários, as respostas foram registadas pelos investigadores, com excepção da indicação na escala de cores do ponto de sensação térmica no momento da entrevista.

O modelo do questionário é apresentado no Anexo 9. Os tópicos por ele abordados são explicados a seguir:

- o Os pontos 1 e 2 servem apenas para identificação do posto de trabalho para os investigadores.

- o O ponto 3 é relativo aos dados pessoais. Refere a idade, massa, altura e género ajudando a caracterizar a amostra e a sua representatividade no estudo. Ainda no ponto 3, os operários são questionados sobre o seu estado de saúde. O objectivo é a identificação dos questionários que continham respostas negativas quanto ao estado de saúde para sua posterior eliminação. A gripe, constipação, alergia ou outra patologia pode introduzir alterações nas preferências térmicas dos indivíduos.
- o O ponto 4, alínea (a), pede ao entrevistado a tradução da sensação térmica, no momento do questionário, numa escala de sete pontos que vai desde o desconforto severo/stress por calor até ao desconforto severo/stress por frio. Esta escala foi construída atendendo à escala sétima de ASHRAE.
Neste ponto do questionário, os operários foram igualmente convidados a responderem à mesma questão mas numa escala de cores. A construção desta escala baseou-se na escala sétima de ASHRAE e tem como objectivo a ilustração dos resultados desta mesma escala numa forma visual de mais fácil interpretação. A escala de cores está graduada desde a cor vermelha até à cor azul escura que simboliza a situação de stress térmico – muito calor e stress térmico – muito frio, respectivamente. Esta metodologia permitiu também recolher valores intermédios da escala sétima de ASHRAE, na medida em que esta foi constituída por 15 cores. Eram os operários que com o dedo indicavam a zona de sensação ou assinalavam com uma cruz usando uma esferográfica.
- o O ponto 4, alínea (b), procura determinar se existe alguma região do corpo onde o operário, sente uma maior sensibilidade térmica. Este ponto permite investigar a relação entre o desconforto térmico localizado e a sensação térmica respondida na alínea anterior do mesmo ponto do questionário.
- o As alíneas (c) e (d) investigam a relação entre o vestuário e as respostas dadas pelos operários na alínea anterior. É de referir que a resistência térmica do vestuário foi previamente avaliada atendendo às instruções dadas pela ISO 7730 (2005).

A aplicação deste questionário foi especialmente importante na medida em que possibilitou um melhor conhecimento dos operários e das suas funções por parte dos investigadores. Atendendo à morosidade da sua aplicação e à impossibilidade da paragem dos operários para a resposta do mesmo, visto trabalharem num esquema de



montagem em série, teve-se de alterar a estratégia inicial, ministrando-os apenas uma vez por dia.

Para além das medições das variáveis feitas de duas em duas horas, os operários respondiam à questão 4 alínea (a) e (b) em folha própria de registo colocada no seu posto de trabalho.





5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. AMBIENTE EM ESTUDO

Conforme referido anteriormente, o estudo começou por explorar, através de visitas de campo, a disposição de máquinas, equipamento diverso, corredores de movimentação e localização dos operários nas duas naves industriais. Após a identificação dos corredores de movimentação de peças e de operários, criaram-se malhas de postos de observação dos parâmetros: temperatura do ar, humidade relativa do ar e velocidade do ar. Neste processo teve-se em atenção sistemas de ventilação instalados, portas abertas ou sistemas de persianas.

Foram registados dados no ambiente TT em 40 postos de observação e no ambiente CV em 90 postos de observação.

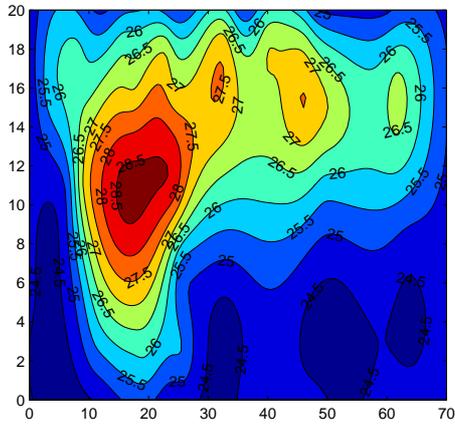
Os valores registados da velocidade do ar foram considerados desprezáveis dado serem insignificantes (inferiores a $0,2 \text{ m.s}^{-1}$), no entanto sempre que um posto de trabalho era afectado por ventilação a partir de uma ventoinha, com fluxo unidireccional ou rotativo era medido e registado o seu valor.

Foram construídos mapas com linhas de temperatura, humidade relativa e índice de conforto. Nesta fase o objectivo era identificar zonas de desconforto de ambiente quente. O índice de conforto, baseou-se num diagrama de conforto conforme é disponibilizado por Rodrigues (1978) e nos indicadores da escala entre -3 a +3 da norma ISO 7730 (2005) – Escala Sétima de ASHRAE, para a determinação de ambientes frios a ambientes quentes. Uma alternativa seria usar o diagrama da W.M.O (1987) mas por questões de natureza processual, considerou-se mais simples o diagrama de Rodrigues (1978). Mais tarde, as conclusões tiradas a partir do índice de conforto inicialmente adoptado nesta investigação foram confirmadas pela utilização dos índices *WBGT* e *ITH*.

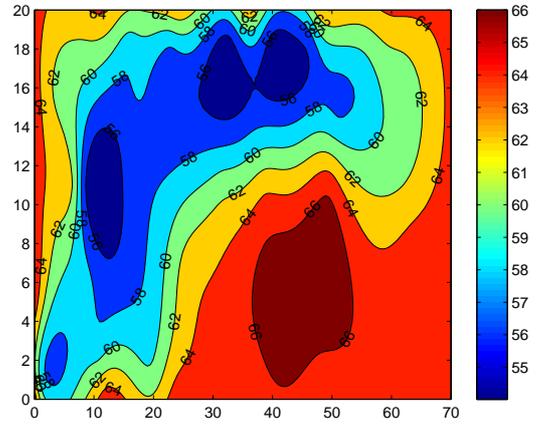
Para o ambiente TT apresentam-se vários gráficos, para os dias 12, 13, 15, 18, 19, 20 e 21 de Julho de 2005, alguns desses com registos às 10:00 a.m. e 03:00 p.m. A observação atenta das Figuras 5.1.01 à 5.1.10 mostra que há um padrão muito consistente da zona mais vulnerável, na área definida por cerca de 10 – 20 m de abcissa e cerca de 6 – 16 m de ordenada, com alguma flutuação na linha de fronteira. Deve-se salientar, como seria de esperar, a influência da temperatura do ar na humidade relativa do ar, o que dá suporte e validade aos dados registados.

AMBIENTE TT

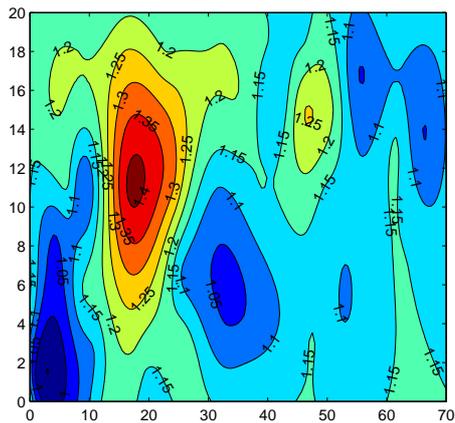
T - Temperatura (°C)



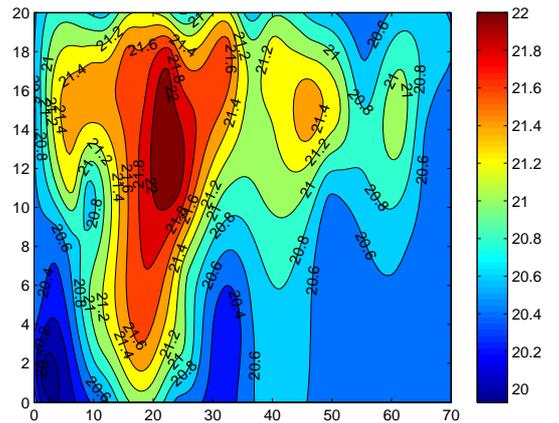
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

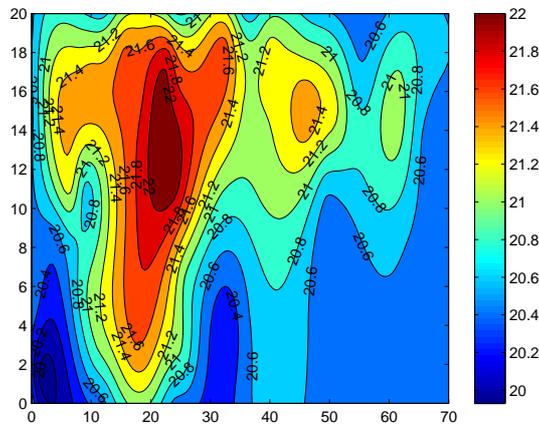
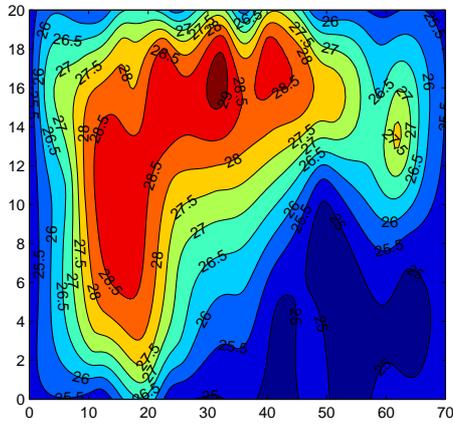


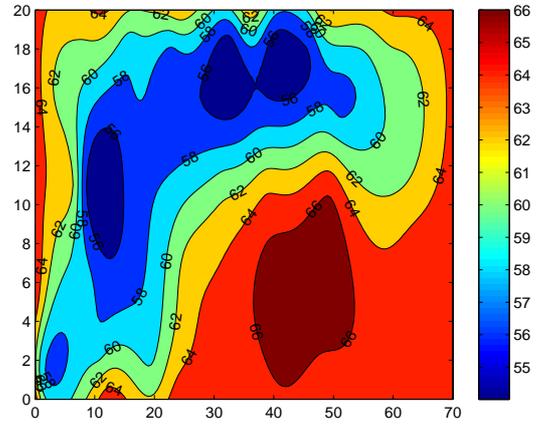
Figura 5.1.01: Ano 2005 - 12 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

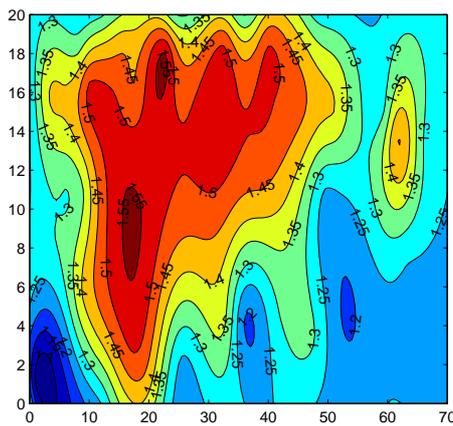
T - Temperatura (°C)



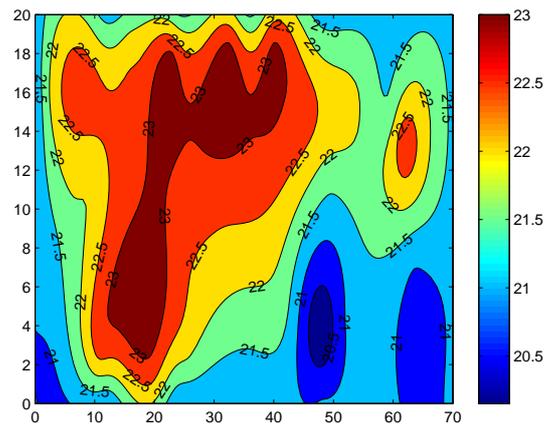
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

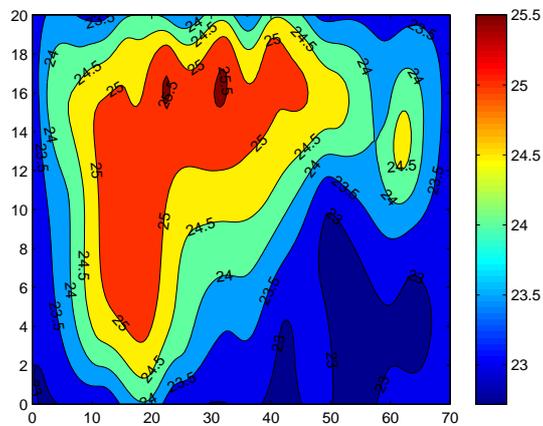
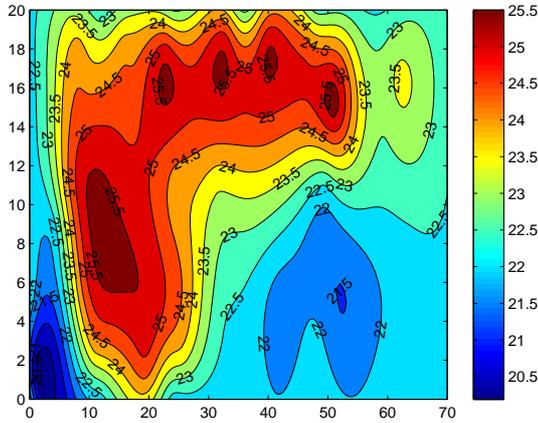


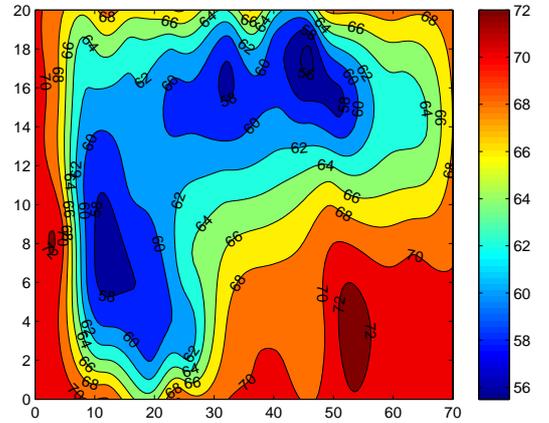
Figura 5.1.02. Ano 2005 - 12 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

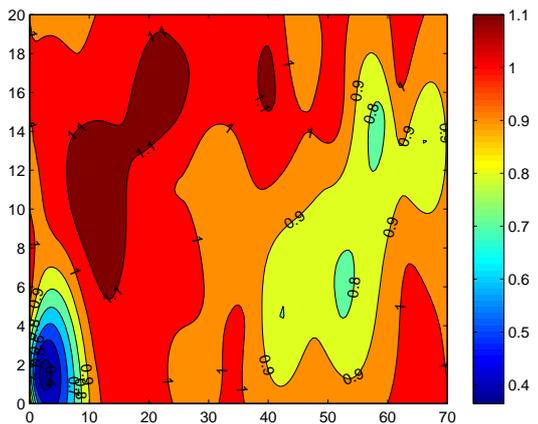
T - Temperatura (°C)



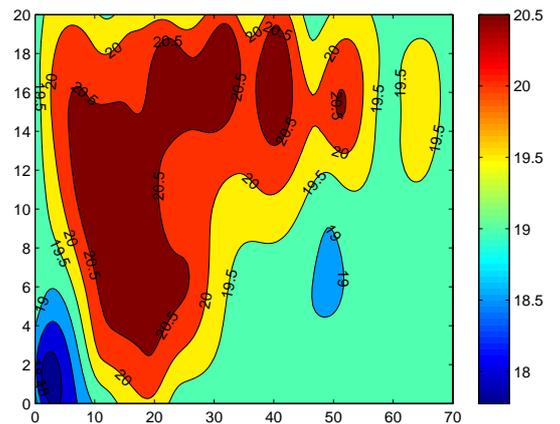
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

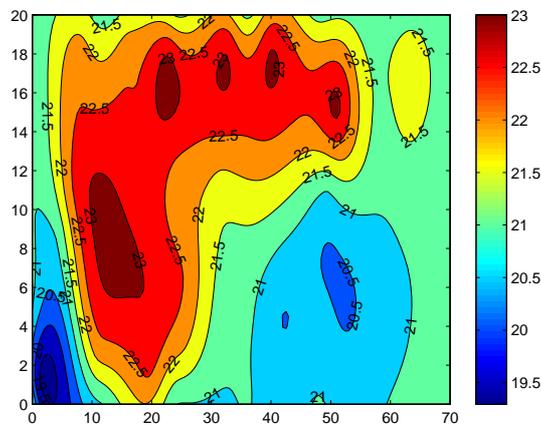
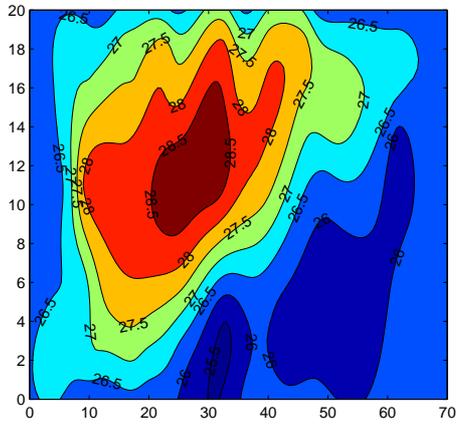


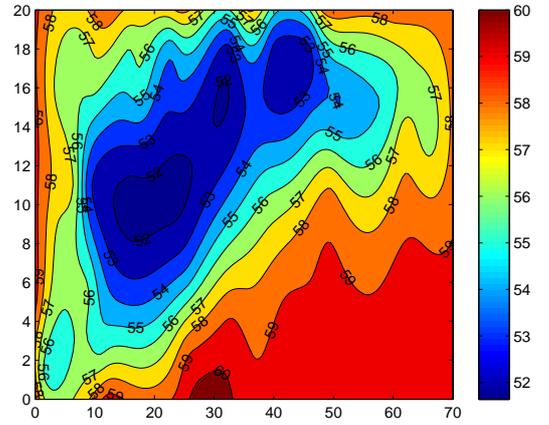
Figura 5.1.03: Ano 2005 – 13 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

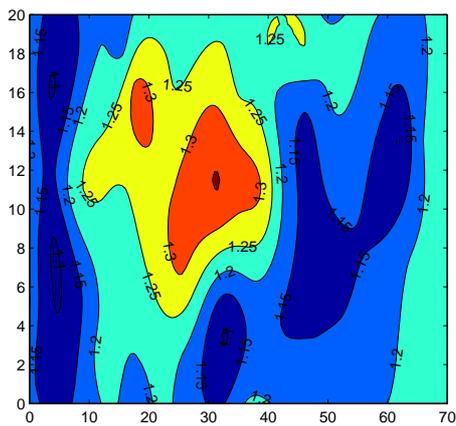
T - Temperatura (°C)



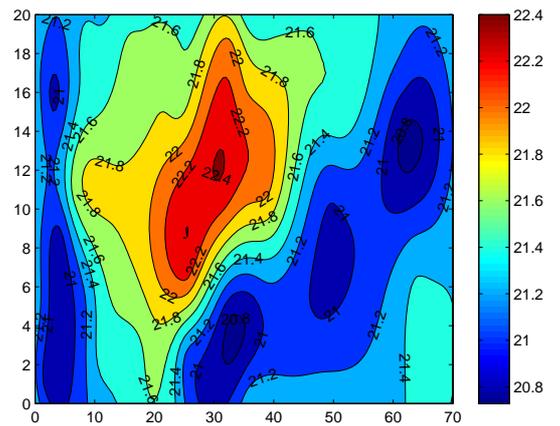
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

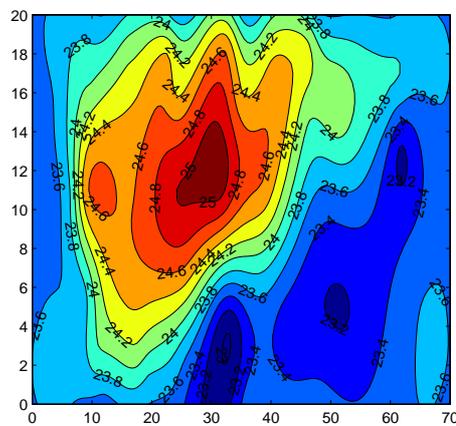
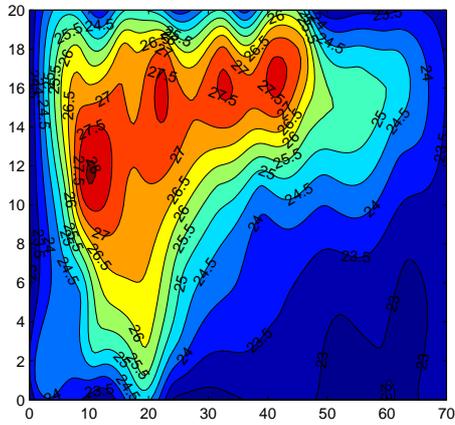


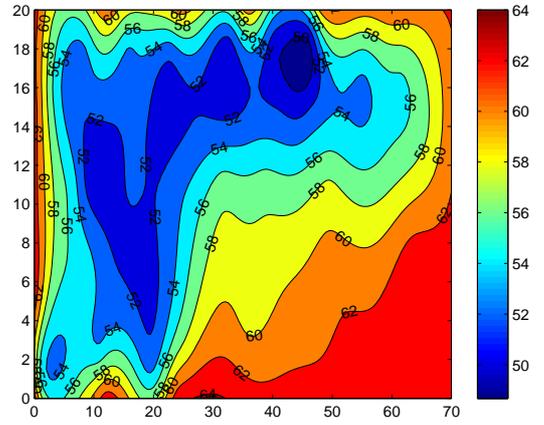
Figura 5.1.04: Ano 2005 – 13 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

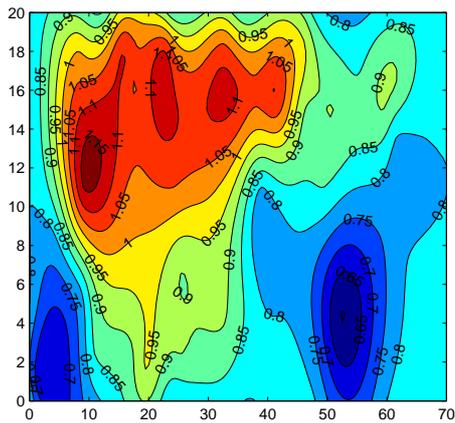
T - Temperatura (°C)



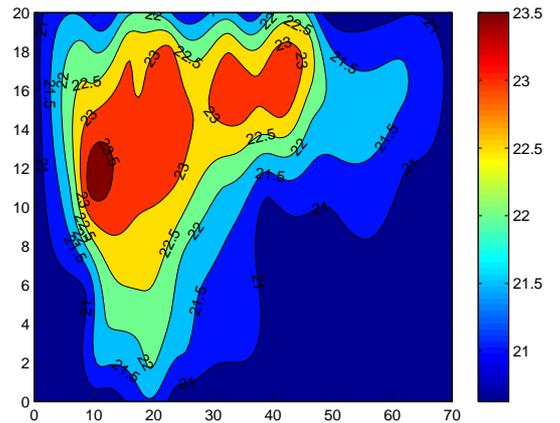
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

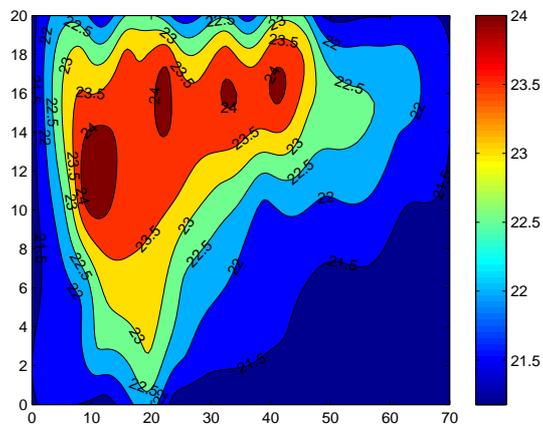
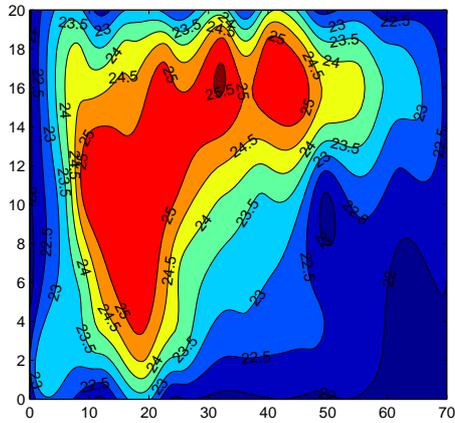


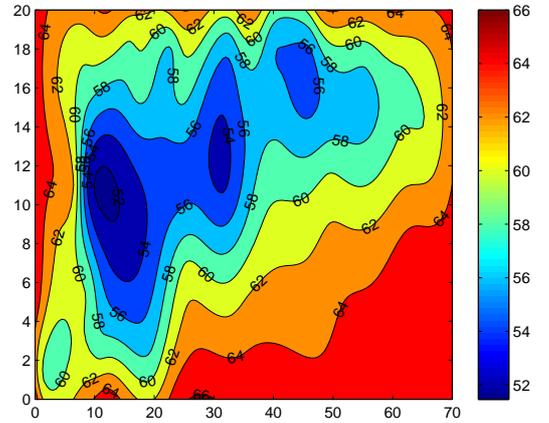
Figura 5.1.05: Ano 2005 - 15 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

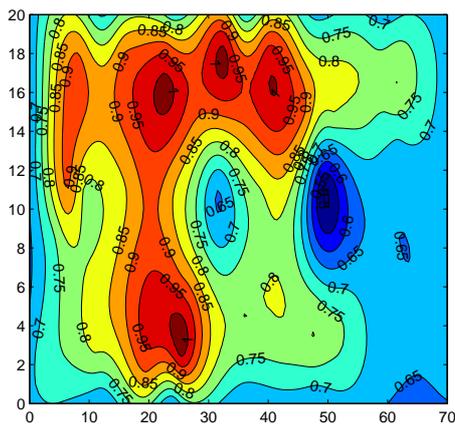
T - Temperatura (°C)



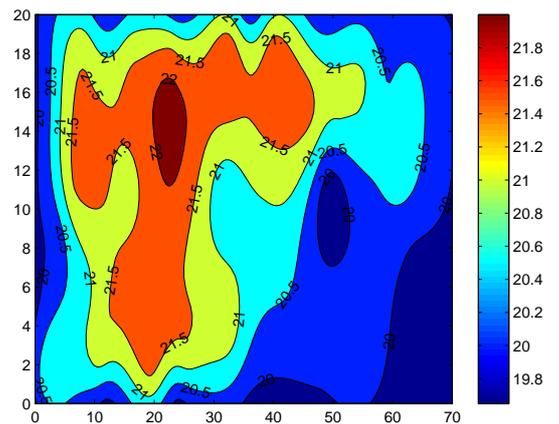
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

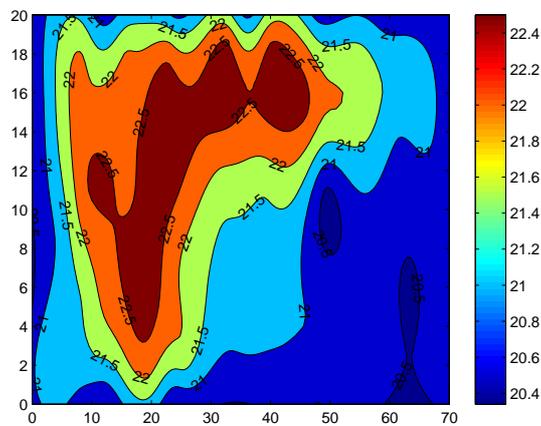
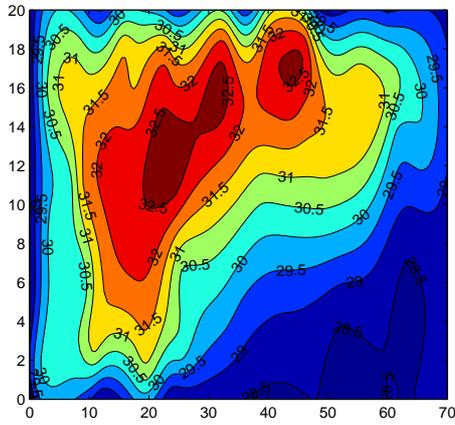


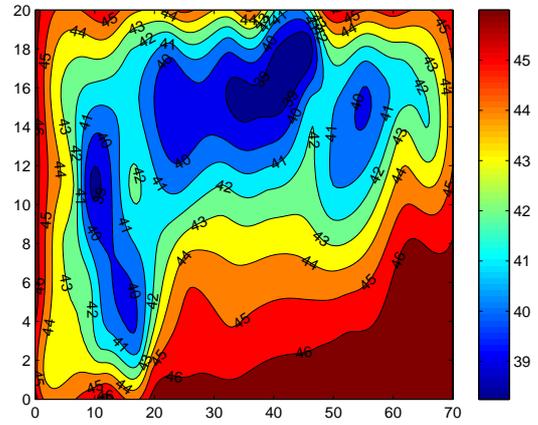
Figura 5.1.06: Ano 2005 – 18 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

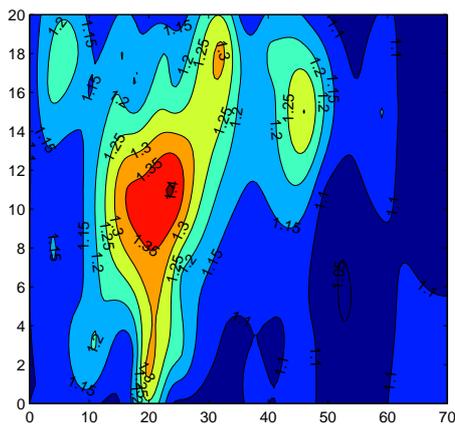
T - Temperatura (°C)



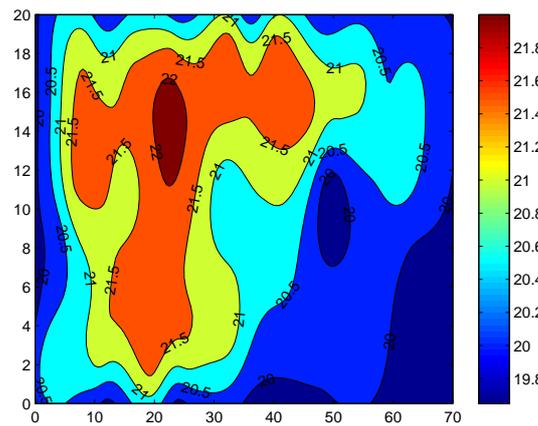
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

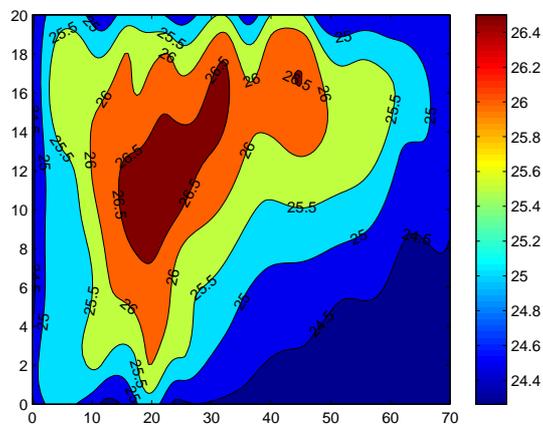
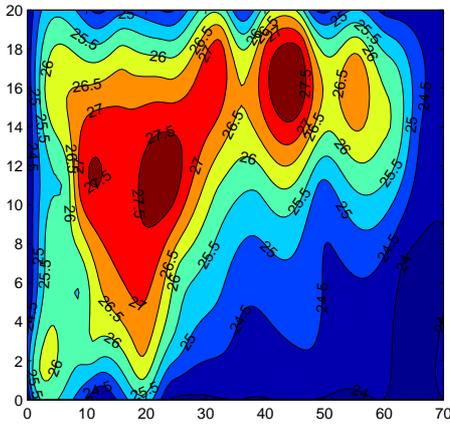


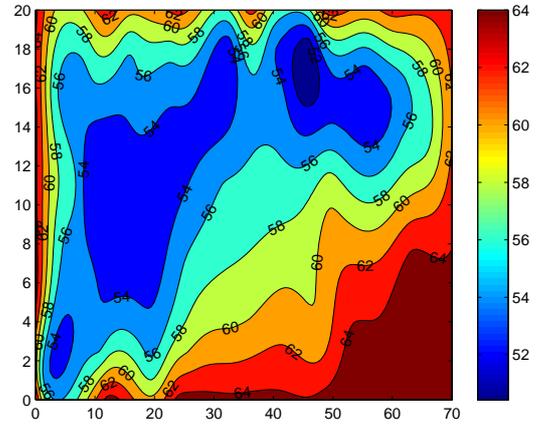
Figura 5.1.07: Ano 2005 – 19 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

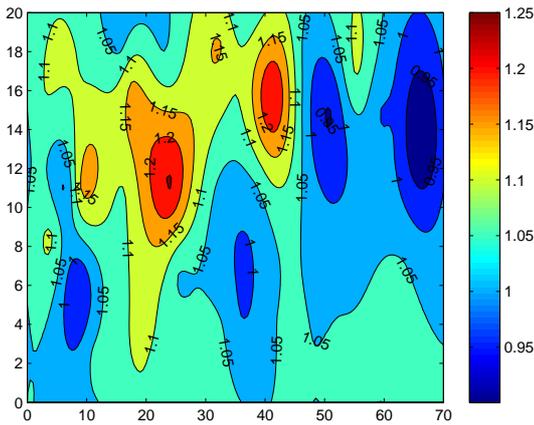
T - Temperatura (°C)



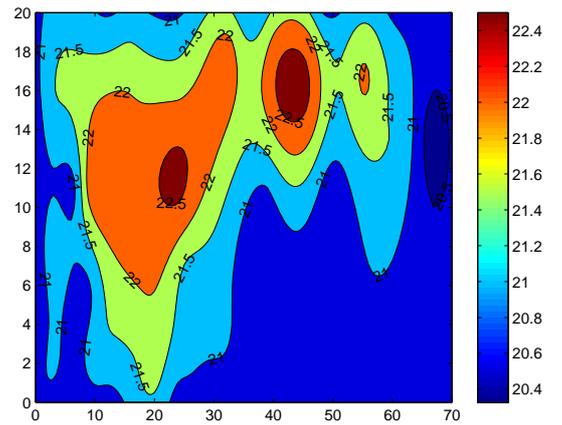
HR - Humidade Relativa



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

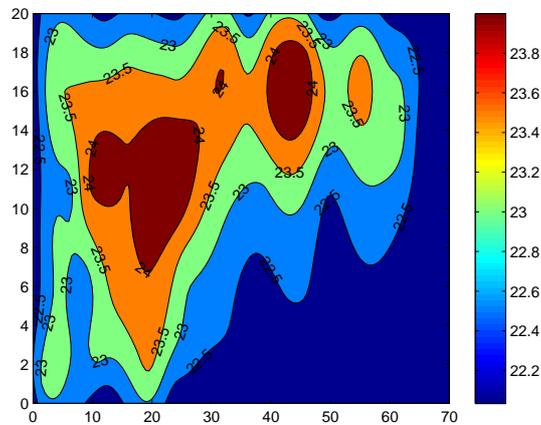
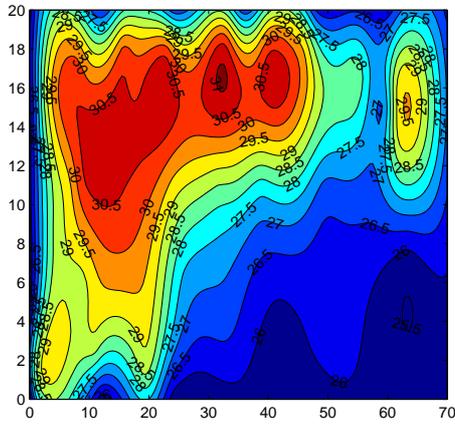


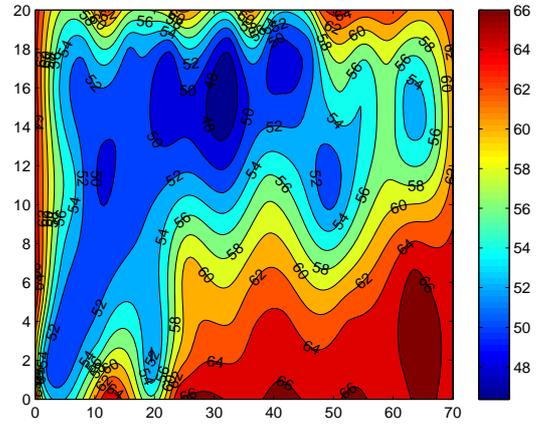
Figura 5.1.08: Ano 2005 – 20 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

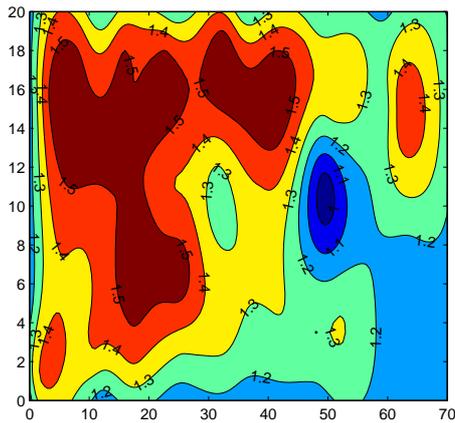
T - Temperatura (°C)



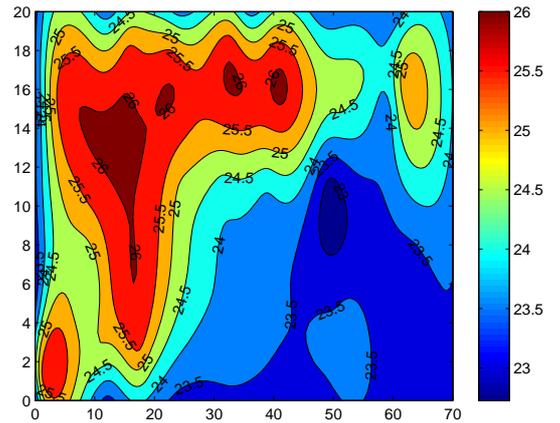
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

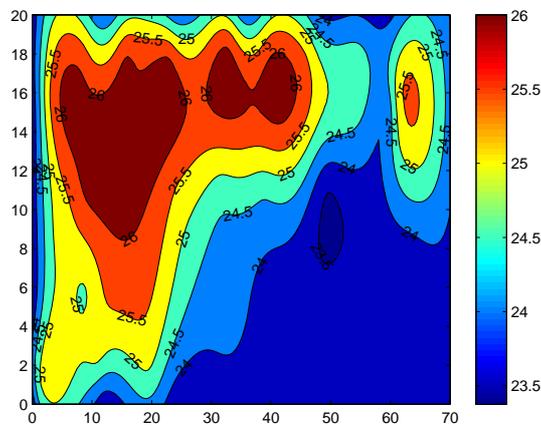
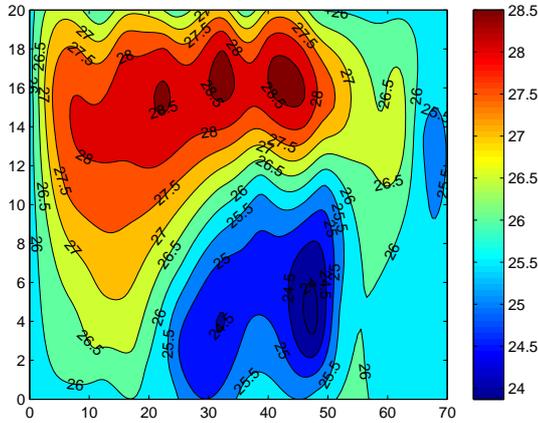


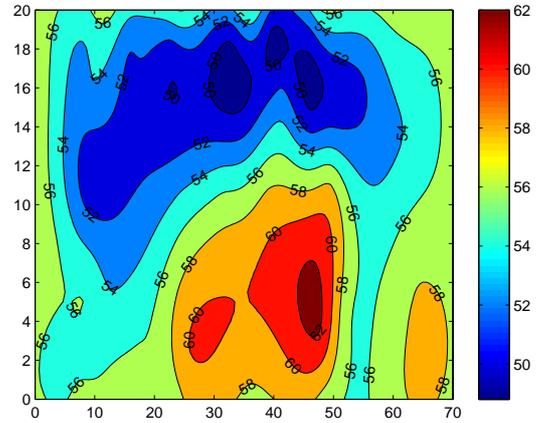
Figura 5.1.09: Ano 2005 – 20 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

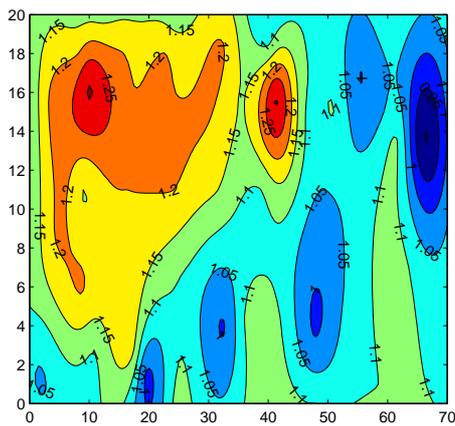
T - Temperatura (°C)



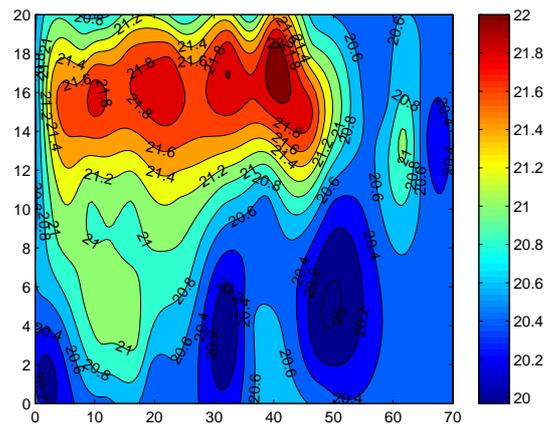
HR - Humidade Relativa (%)



ITH - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

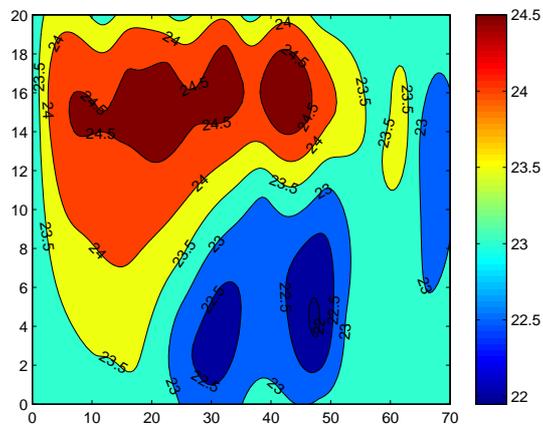
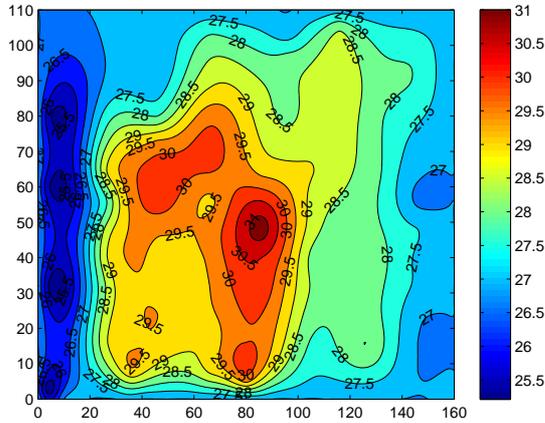


Figura 5.1.10: Ano 2005 – 21 de Julho 10:00 a.m.

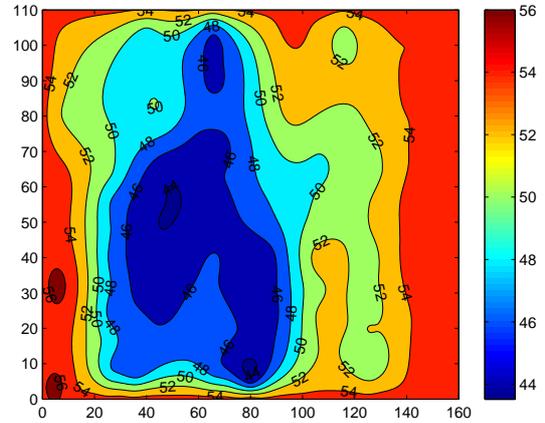
Para o ambiente CV apresentam-se, também, várias figuras para os dias 12 (10:00 a.m. e 03:00 p.m.), 13 (10:00 a.m. e 03:00 p.m.), 14 (10:00 a.m. e 03:00 p.m.), 18 (10:00 a.m. e 03:00 p.m.) e 19 (03:00 p.m.) de Julho de 2005. A observação das Figuras 5.1.11 à 5.1.18 permitiu seleccionar uma área vulnerável com os valores mais altos para os índices de conforto que segue um padrão muito bem definido ao longo dos dias e dos gráficos observados e está localizada nas cotas 46 – 106 m e 24 – 72 m.

AMBIENTE CV

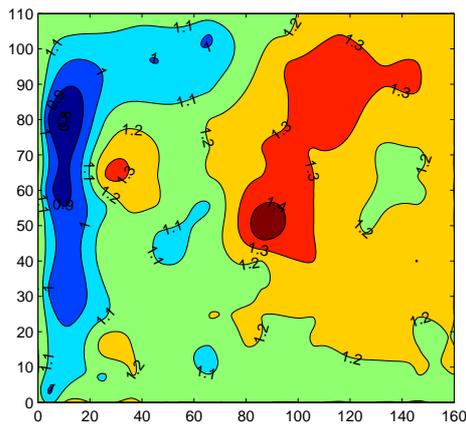
T - Temperatura (°C)



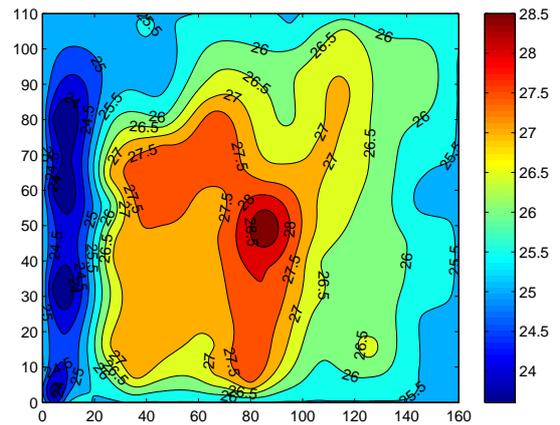
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

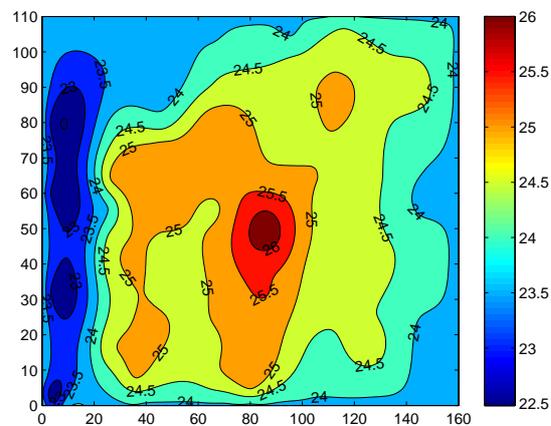
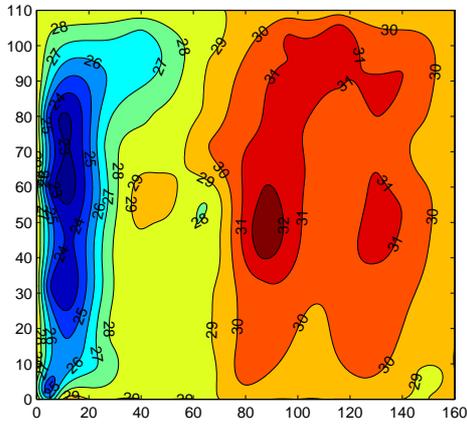


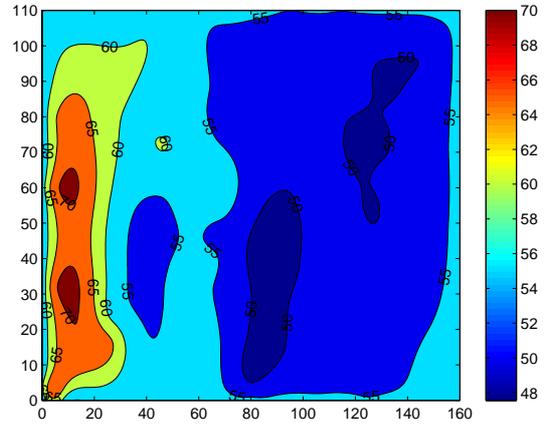
Figura 5.1.11: Ano 2005 – Dia: 12 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

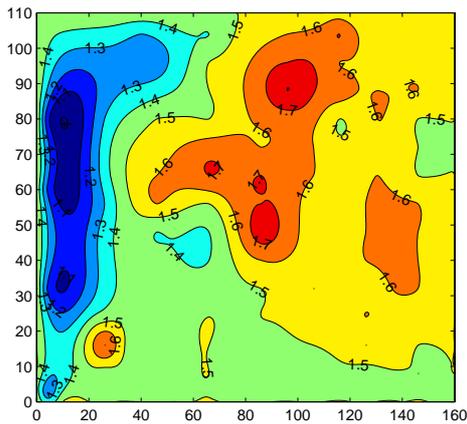
T - Temperatura (°C)



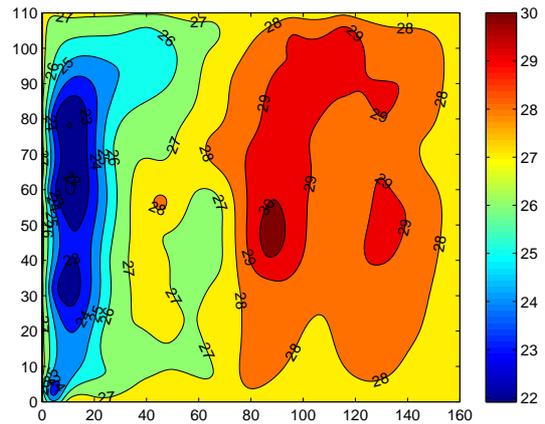
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

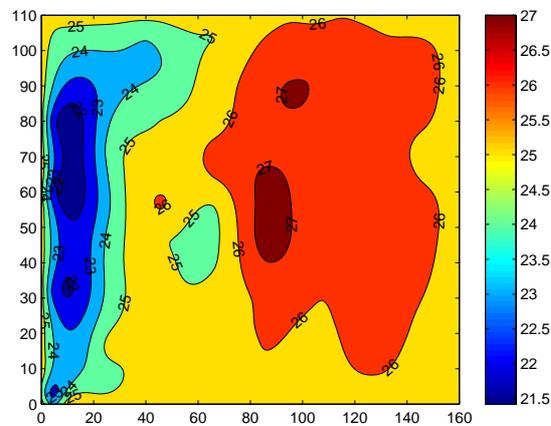
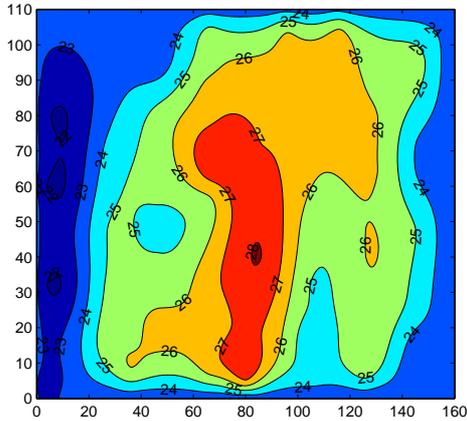


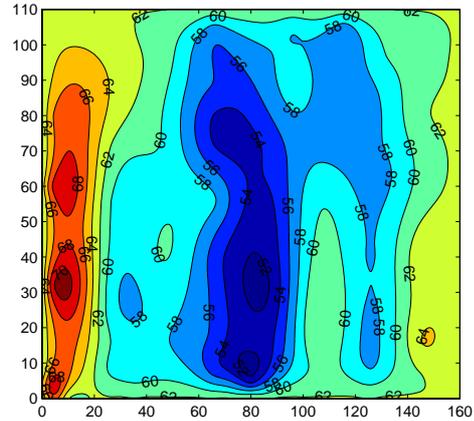
Figura 5.1.12: Ano 2005 – Dia: 12 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

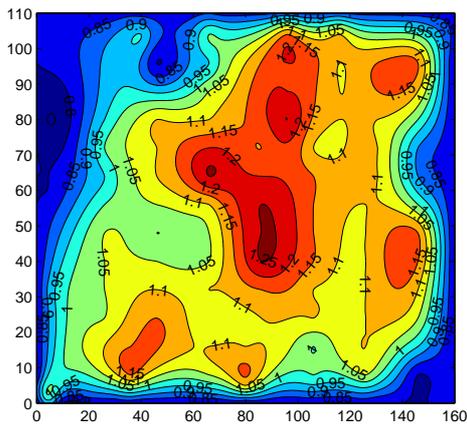
T - Temperatura (°C)



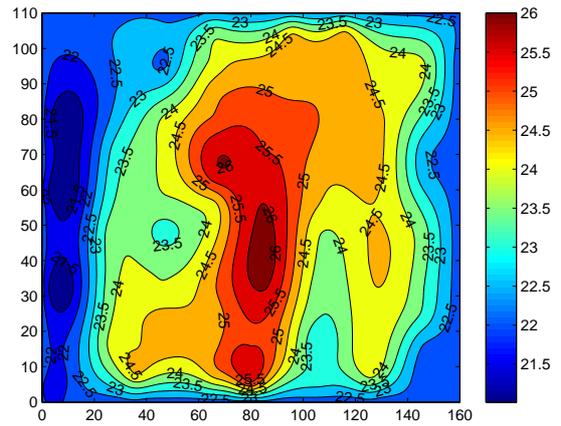
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

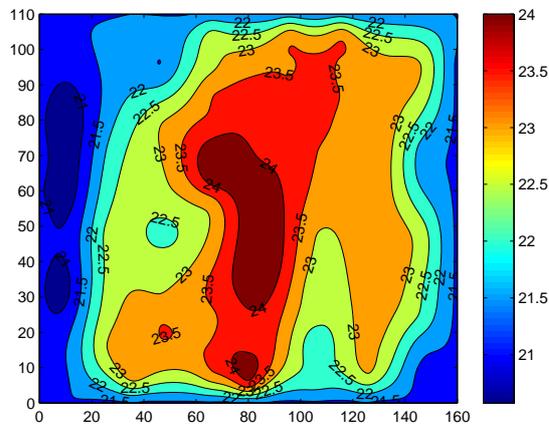


Figura 5.1.13: Ano 2005 – Dia: 13 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

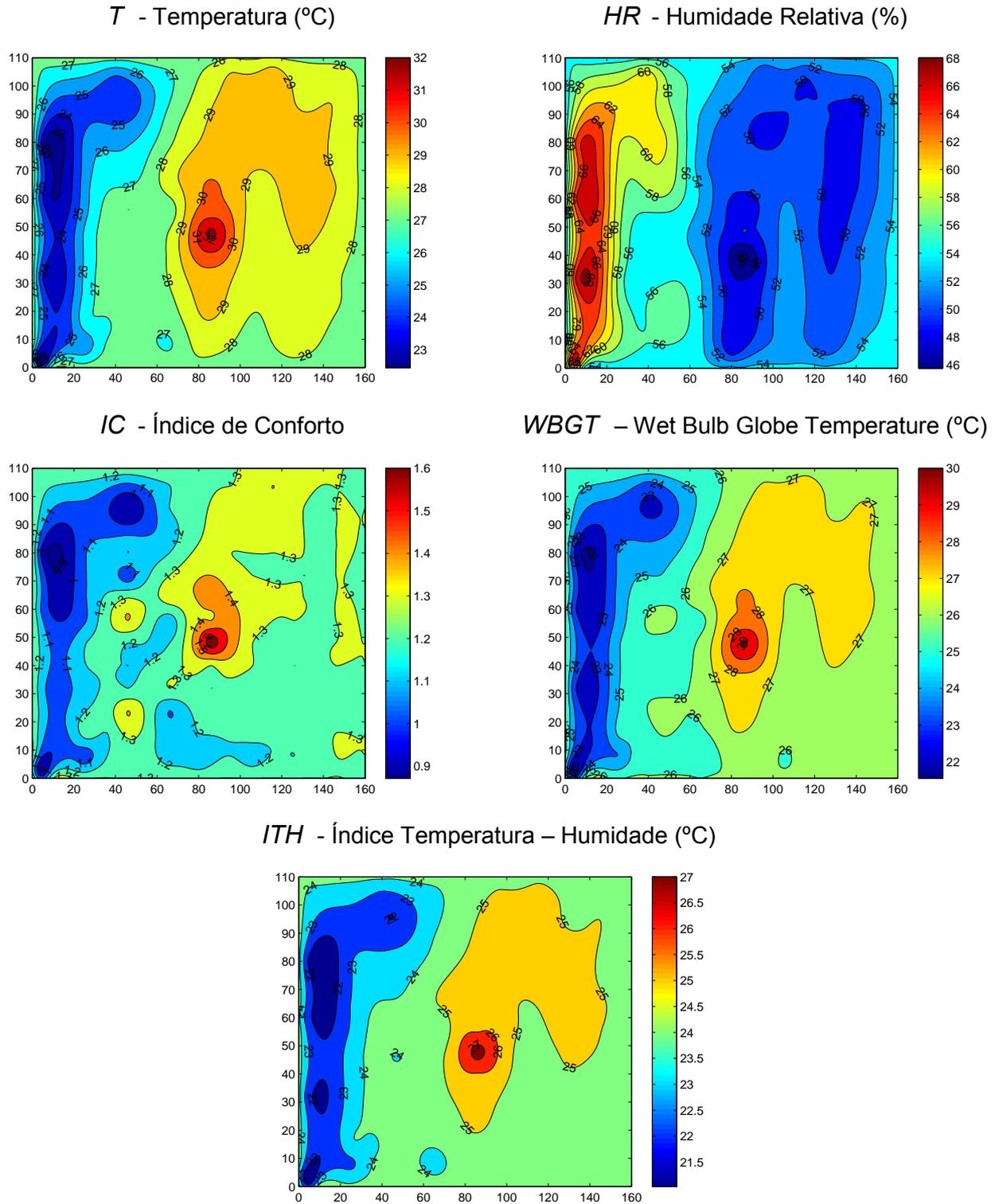
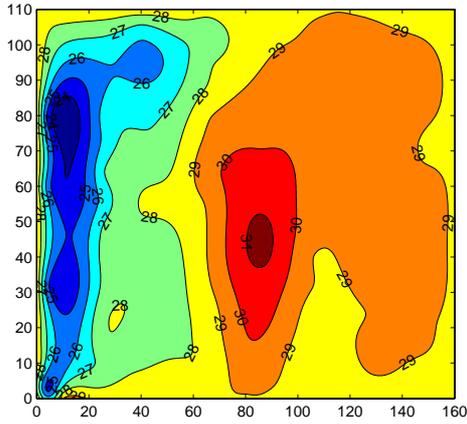


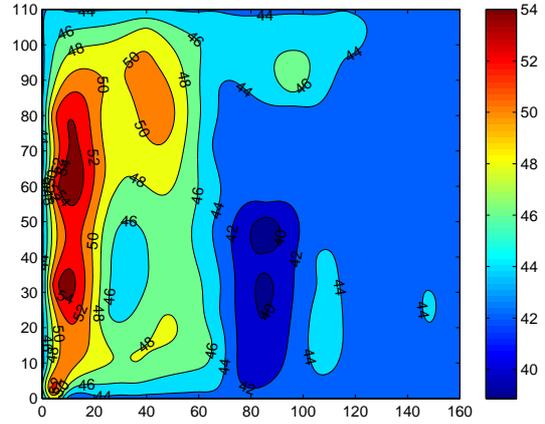
Figura 5.1.14: Ano 2005 – Dia: 13 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

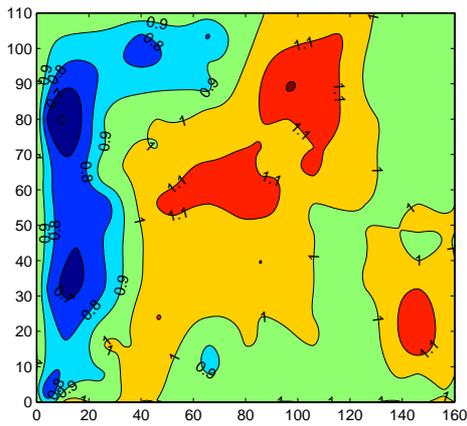
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



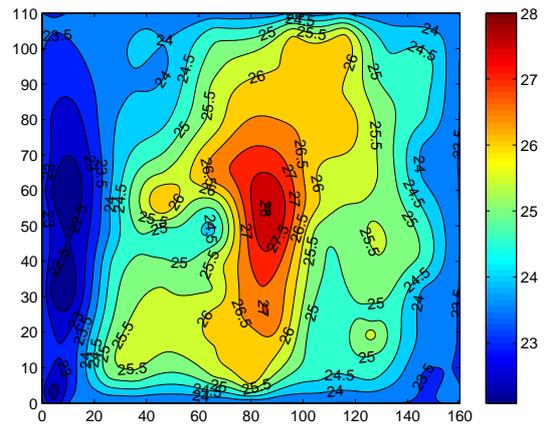
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura - Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

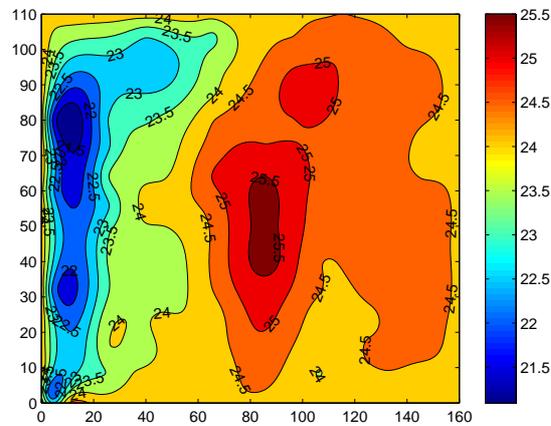
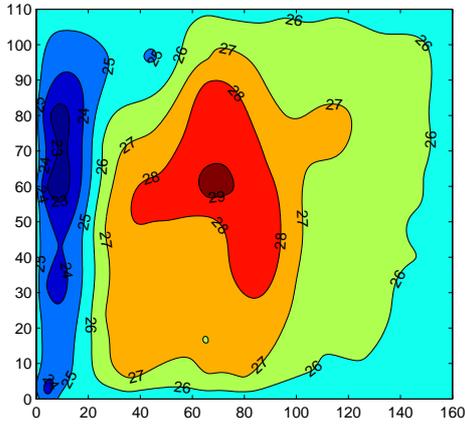


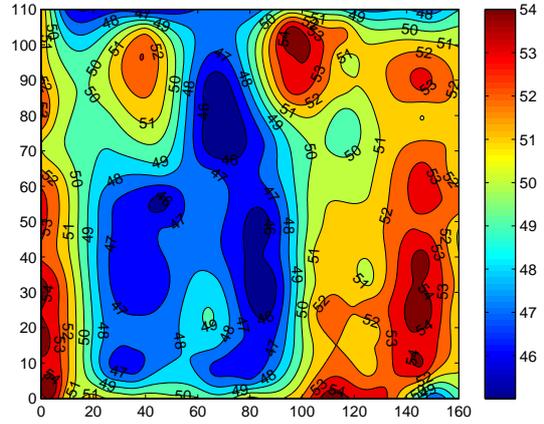
Figura 5.1.15: Ano 2005 – Dia: 14 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

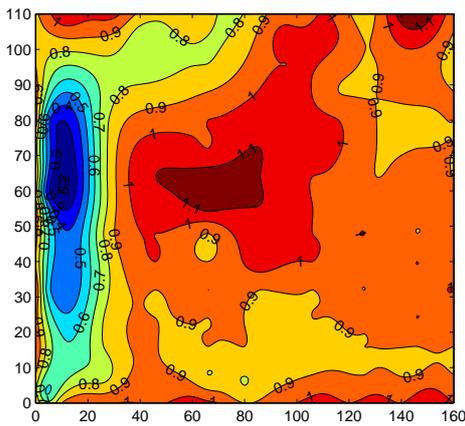
T - Temperatura (°C)



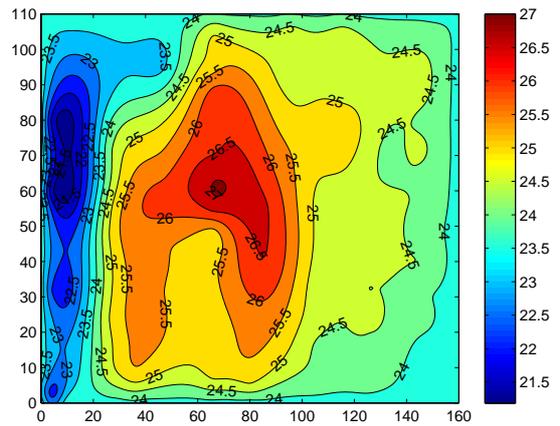
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

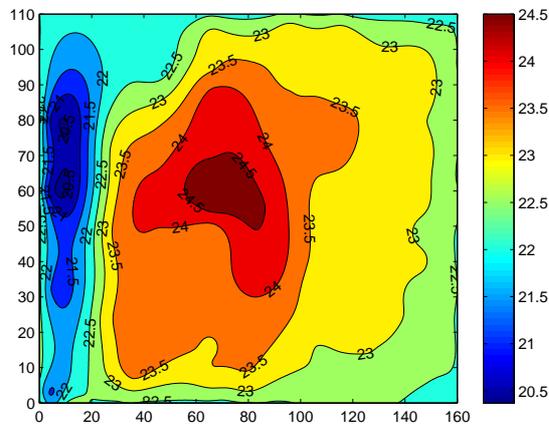
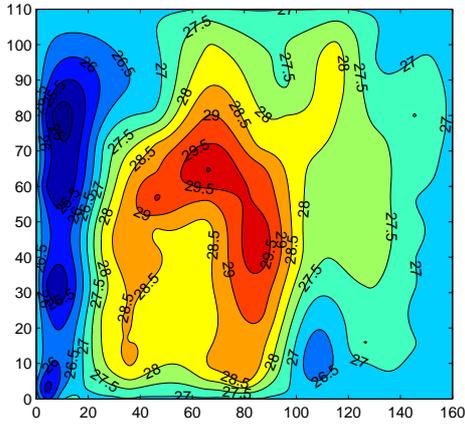


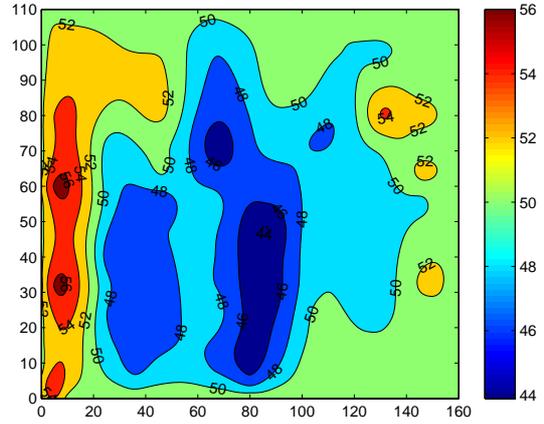
Figura 5.1.16: Ano 2005 – Dia: 18 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

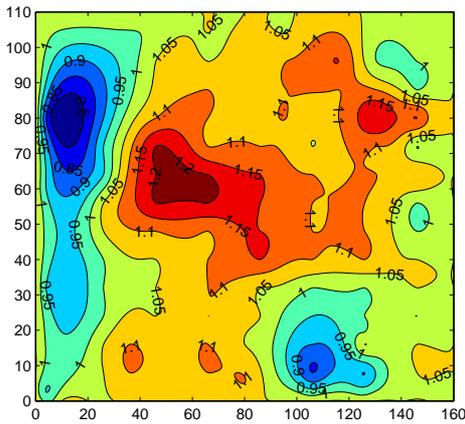
T - Temperatura (°C)



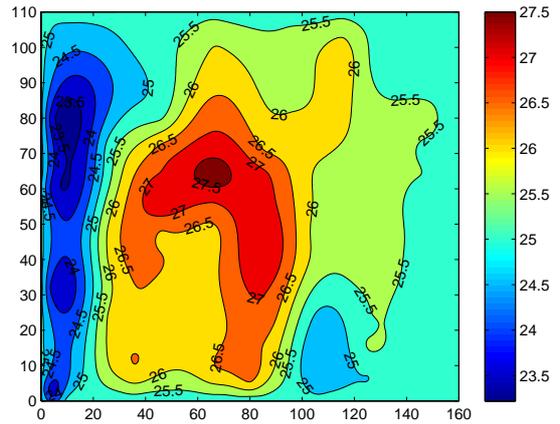
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

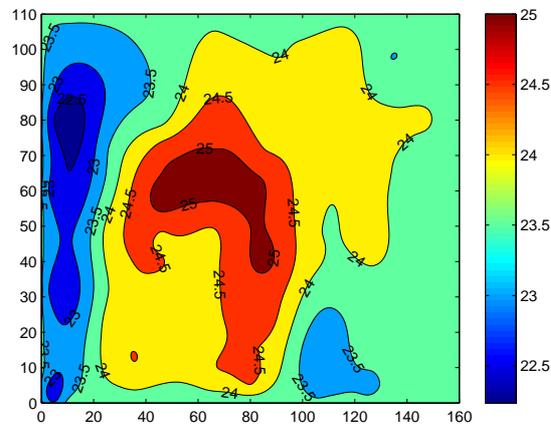
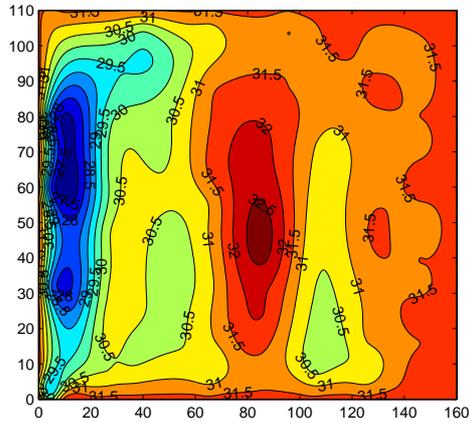


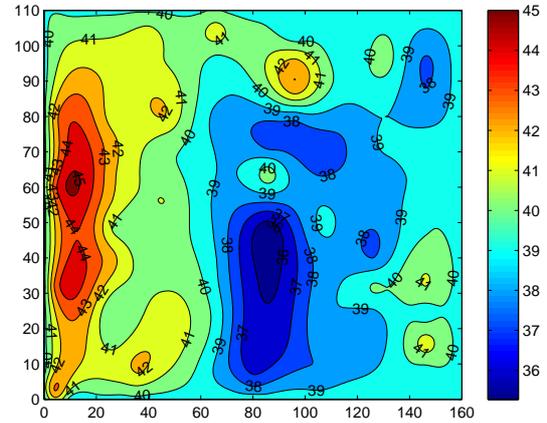
Figura 5.1.17: Ano 2005 – Dia: 18 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

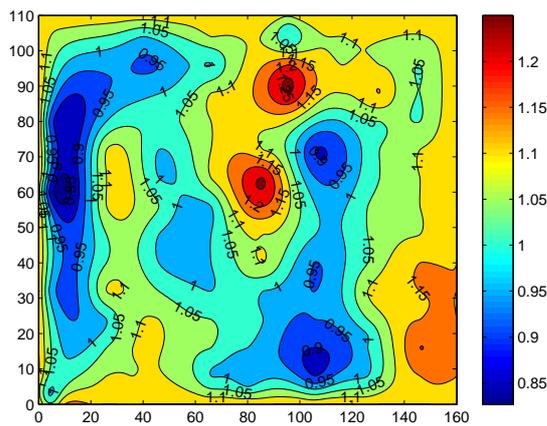
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



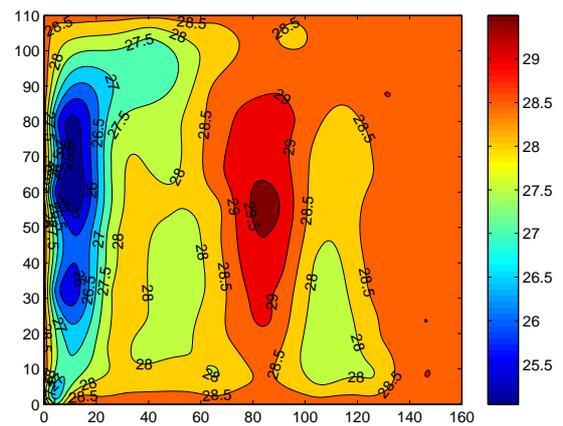
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura - Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

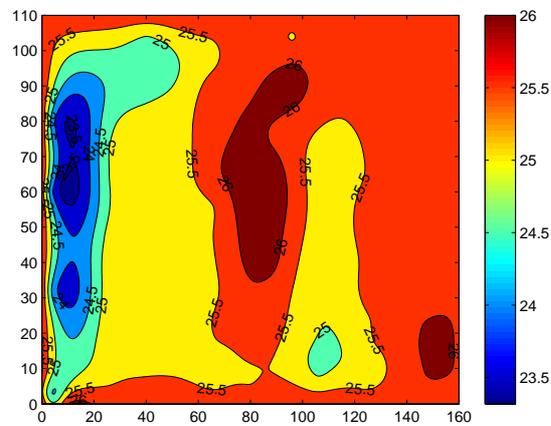


Figura 5.1.18: Ano 2005 – Dia: 19 de Julho 03:00 p.m.

5.2. AMBIENTE TT

5.2.1. INTRODUÇÃO

É sabido que o ser humano, desde a sua criação, utilizou a energia muscular e a sua capacidade intelectual, para aumentar a “performance” da sua actividade profissional e/ou produtiva. Esta “performance” evoluiu ao longo do tempo, com a introdução de melhores condições térmicas e métodos de trabalho.

Cada uma destas melhorias teve em consideração, não só adaptações ao meio ambiente como também mudanças no meio social.

Segundo Tonon (1997), com o domínio de novas formas de energia foram desenvolvidos novos sistemas de produção com o objectivo de acelerar a produção de bens de consumo e a prestação de serviços. Assim a organização do processo de produção promoveu o aumento dos índices de produtividade, durante um mesmo período ocupacional.

A verdade é que para zonas ocupacionais de ambiente questionável (frio ou quente), os índices de produtividade são afectados, essencialmente devido à adaptação e à capacidade de resposta do operador. O mesmo raciocínio pode ser considerado em termos de conforto em estabelecimento de ensino, como sugeriram Rodrigues e Talaia (2006) para um contexto de educação das ciências, numa dinâmica C.T.S.A.

Talaia (2004) mostrou que o conforto humano sujeito a alteração ambiental condiciona as condições de trabalho e da qualidade de vida. O problema situa-se basicamente na homeotermia quando existe um ambiente de desequilíbrio térmico.

Num ambiente quente, os efeitos do calor sobre o Homem, podem ser nefastos. O aumento do índice de stress térmico, acima da zona de conforto, pode suscitar mal-estar psicológico, diminuição da capacidade de trabalho, transtornos fisiológicos, golpe de calor, esgotamento físico, erupção cutânea, fadiga cerebral, desidratação, sensação de fadiga, diminuição da destreza, descoordenação sensorial e motriz, incidência de doenças cardiovasculares e perturbações gastrointestinais.

A combinação entre o ambiente de trabalho e o operador, no seu posto de trabalho, pode proporcionar todo este possível quadro de mal-estar, em termos de saúde.

Num ambiente quente o organismo deve accionar os diferentes meios de “luta”, de que dispõe, contra o calor. Para tentar reequilibrar o balanço térmico, o organismo reage essencialmente através de sobrecargas fisiológicas (termostática, circulatória e sudação), como já foi mencionado no Capítulo 3.

De forma a otimizar o bem-estar do operador, os índices de produtividade, bem como a qualidade do produto torna-se crucial estabelecer um “clima operacional”.

Bawa (1997) mostrou que, entre outros factores, a localização de janelas, a temperatura do ar e a humidade do ar são elementos que podem contribuir para que o ambiente de trabalho se torne vulnerável.

No seu livro Tromp (1980) disponibiliza diversos quadros resumos com informação pertinente para a determinação de índices de conforto térmico e a W.M.O. (1987) sugere e define zonas de conforto térmico com apenas duas entradas (humidade relativa e temperatura do ar).

5.2.2. MÉTODOS, DADOS REGISTADOS E SUA ANÁLISE

A partir do registo de parâmetros meteorológicos localizados na nave industrial, a que se chamou de AMBIENTE TT onde estão instaladas diversas máquinas e diversos fornos de tratamento térmico, avaliou-se o conforto térmico no seu interior.

No AMBIENTE TT desenvolve-se uma actividade de produção em linha e o principal objectivo da investigação é detectar zonas vulneráveis em ambiente quente.

Foram criados mapas com informação do valor do índice de conforto térmico. As linhas dos mapas de sensação de conforto mostram zonas vulneráveis a stress térmico permitindo a adopção de estratégias que promovam a melhoria das condições ambientais que afectam o posto de trabalho.

Na nave foi criada uma “grelha” de postos de observação de parâmetros meteorológicos. Em cada posto de medição, a uma altura de cerca de 120 cm acima do solo, foram registados valores de temperatura, a humidade relativa e a agitação do ar.

Foram também registadas as condições ambientais referentes ao exterior do edifício.

Numa primeira fase, os dados meteorológicos foram registados, normalmente, às 10:00 a.m. e às 03:00 p.m., durante oito dias do mês de Julho de 2005.

Para se conhecer o padrão de conforto térmico, recorreu-se ao ábaco referente à sensação de conforto, de acordo com Rodrigues (1978) e norma ISO 7726 (1998). A temperatura do termómetro molhado foi avaliada através do diagrama psicrométrico [ver por exemplo Dossat (1980)].

As ferramentas informáticas adoptadas, para a análise de resultados e criação dos mapas de temperatura, de humidade relativa do ar e dos índices de conforto e stress térmico, foram folhas de cálculo do Excel e do MatLab.

As cores das figuras não foram calibradas numa escala de comparação de valores. Por estratégia a cor “vermelho” corresponde aos maiores valores registados e calculados.

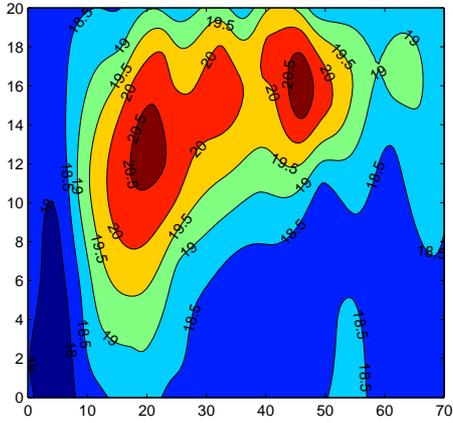
O conjunto de figuras para o AMBIENTE TT, da Figura 5.1.1 à 5.1.10 permitiu avaliar uma zona de desconforto de alguma preocupação para o operário.

É de salientar que as figuras obtidas, no seu geral, mostram que o padrão de desconforto / conforto para as 10:00 a.m. e 03:00 p.m. é similar.

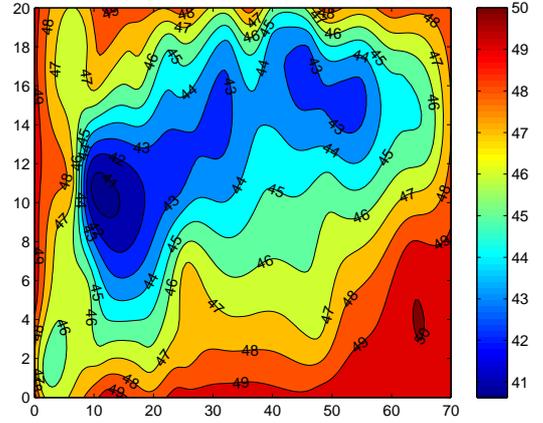
Interessante é também a análise que se pode obter através da observação visual dos registos efectuados para os dias 19, 20 e 21 de Dezembro de 2005 e 21 de Fevereiro de 2006, conforme se mostra nas Figuras 5.2.1 e 5.2.4. Durante a tarde, as linhas dos índices de conforto são muito semelhantes o que valoriza ainda mais o padrão de conforto / desconforto. De facto as cores mais “quentes” estão localizadas na mesma zona, como seria de esperar. É óbvio, que situações de stress durante o mês de Julho não se registam durante os meses considerados mais frios (Dezembro e Fevereiro).

AMBIENTE TT

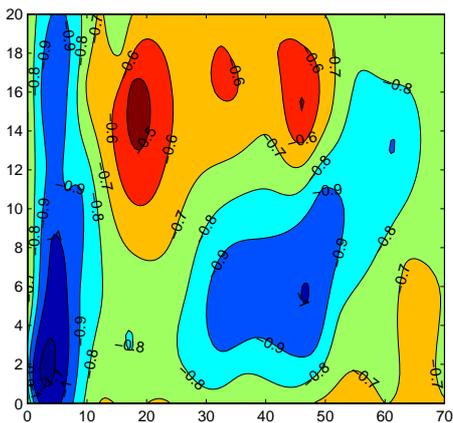
T - Temperatura (°C)



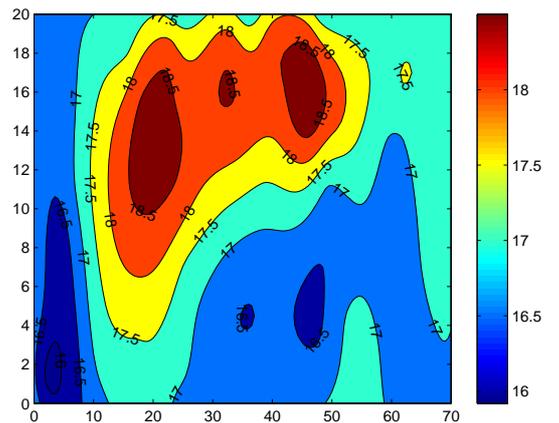
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

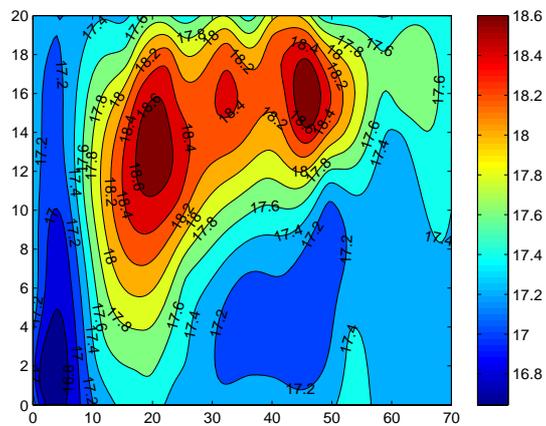
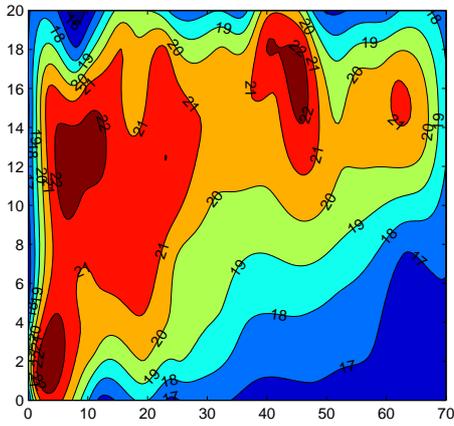


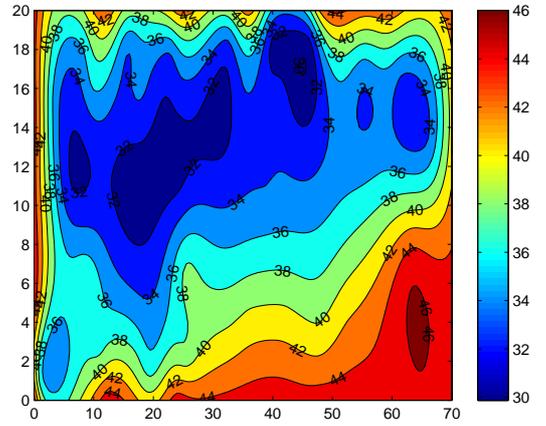
Figura 5.2.01: Ano 2005 – Dia: 19 de Dezembro 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

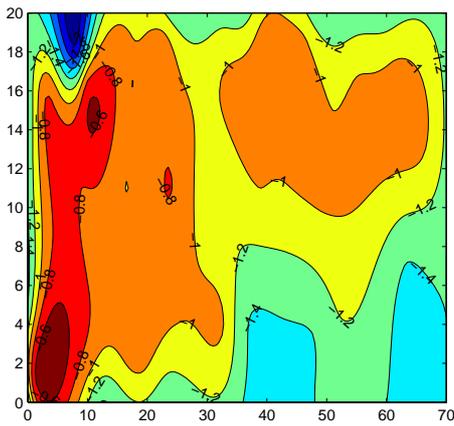
T - Temperatura (°C)



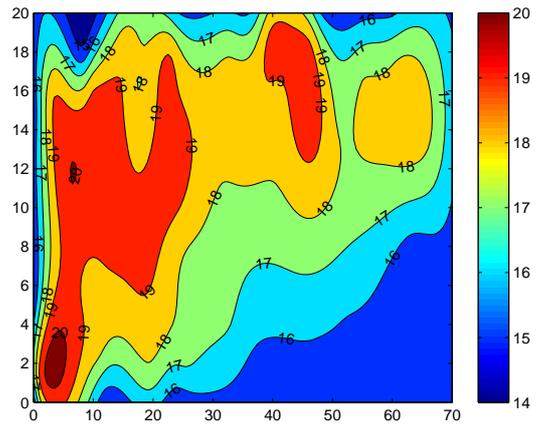
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

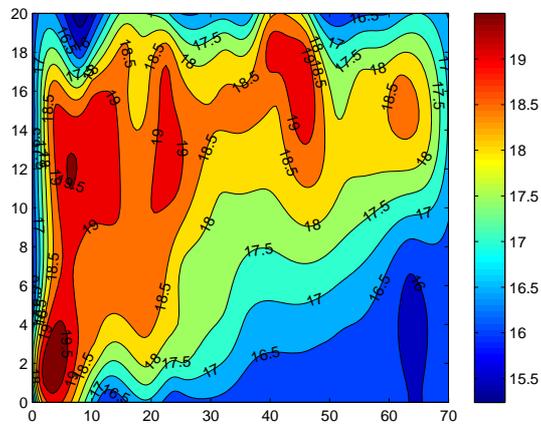
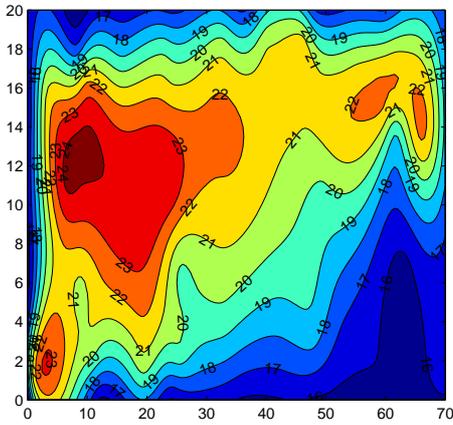


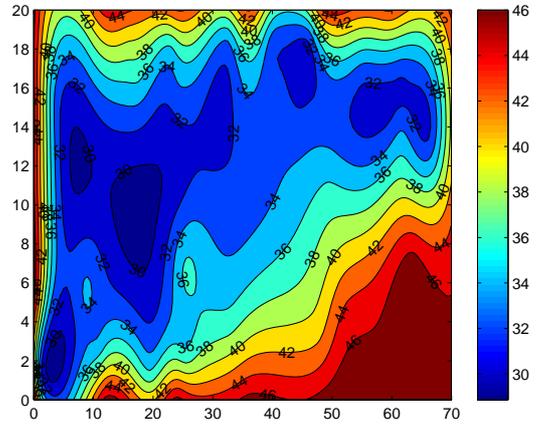
Figura 5.2.02: Ano 2005 – Dia: 20 de Dezembro 10:00 a.m.

AMBIENTE TT

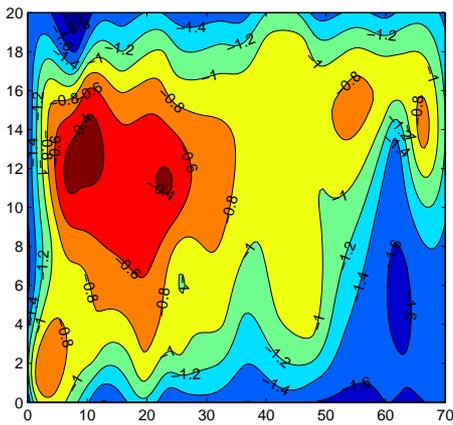
T - Temperatura (°C)



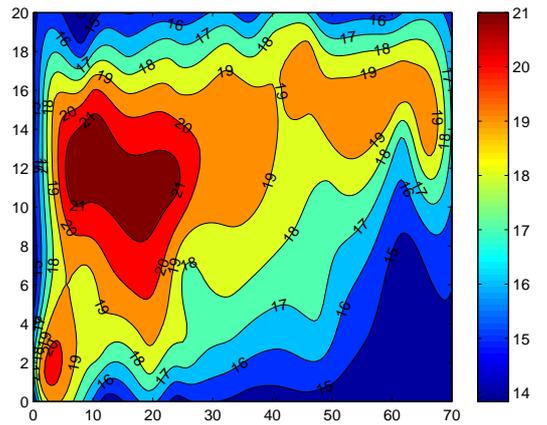
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

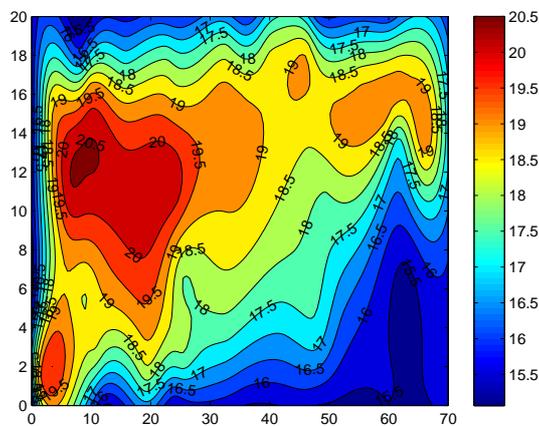
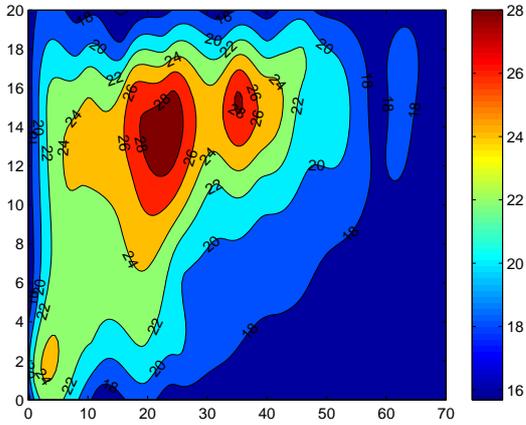


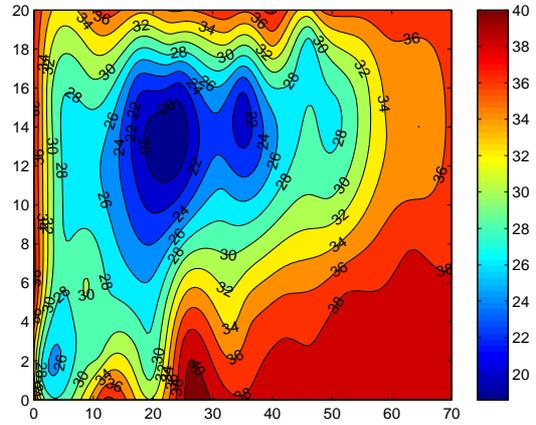
Figura 5.2.03 Ano 2005 – Dia: 21 de Dezembro 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

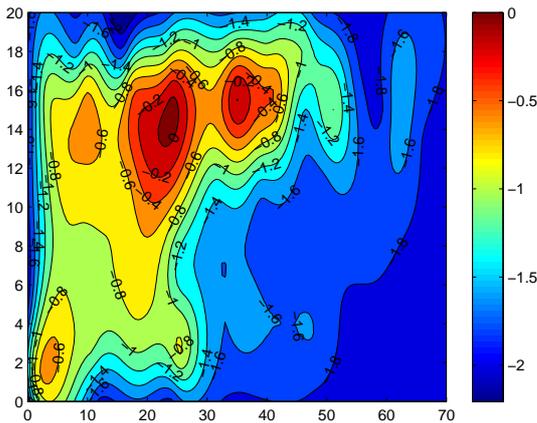
T - Temperatura (°C)



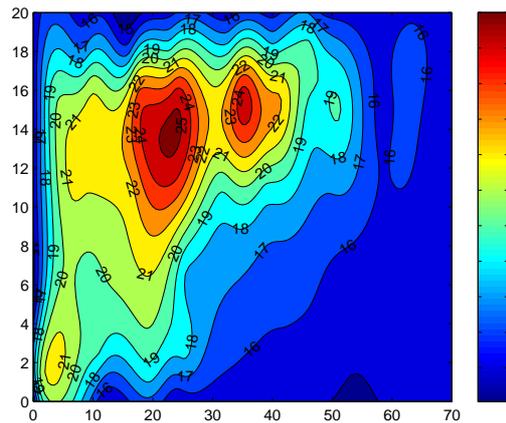
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto (°C)



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

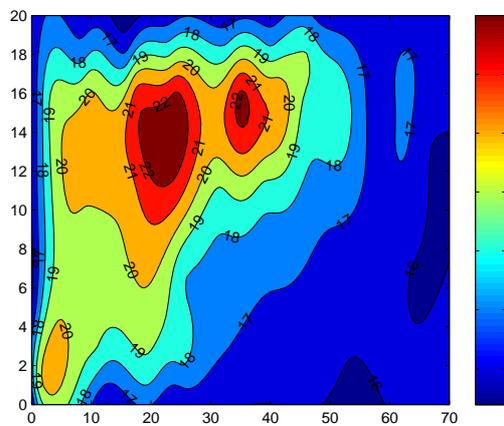


Figura 5.2.04 Ano 2005 – Dia: 21 de Fevereiro 03:00 p.m.

AMBIENTE TT

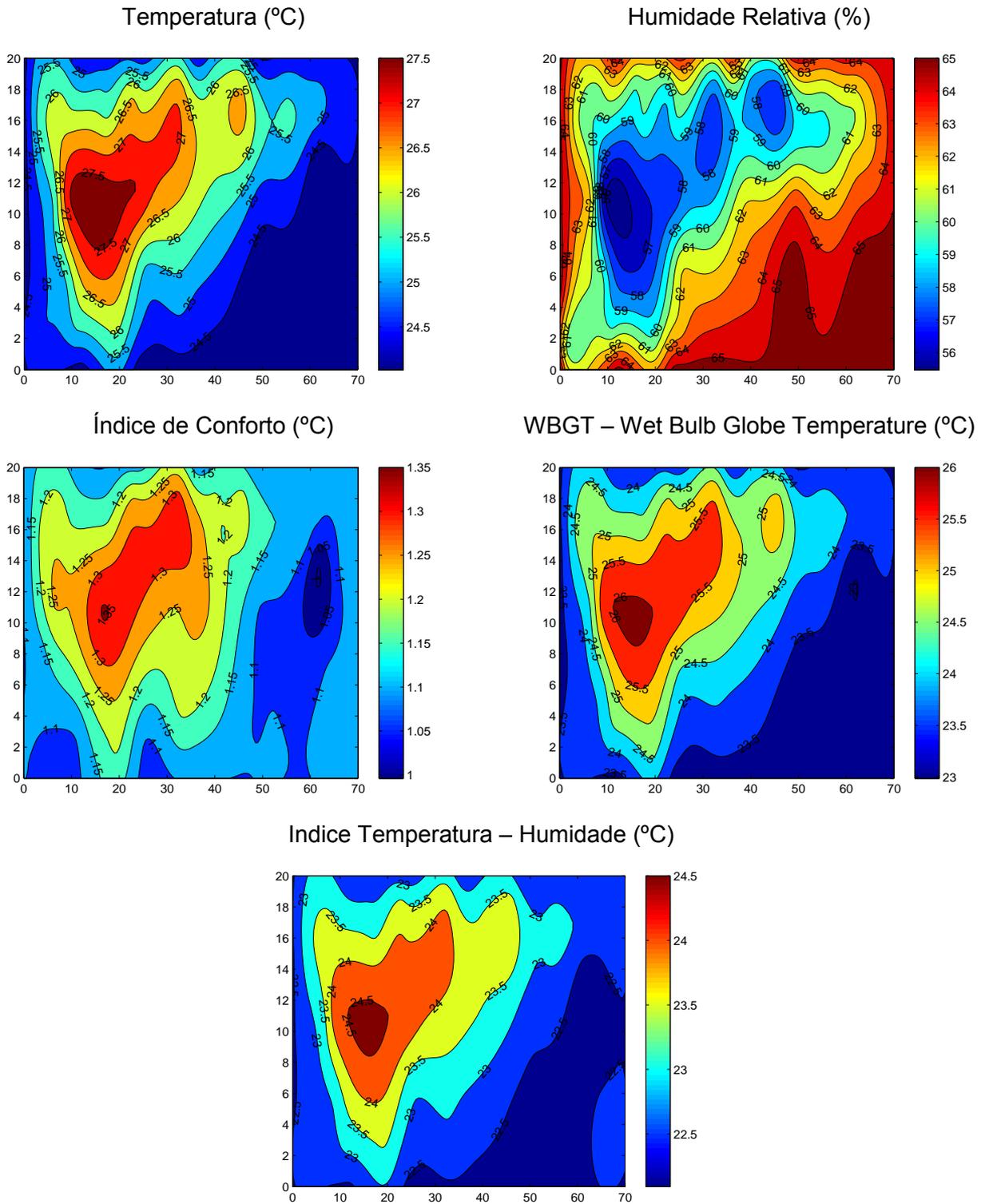


Figura 5.2.05 Ano 2006 – Dia: 11 de Julho 03:00 p.m.

São as tardes dos dias 12, 19 e 20 de Julho de 2005 (Figuras 5.1.2, 5.1.7 e 5.1.9) que registam os valores mais elevados para os índices de stress térmico, para valores de movimento do ar inferiores a $0,20 \text{ m.s}^{-1}$. Assim, os índices de conforto e stress térmico são condicionados pela alta temperatura do ar e pela baixa humidade relativa do ar, registada, no interior da nave. Para os mesmos dias estudados e para o mesmo conjunto de medições, as linhas dos gráficos indiciam uma elevada coerência de resultados, ou seja, quando a temperatura do ar aumenta a humidade relativa do ar diminui.

A Figura 5.2.05 mostra que para o dia 11 de Julho de 2006 não se alteram as conclusões inerentes à zona de desconforto.

O padrão dos mapas das figuras mostra, de uma forma inequívoca, que existe uma zona mais vulnerável na nave industrial, caracterizada por valores de temperatura do ar mais elevados. Como é sabido, para um volume de ar húmido, o aumento da temperatura do ar, torna o ar mais secante por diminuir a humidade relativa do ar. De facto, a inexistência de evaporação (necessidade da presença de um corpo de água) não altera a razão de mistura do ar à temperatura do ponto de orvalho.

Nesta situação, para valores mais extremos da temperatura, o operário sente desconforto e uma sensação de “pele queimada”.

A zona detectada de desconforto térmico está confinada a uma área de actividade de pé do operário e está limitada por dois fornos de tratamentos térmicos.

Os dois fornos de tratamentos térmicos localizados perifericamente à zona vulnerável não apresentam os mesmos índices de conforto térmico. Este facto é explicado pela localização próxima de portas, ou seja pela presença de uma pequena agitação do ar, que promove um aumento “fictício” da sensação de conforto térmico. De facto, sob estas condições a película de água que cobre a superfície da pele (devida à transpiração) evapora mais rapidamente por estar sujeita a ventilação, mesmo que de fraca intensidade. Assim, a sensação de frescura é devida à cedência de energia (mais rápida) necessária para que se processe a transição de fase (líquido para gasoso).

Os valores mais elevados, durante os registos realizados durante a tarde, definiram a zona de maior desconforto térmico, provocada pelo aquecimento do ar devido à presença de máquinas e fornos a funcionar a alta temperatura e favorecida pela radiação solar interceptada pela cobertura e paredes expostas da nave. Esta situação cria no interior da nave, condições que favorecem o chamado “efeito de estufa”.

Como se mostra nas figuras apresentadas, a partir dos dados registados, traçaram-se linhas de temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), humidade relativa HR (%), Índice de conforto

térmico IC , Wet Bulb Globe Temperature $WBGT$ ($^{\circ}C$) e Índice de Temperatura e Humidade ITH ($^{\circ}C$).

Conforme mostraram Rodrigues e Talaia (2005) e Talaia e Rodrigues (2006), os resultados obtidos para os dois períodos de ambiente distintos (ambiente quente durante o mês de Julho de 2005 e ambiente frio durante o mês de Dezembro de 2005), sugerem, como era de esperar, que zonas vulneráveis de desconforto podem passar a zonas de conforto e vice-versa, basicamente pela influência das condições atmosféricas exteriores à nave.

O registo da temperatura do ar, ao longo dos meses do ano, para a região de Aveiro segue uma sinusóide cujo valor máximo está centrado nos meses considerados mais quentes. Assim, se for conhecida a dinâmica traçada por um mapa bioclimático ao longo do ano, é possível aos gestores industriais a adopção de estratégias de prevenção adequadas, de modo a ser possível a manutenção de conforto no interior da nave

As zonas vulneráveis a stress térmico foram investigadas através da utilização do índice $WBGT$ de acordo com a ISO 7726 (1996). O índice $WBGT$ considera o valor do metabolismo correspondente à actividade e à duração de exposição ou exposições. Os valores obtidos foram comparados com valores típicos limites para $WBGT$ em função do metabolismo energético e do estado de aclimação apresentados.

Na Tabela 5.2.01 indicam-se os valores obtidos para o índice $WBGT$ para o AMBIENTE TT e para o mês de Julho 2005.

Tabela 5.2.01: AMBIENTE TT – valores de $WBGT$ para Julho de 2005

T ($^{\circ}C$)	HR (%)	$WBGT$ ($^{\circ}C$)
28,5	57,8	25,7
28,8	56,9	25,7
32,3	42,2	26,5
30,5	51,0	26,3

Os valores do índice $WBGT$ para o AMBIENTE TT indicados na Tabela 5.2.01, suscitam condições de stress térmico para os operários quando se comparam com os valores indicados na Tabela 3.4.02. Existe uma diferença de $1,3^{\circ}C$ e $2,1^{\circ}C$ para um trabalhador aclimatizado. No AMBIENTE TT, o operário “gasta” muito pouco tempo na operação de manuseamento de peças quando a porta do forno se abre. Se considerarmos zona não aclimatizada os valores indicados na Tabela 5.2.01 são iguais ou superiores a $25,7^{\circ}C$, o que favorece condições de lato stress térmico. Contudo, será

bom afirmar que para os cálculos de $WBGT$ a temperatura de globo foi substituída pela temperatura do ar. Assim, de acordo com esta aproximação que foi assumida, é de esperar que os valores efectivos para o índice $WBGT$ sejam superiores aos indicados na Tabela 5.2.01, o que reforça ainda mais a conclusão da existência de zonas sujeitas a stress térmico por efeito de calor.

Todavia, não se pode analisar uma zona de desconforto sem operários, pois o efeito do estudo seria de algum modo redutor. Nestas circunstâncias, analisou-se cuidadosamente a rotina de trabalho dos operários que tinham movimentação de e para os fornos. Observou-se que o stress térmico estava muito localizado na zona de abertura e fecho das portas de dois dos fornos existentes. Nestes, durante a sua actividade de manuseamento de peças, os operários estão sujeitos a um processo de evaporação rápida da película líquida que cobre a pele. Os índices avaliados sugerem que os operários afectos a esta zona vulnerável tenham robustez física. O processo de transpiração é vital para a saúde dos trabalhadores. Na nave havia disponível grande quantidade de água potável.

Achou-se pertinente relacionar o índice $WBGT$ com o metabolismo e o número de horas do turno de trabalho. A Figura 5.2.06, os valores registados, para o índice $WBGT$ para a zona vulnerável, estão assinalados por um rectângulo vermelho. As linhas assinaladas na Figura 5.2.06 estão influenciadas pelo valor do metabolismo e do número de horas do turno de trabalho.

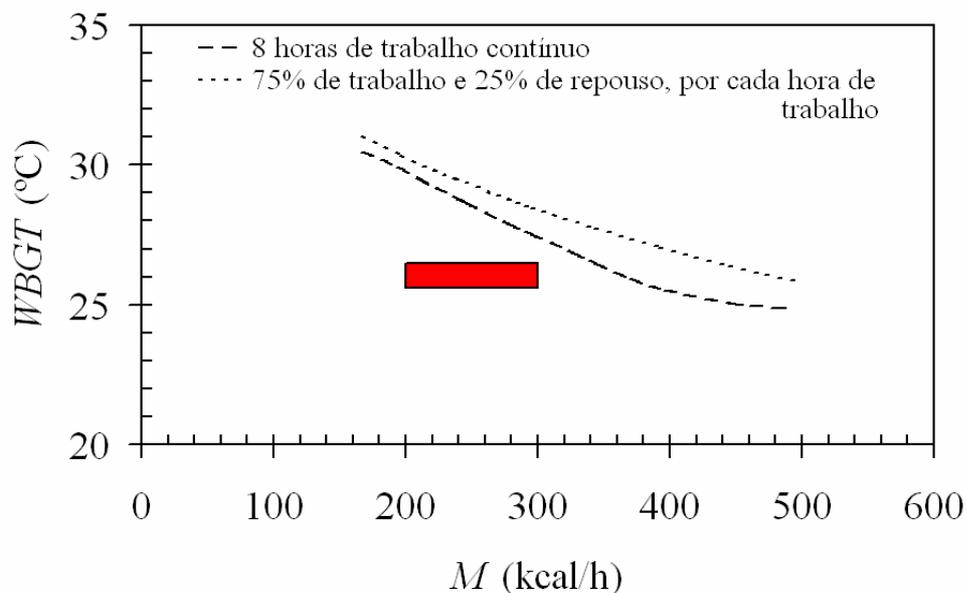


Figura 5.2.06: Índice de stress térmico $WBGT$ “versus” metabolismo

A observação visual do gráfico da Figura 5.2.06 sugere que se a taxa metabólica do operário aumentar, a situação limite para 8 horas de trabalho contínuo, é atingida. No caso desta situação se verificar o operário terá que ser sujeito a intervalos de descanso por cada hora de trabalho. Adicionalmente, o operário terá que reforçar a ingestão de líquidos para minimizar o risco de desidratação. Como já referido, no AMBIENTE TT, esta situação não se coloca pois os operários permanecem na zona de stress térmico apenas alguns minutos.

Estes resultados foram comparados com o diagrama de conforto da W.M.O (1987). Neste, foram comparados os valores da zona vulnerável por stress térmico identificada para o mês de Julho de 2005 (cor “vermelha”) com os seus valores no mês de Dezembro de 2005 (cor “azul”). A Figura 5.2.07 mostra de forma inequívoca, que este método, sendo mais simplista não deixa de oferecer de forma eficaz grande e valiosa informação, acerca das decisões que devem ser tomadas para melhoria das condições de trabalho.

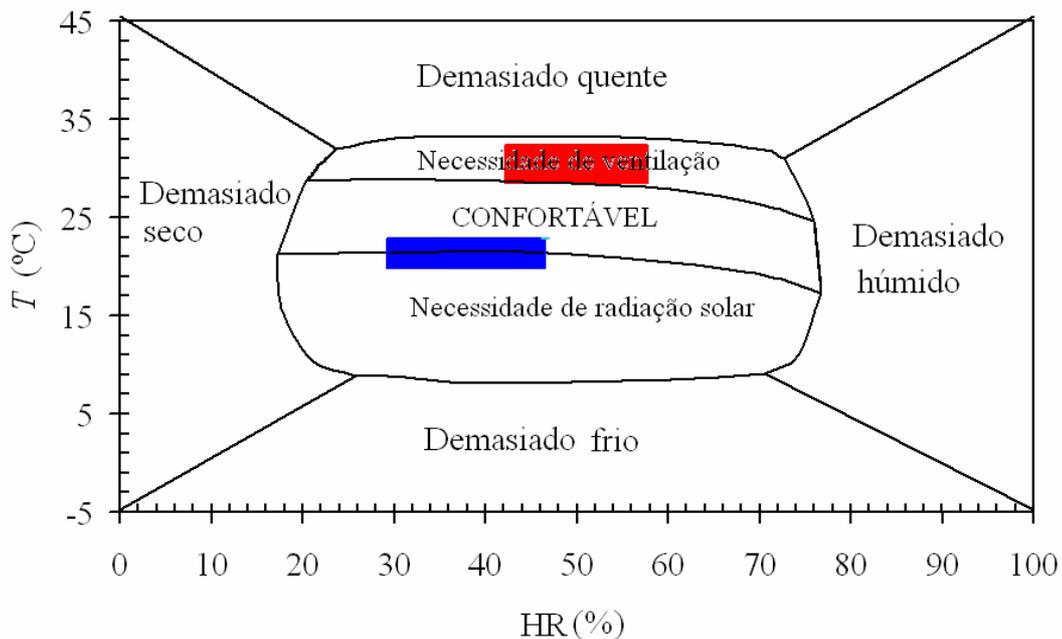


Figura 5.2.07: Condições de conforto / desconforto

A observação da Figura 5.2.07 mostra uma necessidade de ventilação para o mês de Julho de 2005 (zona de cor “vermelha”) confirmando as conclusões apresentadas anteriormente. A zona de cor “azul” condicionadas aos valores registados em Dezembro de 2005 (mês considerado mais frio) e sugere condições na linha de fronteira de

confortável e necessidade de radiação solar ou aquecimento, como seria de esperar, pois as condições interiores da nave são afectadas pelas condições atmosféricas exteriores. Na prática, um ambiente desconfortável pode tornar-se confortável e vice-versa, tal como já foi referido. As condições ambientais exteriores ao edifício são, por isso determinantes na definição de bem-estar.

Nesta investigação ainda se avaliou o índice *ITH* por ser de aplicação muito fácil e por permitir que os valores encontrados sejam comparados com os valores típicos aceites para conforto.

Os valores do índice *ITH* (Nieuwolt, 1977) foram obtidos a partir da expressão

$$ITH = 0,8T + T \frac{HR}{500} \quad (5.2.01)$$

A Tabela 5.2.02 mostra os resultados obtidos para os meses de Julho e Dezembro de 2005.

Tabela 5.2.02: Índice *ITH* para os meses de Julho e Dezembro de 2005

Índice:	Mês de:	Período
$ITH \leq 19,6$	Dezembro	Manhã
$ITH \leq 20,4$	Dezembro	Tarde
$22,1 \leq ITH \leq 24,4$	Julho	Manhã
$23,5 \leq ITH \leq 26,3$	Julho	Tarde

Os valores indicados na Tabela 5.2.02 sugerem uma situação de conforto térmico para Dezembro, quer no período da manhã quer período da tarde. Para Julho de 2005, os valores indicados para o período da manhã sugerem que, no limite superior, o ambiente pode criar condições em que mais de 50% dos trabalhadores sentem desconforto térmico – stress térmico em ambiente quente. Também para Julho 2005, os valores indicados para o período da tarde sugerem que mais de 50% dos trabalhadores sentem desconforto térmico.



Pode-se concluir que os métodos usados para a avaliação do stress térmico são correctos pois permitem obter conclusões coerentes que favorecem decisões apropriadas.

5.3. AMBIENTE CV

A metodologia adoptada para o AMBIENTE CV foi a mesma que a usada para o AMBIENTE TT.

Conforme se mostra nas Figuras 5.1.11 a 5.1.18, é possível determinar a zona da nave em condições de stress térmico. Assim, tal como se verificou para o AMBIENTE TT, as figuras mostram que os valores mais altos para a temperatura do ar e para os índices de conforto, estão em concordância no tempo e que é durante a tarde, como seria de esperar, que os valores são mais extremos. Para a série de dias estudada e no conjunto de dados registados, conforme demonstraram Rodrigues e Talaia (2006), é possível deduzir a seguinte relação matemática dada por

$$IC_{15} = 1,09IC_{10} \quad (5.3.01)$$

onde IC_{15} representa o índice de conforto avaliado às 15 horas e IC_{10} o índice de conforto avaliado às 10 horas.

A expressão (5.3.01) mostra a influência do efeito de estufa, na passagem da manhã para a tarde. De facto, a energia emitida pelas superfícies no interior do edifício (lei de Stefan-Boltzmann), de grande comprimento de onda, é absorvida e por sua vez emitida pela cobertura da nave para o interior e para o exterior. Este balanço de energia é responsável pelo aumento da temperatura do ar no interior da nave. Por outro lado, também durante a tarde, espera-se que a temperatura do ar interior à nave aumente devido essencialmente à transferência de energia sob a forma de calor a partir da radiação solar e da potência das máquinas instaladas.

Para a zona vulnerável de maior desconforto, a relação $\frac{IC_{15}}{IC_{10}}$ toma o valor de 1.27. Nestas condições o ar húmido tornou-se mais seco pelo aumento da temperatura do ar no interior do edifício devido à influência da radiação solar e consequentemente a humidade relativa diminuiu. Nestas condições os operários estão sujeitos a um processo de evaporação rápida da superfície líquida que cobre a pele sentindo desconforto e sensação de “queima” de pele.

Para a zona vulnerável a stress térmico por efeito do calor avaliaram-se dois índices de stress térmico *HSI* e *WBGT*

O *HSI*, Índice de Stress de Calor, do inglês (Heat Stress Index) é um índice que mede a proporção entre a evaporação requerida E_{REQ} para manter o equilíbrio térmico e a evaporação máxima, E_{MAX} , que se poderia ter nesse ambiente.

Para equilibrar o balanço térmico, o organismo deve realizar o débito de evaporação requerido, sendo calculado a partir da expressão (3.4.07).

Os valores foram determinados, considerando operários com roupa e temperatura cutânea média, T_{SK} de 35°C. Para o cálculo da perda de calor por radiação R usou-se a expressão

$$R = 4,4(T_{SK} - T_{RM}) \quad (5.3.02)$$

onde R é expresso em $W.m^{-2}$ e T_{RM} representa a temperatura radiante em °C calculada a partir da expressão (2.1.30).

A perda de calor por convecção C foi calculada a partir de

$$C = 4,6v^{0,6}(T_{SK} - T) \quad (5.3.03)$$

onde C é expresso em $W.m^{-2}$ e v em $m.s^{-1}$.

O calor máximo que se pode perder por evaporação do suor no ambiente considerado, E_{MAX} , é dado por

$$E_{MAX} = h_E w (p_{ws} - p_{wa}) \quad (5.3.04)$$

em que E_{MAX} é expresso em $W.m^{-2}$, h_E representa o coeficiente de evaporação função da velocidade do ar, w a fracção da pele humedecida pelo suor (superfície cutânea molhada), p_{ws} a pressão parcial de vapor de água à temperatura da pele (hPa) e p_{wa} a pressão parcial de vapor de água do ambiente (hPa) à temperatura T .

Assumindo uma pele totalmente molhada ($w=1$) e dado ser $p_{ws} = 56$ hPa para uma temperatura da pele de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, o valor de $h_E w$ foi substituído por $70v^{0,6}$. Assim, a expressão (5.3.04) toma o aspecto

$$E_{MAX} = 7,0v^{0,6}(56 - p_{wa}) \quad (5.3.05)$$

Conhecidos os valores de E_{MAX} e E_{REQ} , o índice HSI é determinado através da expressão (3.4.06) e, em casos de stress térmico, o tempo limite de exposição AET é dada pela expressão (3.4.09).

Analisando os valores registados para o mês de Julho de 2005, a zona vulnerável é caracterizada por valores de temperatura do ar entre $27,9^{\circ}\text{C}$ a $33,2^{\circ}\text{C}$ e a humidade relativa do ar entre $44,5\%$ a $60,2\%$.

Para este conjunto de dados, determinaram-se os correspondentes valores de E_{REQ} e E_{MAX} para valores de M entre 200 a 300 kcal.h^{-1} , ou seja entre $2,3$ met a $3,5$ met, por se considerar uma actividade de médio esforço.

No geral, os valores de HSI calculados sugerem que os operários estão em ambiente de stress máximo, que estão limitados a um tempo máximo de exposição e que o ambiente necessita de ventilação. A estratégia adoptada pelos operários sujeitos a stress térmico foi o uso de ventoinha (com uma velocidade média do ar até 1 m.s^{-1}). Nestas condições ambientais, os valores do HSI , podem diminuir até cerca de 50 . Nas situações em que os valores, de $E_{REQ} \leq E_{MAX}$ regista-se uma situação de segurança.

Analogamente ao realizado para o AMBIENTE TT, procedeu-se ao cálculo do índice por stress térmico $WBGT$. Os valores determinados para $WBGT$ para a zona vulnerável de estudo estão compreendidos entre 24°C e $27,5^{\circ}\text{C}$. Analogamente ao realizado para o AMBIENTE TT, representa-se a zona vulnerável num gráfico que relaciona o $WBGT$ com o número de horas do turno de trabalho.

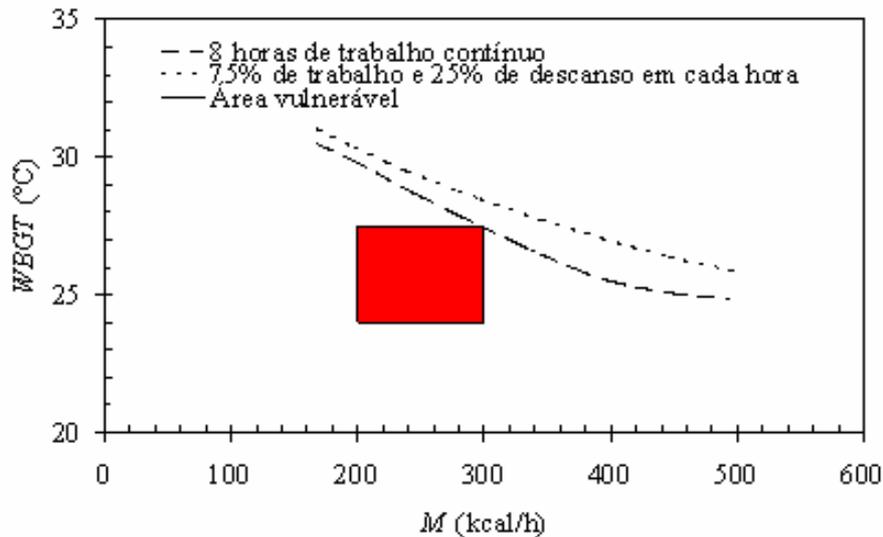


Figura 5.3.01: Índice de stress térmico *WBGT* “versus” metabolismo

Da observação da Figura 5.3.01 é possível concluir que, no geral, os operários afectos à zona vulnerável estão num ambiente de conforto térmico por não se alcançar a linha limite para 8 horas de trabalho contínuo. No entanto, os resultados mostram ainda que poderão surgir situações limites quando se criam condições de trabalho que exigem o aumento do metabolismo.

Como mostra a Tabela 3.4.02, para um metabolismo $200 < M < 300 \text{ kcal.h}^{-1}$ ou entre 130 W.m^{-2} a 200 W.m^{-2} sujeito a uma velocidade do ar inferior a $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, o valor limite para *WBGT* é de 27.8°C . Neste estudo o valor máximo determinado foi de 27.5°C muito próximo de 27.8°C , o que confirma a análise feita a partir da Figura (5.3.01). Nestes termos e para condições ambientais próximas do valor limite devem ser adoptadas medidas de segurança.

Analogamente ao realizado para o AMBIENTE TT, relacionou-se valores obtidos para os índices térmicos com as conclusões da W.M.O. (1987) considerando apenas dados da temperatura e humidade relativa do ar. Conforme mostra a Figura 5.3.02, a zona vulnerável encontra-se numa área de desconforto com necessidade de ventilação.

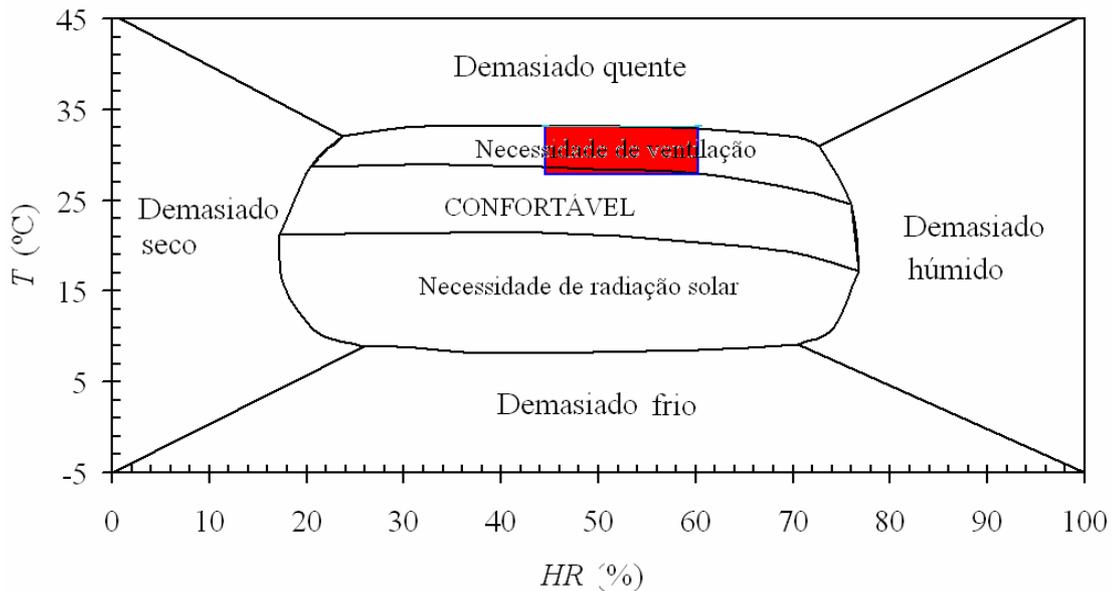


Figura 5.3.02: Diagrama de conforto (W-M.O, 1987)

A análise feita aos gráficos das Figuras 5.3.06 a 5.3.09 para o dia 19, 20 e 21 de Dezembro de 2005 mostra que as conclusões anteriormente mencionadas acerca da zona mais vulnerável a stress térmico se mantêm, como seria de esperar. No entanto é bom realçar que os valores calculados para os índices *WBGT* e *ITH* não são tão elevados basicamente pelo efeito das condições atmosféricas exteriores à nave. De facto, estamos a falar de registos durante o mês de Dezembro que são condicionadas por uma temperatura do ar relativamente baixa.

As figuras 5.3.10 e 5.3.11 referentes aos registos às 10:00 a.m. e 03:00 p.m. para o dia 11 de Julho de 2006, confirmam que o padrão de conforto se mantêm e que a zona escolhida com condições a favorecer o stress térmico se mantêm.

Rodrigues e Talaia (2006) mostraram a importância ergonómica da avaliação do ambiente térmico no posto de trabalho. De facto, o corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage com o ambiente circundante.

Nestes termos é importante o controlo de variáveis que condicionam o ar que circunda o operário. Para a zona vulnerável a condições de stress térmico, registaram-se dados para os dias 12, 13 e 18 de Julho de 2006 em diferentes horários (10:00 a.m. e/ou 03:00 p.m.)

As figuras 5.3.13 a 5.3.14 mostram que a zona seleccionada apresenta subzonas com índices de stress térmico mais elevados e que devem ser valorizados pelo D.H.S.T.

Nestes termos investigaram-se estas subzonas. A Figura 5.3.04 mostra o equipamento simples usado e a Figura 5.3.05. mostra uma fase de registo onde está presente a investigadora e o operário.

Tal como já foi anteriormente referido, a metodologia adoptada teve em conta a formação dos operários da zona escolhida para se conhecer a sensação de conforto destes em face da valorização dada através dos índices de conforto.

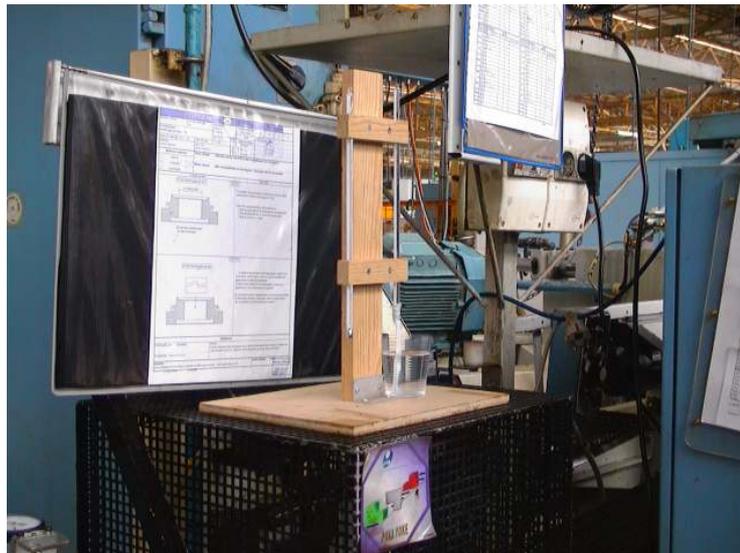


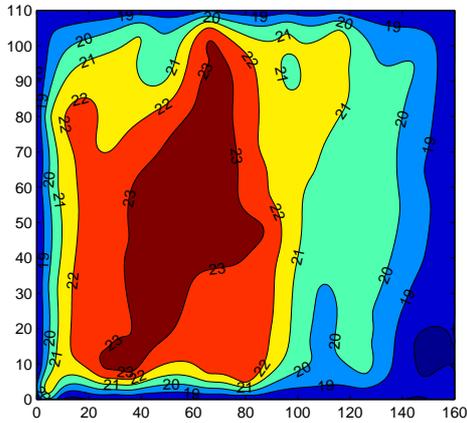
Figura 5.3.04: Psicrómetro



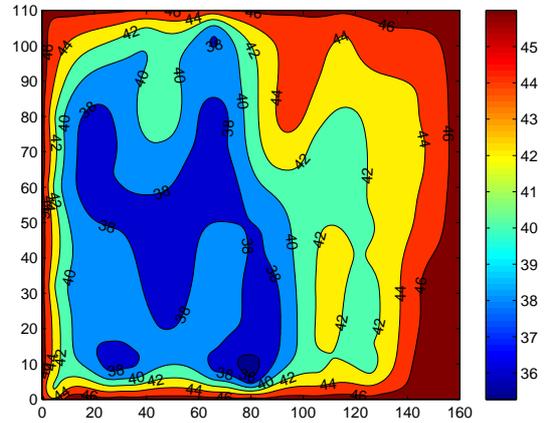
Figura 5.3.05: Formação para a fase da leitura

AMBIENTE CV

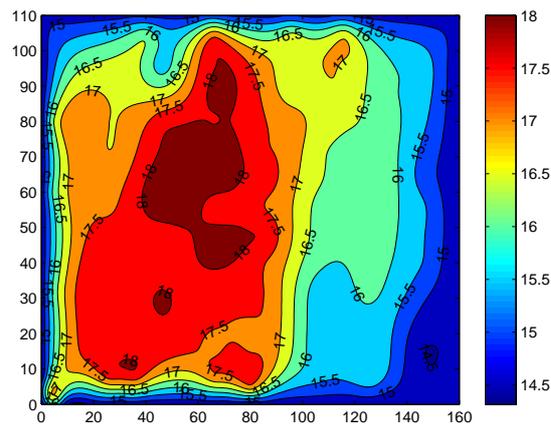
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



HR - Humidade Relativa (%)



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura - Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

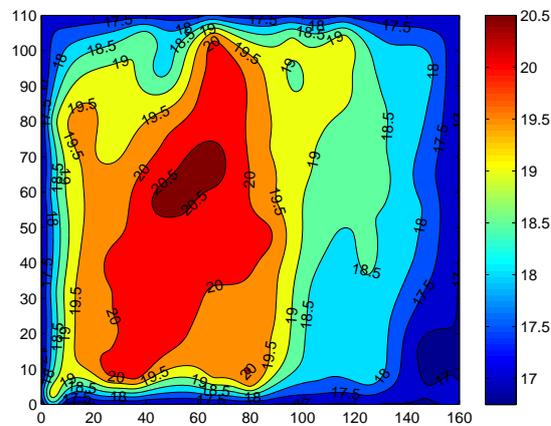
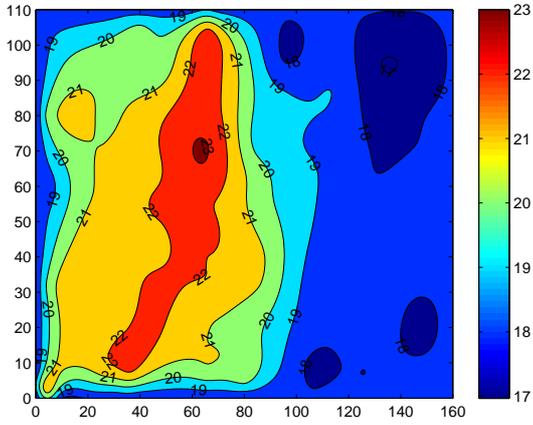


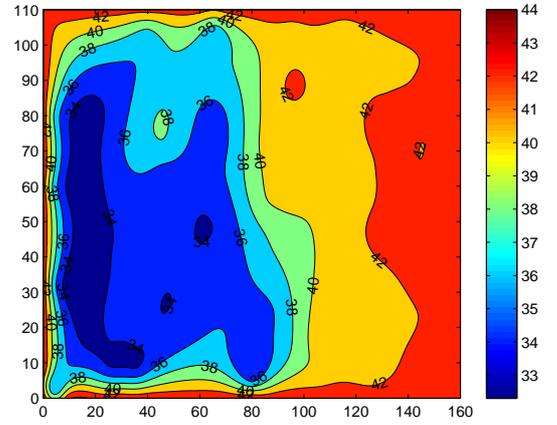
Figura 5.3.06: Ano 2005 - Dia: 19 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

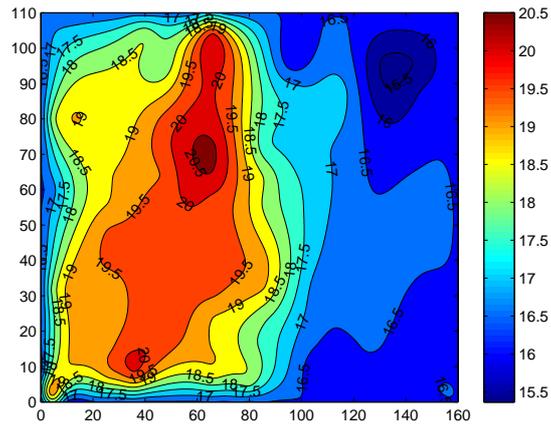
T - Temperatura (°C)



HR - Humidade Relativa (%)



WBGT – Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

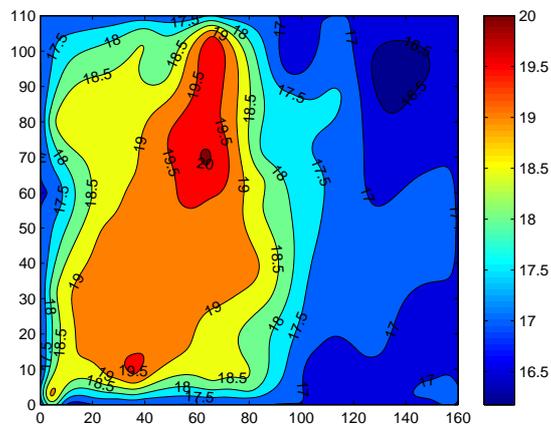
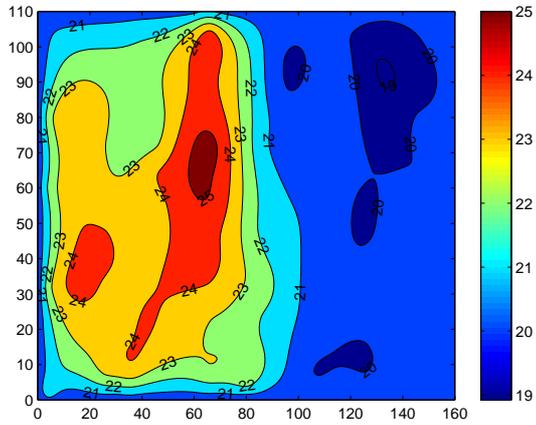


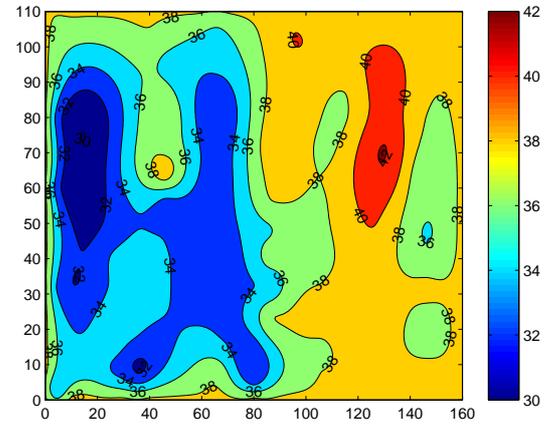
Figura 5.3.07: Ano 2005 – Dia 20 de Dezembro 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

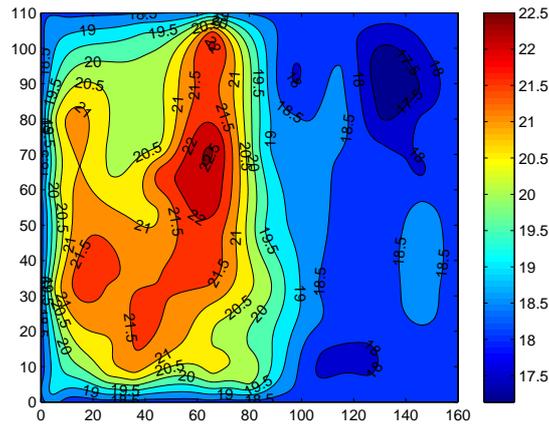
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



HR - Humidade Relativa (%)



$WBGT$ - Wet Bulb Globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura - Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

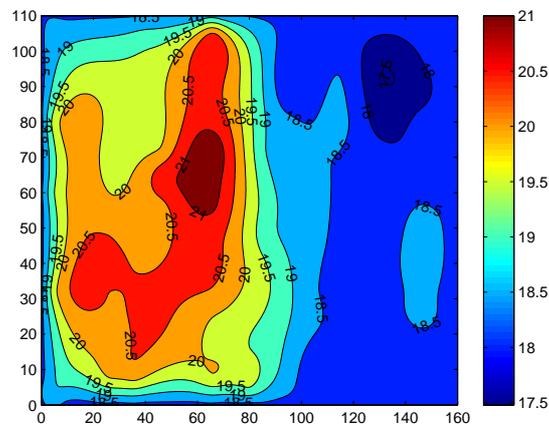
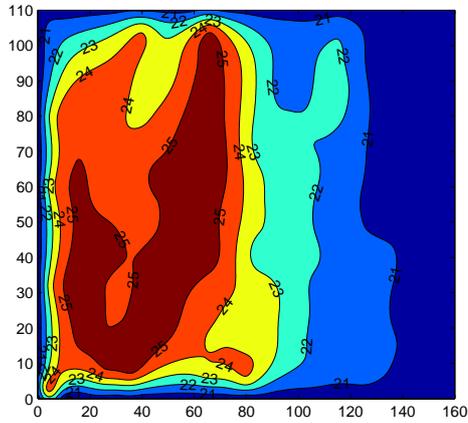


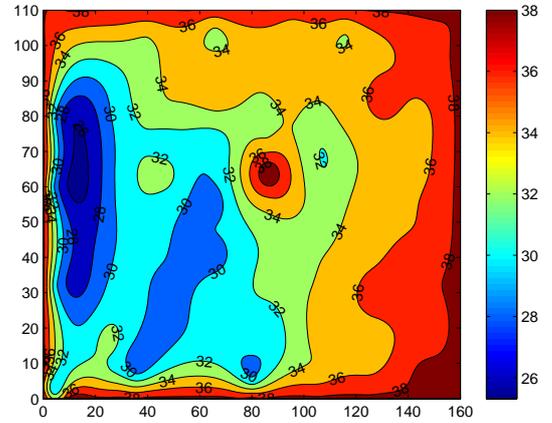
Figura 5.3.08: Ano 2005 - Dia: 21 de Dezembro 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

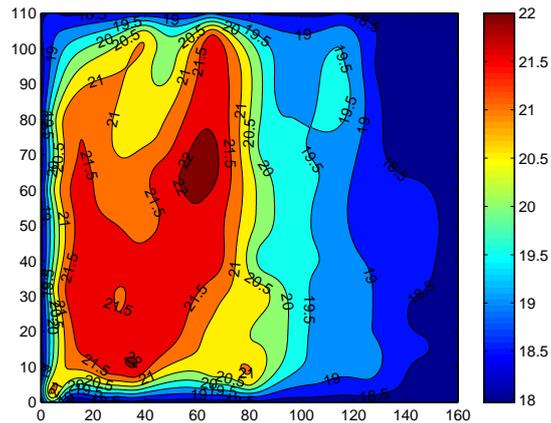
T - Temperatura (°C)



HR - Humidade Relativa (%)



WBGT – Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

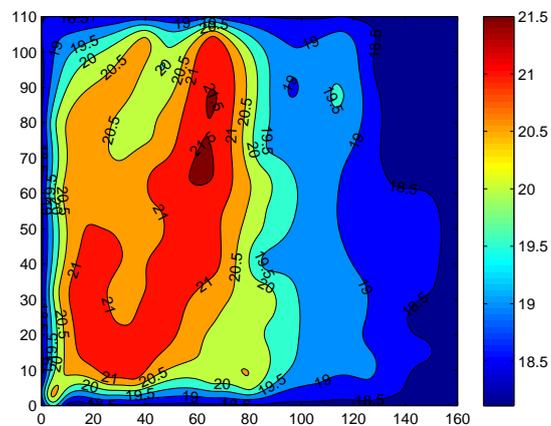
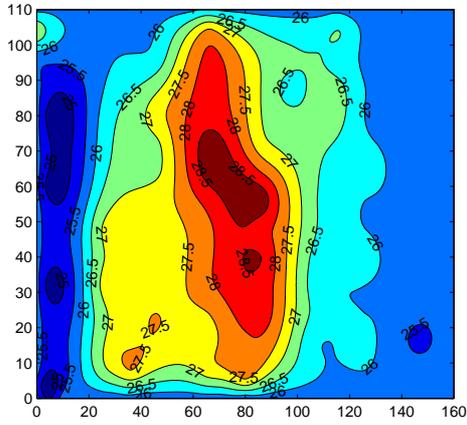


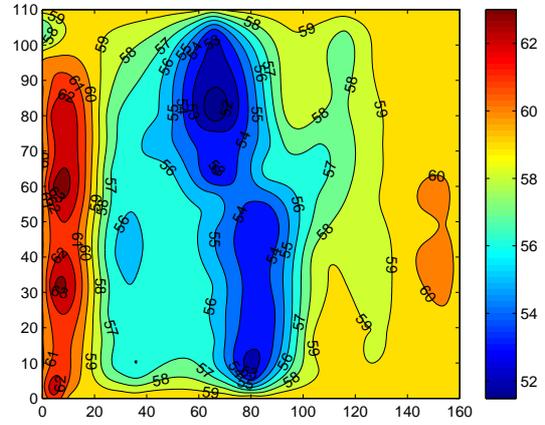
Figura 5.3.09: Ano 2005 – Dia: 21 de Dezembro 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

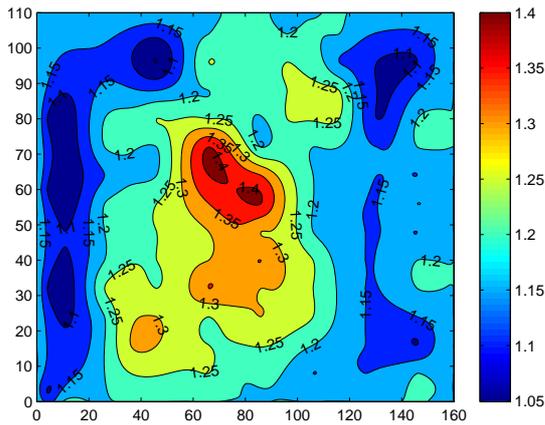
T - Temperatura (°C)



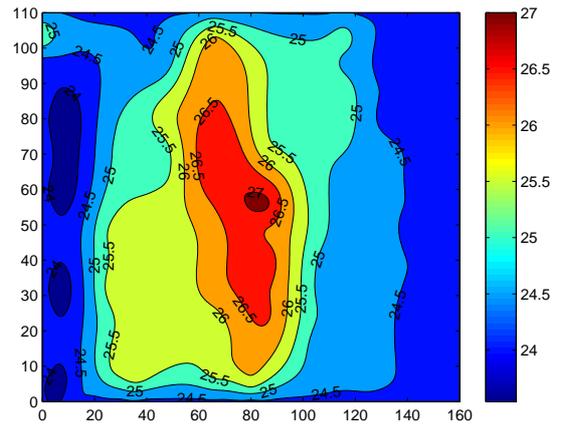
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



WBGT - Wet Bulb Globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura - Humidade (°C)

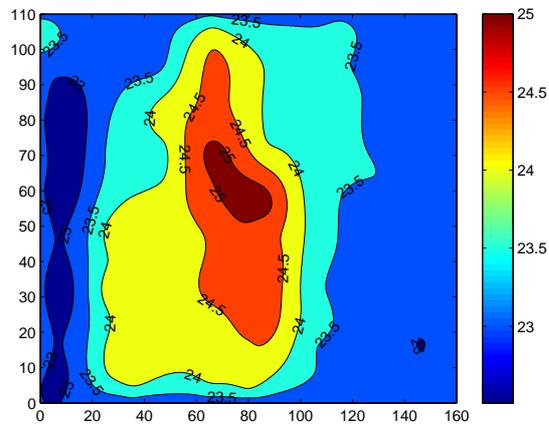
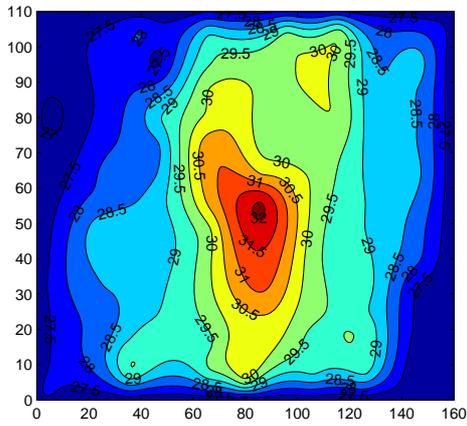


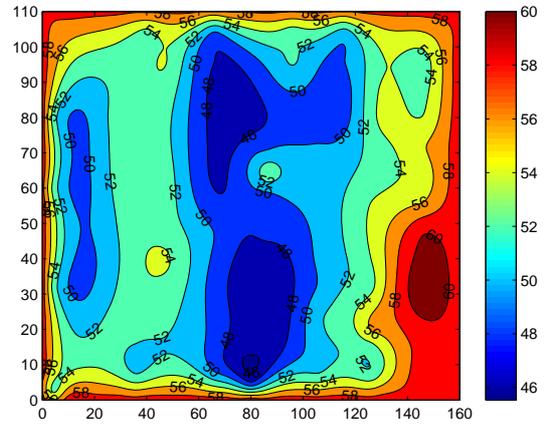
Figura 5.3.10: Ano 2006 – Dia: 11 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

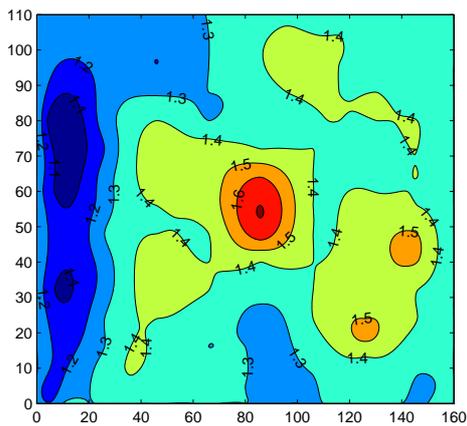
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



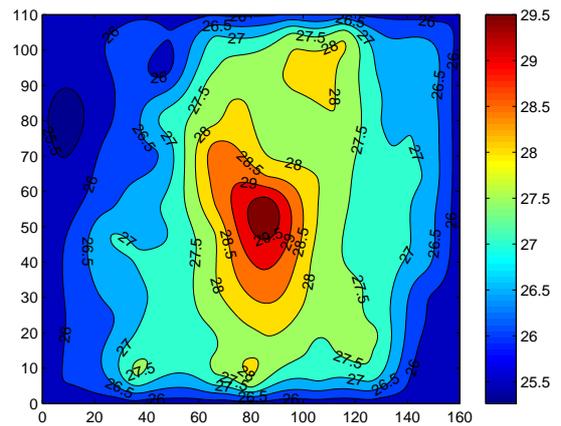
HR - Humidade Relativa ($^{\circ}\text{C}$)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura – Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

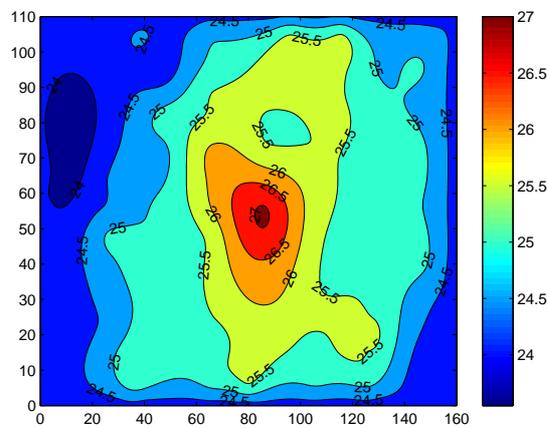
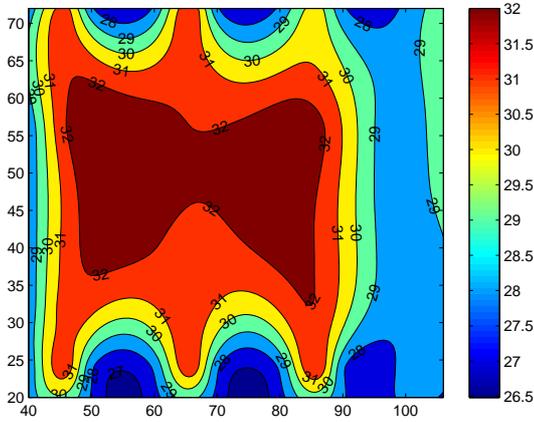


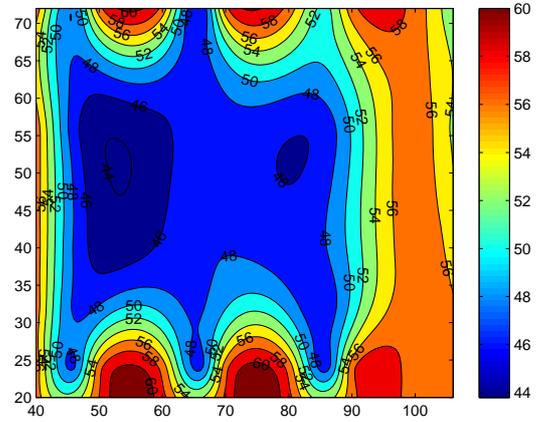
Figura 5.3.11: Ano 2006 – Dia: 11 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

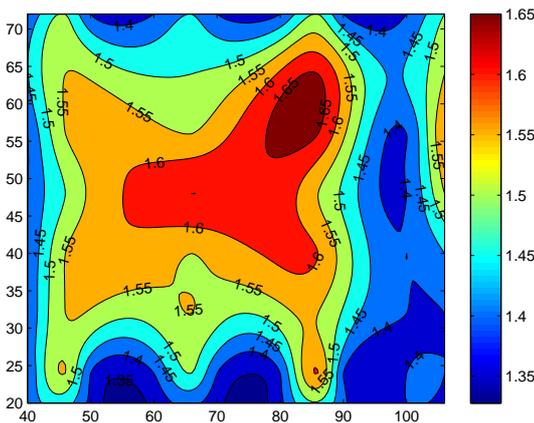
T - Temperatura (°C)



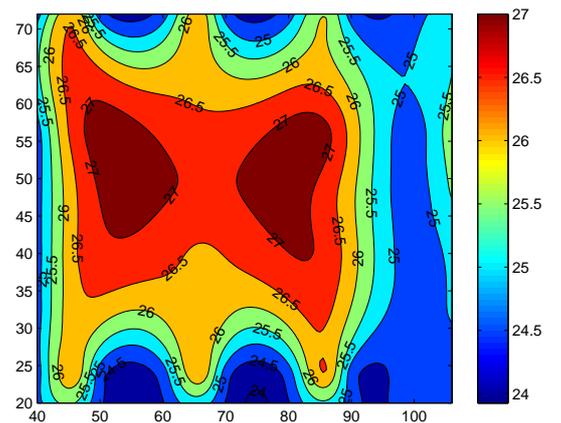
HR - Humidade Relativa (%)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

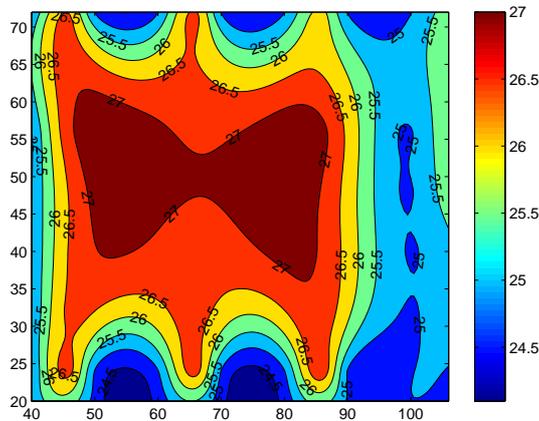
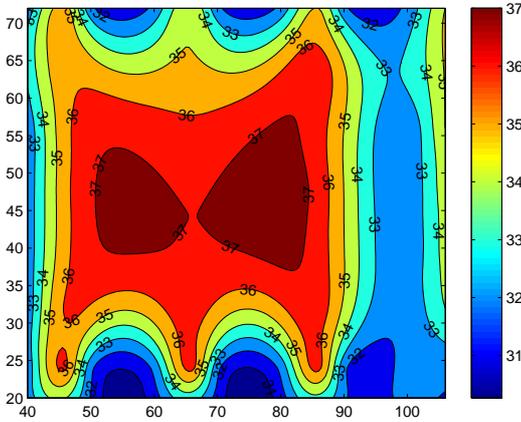


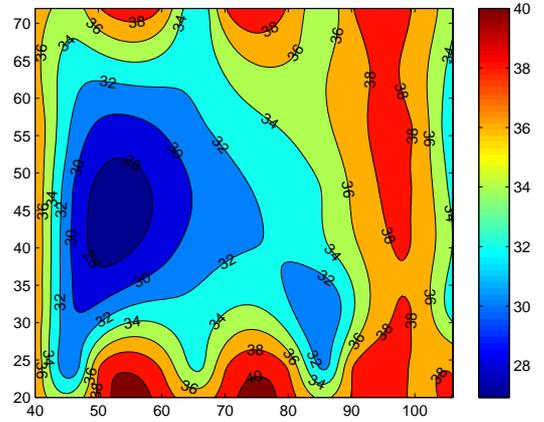
Figura 5.3.12: Ano 2006 – Dia: 12 de Julho 03:00 p.m.

AMBIENTE CV

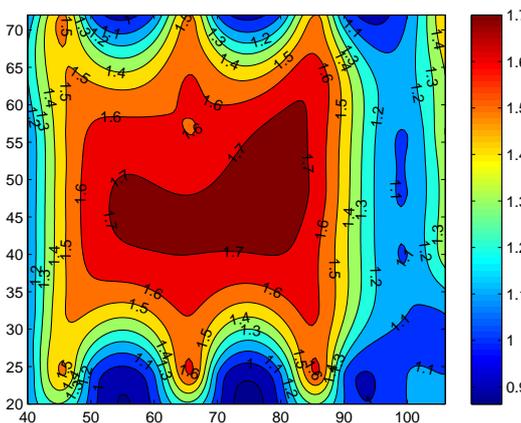
T - Temperatura (°C)



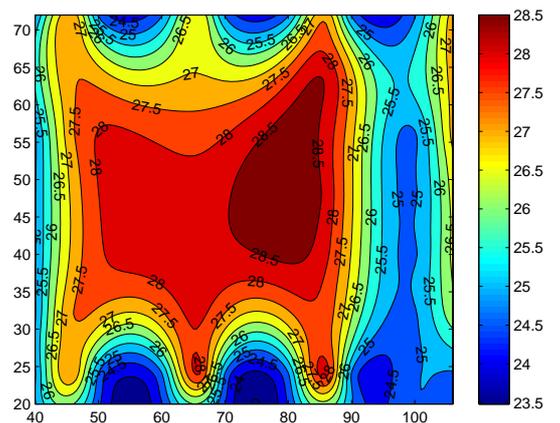
HR - Humidade Relativa (°C)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb globe Temperature (°C)



ITH - Índice Temperatura – Humidade (°C)

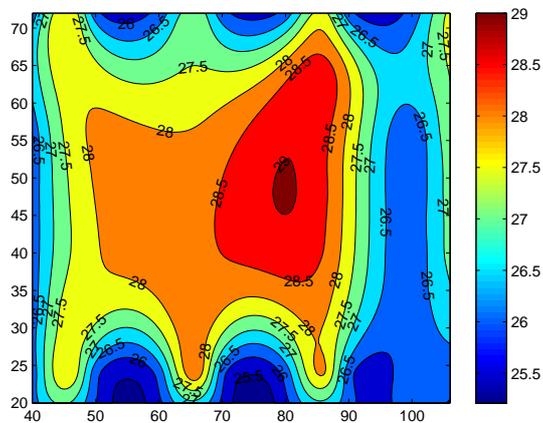
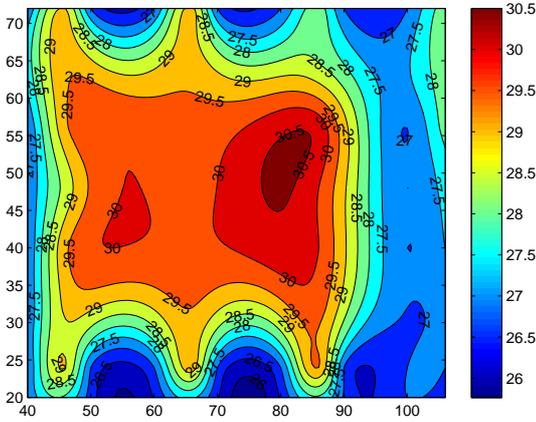


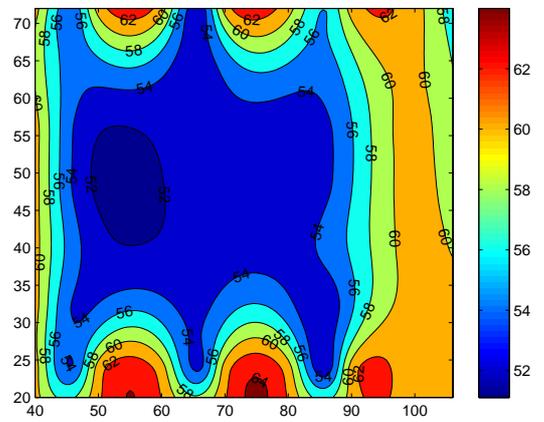
Figura 5.3.13: Ano 2006 – Dia: 14 de Julho 10:00 a.m.

AMBIENTE CV

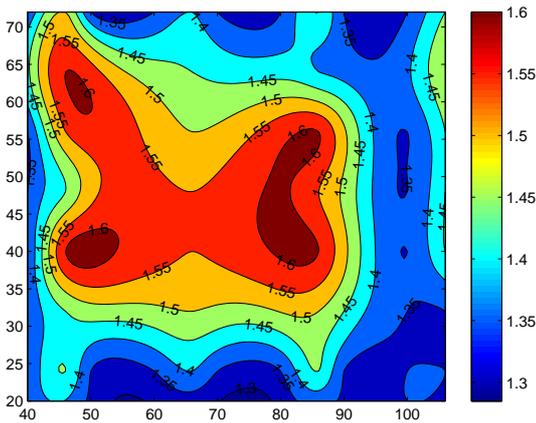
T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)



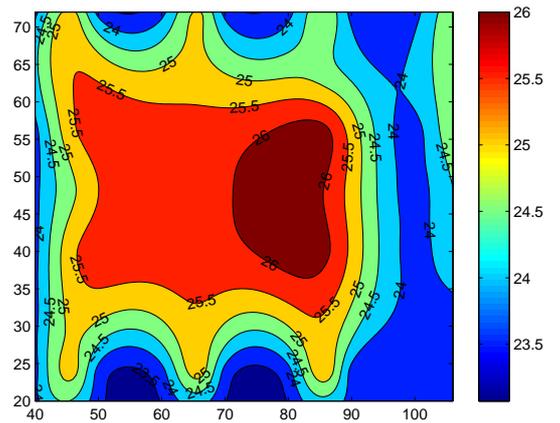
HR - Humidade Relativa ($^{\circ}\text{C}$)



IC - Índice de Conforto



$WBGT$ - Wet Bulb globe Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



ITH - Índice Temperatura – Humidade ($^{\circ}\text{C}$)

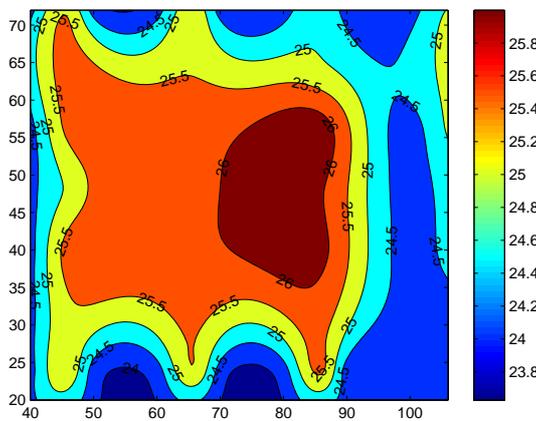


Figura 5.3.14: Ano 2006 – Dia: 19 de Julho 10:00 a.m.

Talaia e Rodrigues (2007) mostraram que para as subzonas mais vulneráveis a índices de stress térmico muito altos é necessário adoptar medidas de prevenção.

Estas subzonas são influenciadas pela elevada potência eléctrica do equipamento instalado junto ao operário. Foram investigados diversos postos de trabalho, em que o operário teve de registar vários elementos de duas em duas horas.

Para o dia 19 de Julho de 2006, tipicamente considerado anormal, a Tabela 5.3.01 mostra os valores registados e calculados no posto de trabalho (por opção chamado de 46) que sugere condições de desconforto significativas.

Tabela 5.3.01: Posto de Trabalho nº 46

	12h00	14h00	16h00	18h00
T (°C)	31	31,5	32,0	35,0
E_{AS}	2	2	2	2
E_{COR}	2,71	2,71	2,90	2,92
IC	1,8	1,7	1,7	1,9
$WBGT$ (°C)	27,8	28,1	28,1	28,8

Na Tabela 5.3.01, E_{AS} representa a escala sétima discreta de sensação térmica (ASHRAE 55, 2004) e os valores indicam sensação quente. E_{COR} representa a escala de sensação por escala de cor feita através do questionário.

Para as 16h00 e 18h00 o operador regista 2.90 e 2,92, valores muito próximos do valor máximo 3 considerado pelas normas ISO, ambiente muito quente. Fisicamente falando, nestas condições o ar húmido tornou-se mais seco pelo aumento da temperatura do ar circundante ao posto de trabalho devido basicamente à influência da radiação solar e da energia cedida pelas máquinas. Na prática, quando uma massa de ar aumenta de temperatura, torna-se mais secante e conseqüentemente a humidade relativa diminui. O operador sente desconforto e sensação de queima de pele.

Interessante é verificar que os valores registados pelos operadores no posto de trabalho estão em concordância com os valores indicadas na norma e calculados para o índice $WBGT$ ou IC .

Por parecer interessante, também se achou oportuno apresentar os dados registados para o posto de trabalho (por opção chamado de 57).

Tabela 5.3.02: Posto de trabalho nº 57

	12h00	14h00	16h00	18h00	20h00
T (°C)	31.3	32.8	35.4	36.3	34.7
T_w (°C)	24.1	24.2	23.3	23.7	23,5
HR (%)	52.9	46.7	32.8	31.7	36.0
$WBGT$ (°C)	27,3	27,8	28,0	28,5	27,9
E_{AS}	2	2	2	2	2
E_{COR}	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5

Os valores indicados na Tabela 5.3.02 mostram a dinâmica do valor de cada variável ao longo do dia e são concordantes. Às 18h00, regista-se o “pico” de stress térmico.

Nestes termos, pode-se concluir que as “piores” condições de stress térmico se registam entre as 16h00 e 20h00.

A comparação entre a Tabela 5.3.01 e Tabela 5.3.02 mostra de maneira inequívoca, que a metodologia adoptada nesta investigação para avaliar a performance de um posto de trabalho é adequada, não só através da informação colhida pela interpretação do valor do índice calculado mas também através da sensação térmica do operários. Será interessante afirmar que os valores registados pelos operários, de um modo geral, estão acima do valor indicado pela norma o que suscita um grande interesse em se considerar, nos modelos usados, um factor inerente à opinião pessoal dos operários.

Toda a análise desenvolvida anteriormente considerou um ambiente interior. Assim, considerou-se oportuno aplicar dois índices de conforto (ITH e ITE) ao ambiente exterior circundante à nave. O resultado é mostrado na Figura 5.3.15. Nesta figura são indicadas duas linhas, uma de cor vermelha representando o índice ITH , a cor azul o índice ITE e os pontos circulares vermelhos os valores mais elevados de ITH para o interior da nave na zona confinada a stress térmico.

A observação visual da Figura 5.3.15 mostra, como era esperado, uma excelente concordância entre os valores avaliados pelos dois índices, o que garante que ambos oferecem a mesma indicação acerca do ambiente estudado. Os valores pontuais

calculados para o interior da nave, ou para as 10:00 a.m. ou 03:00 p.m. são superiores o que mostra um maior desconforto, por efeito de estufa.

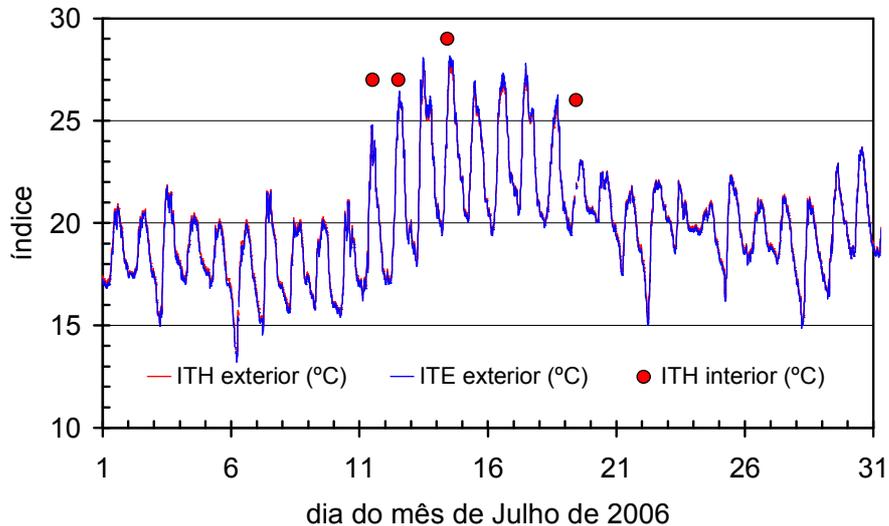


Figura 5.3.15: Sensação térmica no interior e exterior da nave (Julho de 2006)

Finalmente, pode-se afirmar que esta investigação permitiu detectar zonas de stress térmico que permitirão no futuro à T.D.H.S.T a tomada de medidas estratégicas. Interessante é que a zona estudada com maior pormenor era a zona onde estavam os operadores com o maior número de queixas de “calor”.





6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do desenvolvimento desta investigação identificaram-se alguns problemas que podem dificultar estudos reais da avaliação do ambiente térmico em ambiente laboral. O primeiro deles, e tal como é corroborado pela EU-OSHA (2005), é a falta de estudos sobre ambiente térmico em contexto real de trabalho que possibilita a intervenção directa do operário. Este facto impossibilita um levantamento real e identificação de todos os “problemas” bem como a adopção de medidas viáveis a serem implementadas. O segundo problema identificado prende-se com a dificuldade que os T.S.H.S.T. sentem em aplicar as metodologias referidas nas normas internacionais, bem como no custo elevado que esse tipo de metodologias confere. Esta observação foi também identificada no trabalho realizado por Neto (2003), em que refere que “o sucesso destas regulamentações está directamente ligado à coerência e simplicidade das metodologias adoptadas para a avaliação do desempenho térmico”.

Estes dois problemas conjugados estão na base da escassez de avaliações contínuas de ambiente térmico, pelo D.S.H.T em unidades fabris, cruciais para o estabelecimento de medidas de controlo de situações de stress térmico.

Esta investigação pretende mostrar como uma metodologia que se considera simples do nosso ponto de vista, por recorrer a instrumentos de fácil aquisição ou construção, permite a avaliação do ambiente térmico e a detecção de zonas vulneráveis a stress térmico.

Esta investigação também mostrou que só uma avaliação contínua permite uma avaliação correcta do ambiente térmico. De facto, no caso específico das naves industriais estudadas, o ambiente térmico que no início reunia maior volume de informação negativa por parte dos operários no D.H.S.T revelou ter uma zona sujeita a stress térmico por acção do calor, mas que na prática, devido à movimentação do operador, não deveria ser demasiado valorizado, dado o operador só se fixar na zona de elevado stress poucos minutos.

No geral, a análise dos índices de stress térmico usados permitiu concluir que a nave que possuía valores mais elevados de condições para stress térmico pertencia ao AMBIENTE CV. Neste ambiente e para a zona vulnerável os operários estão sujeitos a

permanência continua a condições de stress térmico. Para este último caso, e de acordo com as informações dadas pela W.M.O, os operários encontram-se perto da situação limite do trabalho de 8 horas contínuo.

Esta investigação revelou igualmente o papel crucial dos operários na avaliação do ambiente térmico, e como esta pode ser grandemente favorecida pela sua participação directa. Por um lado, a utilização dos questionários permitiu avaliar as expectativas e a forma como estes se relacionam com o ambiente podendo constituir uma forma adicional de avaliar o processo de aclimatização. Por outro lado, colocando um psicrómetro em cada posto de trabalho é possível a adopção de estratégias diferenciadas e pessoais. No caso do ambiente térmico em causa, algumas das medidas poderão ser nomeadamente a utilização de sistemas de ventilação apropriados, cobertura com painéis reflectores, sistema de irrigação aérea de água, extractores de ar quente, selecção de diferente tipo de vestuário e correcta hidratação do organismo.

Em trabalhos futuros, pretende-se construir um software que permita fazer simulações e calcular diferentes índices de stress térmico por acção do calor e do frio, favorecendo o balanço térmico. A informação dos operadores seria incorporada e valorizada, sendo os resultados comparados com valores disponíveis na literatura da especialidade, como por exemplo artigos de estudo de caso, normas e regulamentação nacional.

Estudos deste tipo são importantes porque permitem ao T.S.H.S.T, a adopção atempada de medidas correctivas minimizando desta forma possíveis quebras de produtividade ou episódios de falência física de operários.

Estão a ser criadas condições para se estender esta investigação a outras unidades fabris, de pequena, média e grande dimensão.

Pretende-se no futuro desenvolver investigação em unidades fabris cuja preocupação seja a detecção de zonas vulneráveis a stress térmico por acção do frio.

Por último não deixa de ser interessante a interdisciplinaridade que este tipo de investigação cria, nomeadamente na Medicina do Trabalho, na Indústria e na Meteorologia.





7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE 55 (2004). Standards ASHRAE 55, *Thermal environmental conditions for human occupancy*, ISBN/ISSN: 1041-2336 pp. 35.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (2001). *Handbook of Fundamentals - Physiological Principles for Comfort and Health*, Chapter 8, Atlanta, pp. 1-32.

APERGO (2007) Ergonomia, disponível no Sítio Oficial da APERGO <http://www.apergo.pt/index.php> (última visita 03/06/2007).

Bawa, J. (1997). *Computador e saúde*. Tradução Eduardo Farias I. Sammus, São Paulo, pp. 230.

Belding and Hatch (1955). Index for evaluating heat stress in terms resulting physiological strain. *Heating piping Air Condit*, 27, pp. 29-136.

Calleja, A. (1999). *Ambiente térmico: inconfort térmico local*, disponível no Sítio Oficial do M.T.S.A - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. http://www.ucm.es/info/seas/estres_lab/enciclo/indice_gral.htm (última visita: 16/05/2006)

Castillo e Vilhena (2005) *Confort térmico – Método de Fanger para su evaluación* disponível no Sítio Oficial do M.T.S.A - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. http://www.ucm.es/info/seas/estres_lab/enciclo/indice_gral.htm (última visita: 16/05/2006)

Charles, K. (2003). *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*, 10 de Outubro, disponível em <http://irc.nrc-crnc.qc.ca/ircpubs> (última visita: 08/03/2006)

Comissão das Comunidades Europeias (2007), *COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU E AO COMITÉ DAS REGIÕES: Melhorar a qualidade e a produtividade do trabalho: estratégia comunitária para a saúde e a segurança no trabalho 2007-2012*, SEC(2007) 214 e SEC(2007) 215 e SEC(2007) 216 – Versão Portuguesa, COM(2007) 62 final, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Corleto, R. (1998). *The evaluating of Heat Stress indices using physiological comparisons in an alumina refinery in a sub-tropical climate*, Master Science Thesis, Faculty, Faculty of Science and Technology at Deakin University, Geelong, Australia, pp 176.

Decreto – Lei nº 78/2006 (2006). Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Ministério da Economia e da Inovação. Diário da República N° 67, I série A de 4 de Abril, pp. 2411-2415.

Decreto – Lei nº 79/2006 (2006). Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, pp. 2416-2468.

Decreto – Lei nº 80/2006 (2006). Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, pp. 2468-2514.

Dossat, R.J. (1980). *Manual de Refrigeração*, John Wiley and Sons Inc., Hemus Editora, vol. 9, pp. 214.

Dubois, D. and Dubois, E.F. (1916). A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. *Archives of Internal Medicine*, 17, pp. 863-875.

Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR). *Building and Environment*, 40, pp. 1591-1601.

EU-OSHA (2005^a). *Expert forecast on emerging physical risks related to occupational safety and health – Risk Observatory*. Editor William Cockburn, ISBN 92-9191-165-8, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

EU-OSHA (2005^b). *Previsões de peritos sobre os riscos físicos emergentes associados à segurança e saúde no trabalho*. IN, Revista FACTS – Versão Portuguesa, nº 60, ISSN 1681-2166.\

Fanger, P (1972). *Thermal Comfort*. 2ª Edição, McGraw-Hill, New-York.

Grandjean, E. (1998). *Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem*. 4ª Edição (traduzida por Stein J.), Edição Artes Médicas, Porto Alegre, Brasil.

Givonni B. and Goldman, R.F. (1973). Predicting heart rate response to work, environment and clothing. *J. App. Physiological*, 34 (2), pp. 201-204.

Holmer I. (1984). Required clothing insulation (IREQ) as a analytical index of cold stress. *ASHRAE Transactions*, 90 (1b), pp. 1116-1128.

Houghten and Yaglou (1923). *ASHVE Researche Report No 673*. ASHVE Transactions 29:361

International Organization for Standardization (1998). ISO 7726/1998, *Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse.

International Organization for Standardization (2005). ISO 7730/2005, *Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse.

International Organization for Standardization (1989). ISO 7243/1989, *Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse.

International Organization for Standardization (1995). ISO 10551/1995, *Ergonomics of thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse

Krüger, E., Dumke, E. and Michaloski, A. (2001). *Sensação de Conforto Térmico: respostas dos Moradores da Vila Tecnológica de Curitiba*, VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais do VI ENCAC (CD-ROM), São Pedro – São

Paulo, Brasil, UNICAMP/UFSCar/Associação Nacional de tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), Volume 1, pp. 1-7.

Kvisgaard B. (1997). *Thermal Comfort*. INNOVA Air Tech Instruments A/S, Copenhagen, Dinamarca.

Lamberts, R. (2002). *Conforto Térmico e Stress Térmico*, LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Lorsch H. and Abdou, O. (1984). The impact of the building indoor environment on occupant productivity, *ASHRAE Transactions*, vol. 100.

Lutgens, F. and Tarbuck, E. (1998), *The Atmosphere: an introduction to meteorology*, 7ª Edition, Prentice Hall, New Jersey.

McIntosh, D.H. and Thon, A.S. (1981). *Essentials of meteorology*. Taylor and Francis. Ltd. The Hykeham Science Series, London.

Markov D. (2002). *Practical Evaluation of the Thermal Comfort parameters*. Annual International Course: Ventilation and Indoor climate, Sofia, Bulgária, P. Stankov (Ed), ISBN: 954-9782- 27-1, pp. 158-170.

Martinet C. and Meyer J.P. (1999). *Travail à la chaleur et confort thermique*, [Versão electrónica], disponível em [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ns%20184/\\$file/ns184.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ns%20184/$file/ns184.pdf) - Sitio Oficial do Institut National de Recherche et de Sécurité (última visita: 03/07/2006).

McCutchan, J.W. and Taylor C.L (1951). Respiratory heat exchange with varying temperature and humidity of inspired air. *Journal of Applied Physiological*, nº 4, pp. 121-135.

McNall, P.E., Jaax, J., Rohles, F.H., Nevins, R.G. and Springers W. (1967). Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity, *ASHRAE Trans*, nº 73.

Mendoza P. (1996). NTP 322: *Valoración del riesgo de estrés térmico – índice WBGT* disponível no Sitio Oficial do M.T.S.A - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales http://www.ucm.es/info/seas/estres_lab/enciclo/indice_gral.htm (última visita: 12/06/2006)

Miguel, A. (1998). *Segurança e Higiene do Trabalho*, Universidade Aberta, ISBN: 972-674-229-3, Lisboa, Portugal.

Mikani, C. and Amorim, M. (2005). *Características de temperatura e conforto térmico em ambiente urbano e rural: episódios de Verão*. In actas da VI Semana de Geografia: A Geografia e os paradigmas do século XXI, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP- Presidente Prudente, Brasil.

Morrisey, S. (1998). Work place design recommendations for the pregnant worker. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21, pp. 383-395.

M.T.S.A - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (2001). *Organización de Salud y Seguridad en el Trabajo - O.I.T.* Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 3ª edición, [Versão eletrónica], disponível no Sitio Oficial do M.T.S.A http://www.ucm.es/info/seas/estres_lab/enciclo/indice_gral.htm (última visita: 16/05/2006)

Neto, A. (2003). *Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações*, Tese de Mestrado em Energia, Universidade São Paulo, Brasil, pp. 199.

Nielsen, R. and Meyer J.P. (1987). Evaluation of metabolism in industrial worker. *Ergonomics*, 30, pp. 563-572.

Nieuwolt, S. (1977). *Tropical climatology*. Wiley, London: Wiley

Nilsson, H. (2004). *Comfort Climate Evaluation with Thermal manikin Methods and Computer Simulation Models*, Arbete och Hälsa, Elanders Gotab, ISBN 91- 7045 – 703 – 4 / ISBN 91 – 7283 – 693 – 8, Stockholm, Sweden.

NIOSH (1986). *Occupational exposure to hot environments*, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Publication N° 86-113, Washington D.C.

Pandolf, K.B. (1998). *Time course of heat acclimatation and its decay*, *Internation Journal of Medicine*, 19, pp. 51-55.

Prosser, C.L. (1958). *General summary: The nature of physiological adaptation*, *Physiological adaptation*, edited by C.L.Prosser, pp. 167-180.

Rodrigues B (1978). *A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral* In Revista do Instituto Nacional Meteorologia Geofísica (Volume 1 – nº 1, 5 - 71) Lisboa, Portugal, pp. 39-51.

Rodrigues, F.A.G. and Talaia, M.A.R. (2006). *Heat Stress Indicators in an Industrial Building*. Proceedings of the HB 2006 – Healthy Buildings. Editors Fernandes, E.O., Silva, M.G and Pinto, J.R., Vol. II Indoor Climate. ISBN 978-989-95067-0-8, Lisbon, pp.57-60.

Rodrigues, F.A.G. e Talaia, M.A.R. (2005). *O Organismo Humano e o Conforto Térmico*, Proceedings of the III Congresso Cubano de Meteorologia, CDROM, Havana, Cuba, paper CLI Rodrigues & Talaia.pdf, 9 pages.

Ruas A.C. (1999), *Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, pp. 156.

Ruas, A.C. (2002). *Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, pp. 196.

Sá, R (1999). Introdução ao “Stress Térmico” em Ambientes Quentes. *Revista Tecnometal*, 124, pp. 32-36.

Serway, R. and Beichner R. (2000) *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*, Saunders College Publishing, Fifth Edition, Orlando.

Silva, L.B. (2001). *Análise da relação entre a produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do Centro de Processamento de dados e cobrança da Caixa Econômica Federal do Estado de Pernambuco*. Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, pp. 124.

Sousa M., Leitão S., Pinto R., Sequeira P., Fernandes N. e Fernandes A. (2003). *Condições Ergonómicas dos Postos de Trabalho de Inspeção na Indústria Cerâmica*. In Actas de 3as Jornadas Politécnicas de Engenharia – 19 a 20 Novembro, ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Stoops, J. (2004). *A possible connection between thermal comfort and health*, (this paper is posted at the eScholarship Repository - Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California) [Versão electrónica], disponível em <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-55134> (última visita: 13/04/2006)

Talaia, M.A.R. (2004). *O Conforto Humano e as Alterações Ambientais*. In Proceedings of the XXVIII Jornadas Científicas, La Meteorologia y El Clima Atlânticos, 5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorologia: La Meteorologia y Climatologia en los Sectores Público y Privado. CDROM, ISBN: 84-8320-261-1, Badajoz, Espanha, pp. 474-483.

Talaia, M.A.R. e Rodrigues, F.G. (2007) *O Papel do Ambiente Térmico na Ergonomia*. Actas da 9ª Conferência Nacional do Ambiente. ISBN 978-972-789-230-3, Aveiro, pp. 91-97.

Talaia, M.A.R. e Rodrigues, F.A.G. (2006) *O Organismo Humano num Ambiente de Stress Térmico – caso de uma área com fornos*, Actas das XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española “Aplicaciones Meteorológicas” & 7º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología “Meteorología y Eficiencia Energética”, Pamplona, Sesión 1: Aplicaciones Meteorológicas, CDROM Editado por Asociación Meteorológica Española ISBN-13:978-84-611-1490-0, Madrid, paper A25-trabajo Talaia y Rodrigues.pdf, 5 páginas.

Thom, E.C (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12 (1), pp. 57-60.

Tonon S.C. (1987). *Tenossinovite ocupacional: tratamento, terapias e ocorrência em digitalizadores bancários de Florianópolis*. Proceedings of 4º Congresso Latino-americano de Ergonomia; 8º Congresso Brasileiro de Ergonomia, Florianópolis, Brasil.

Tromp, S.W. (1980). *Biometeorology, The Impact of the Weather and the Climate on Humans and Their Environment*. Heyden International Topics in Science, London.

Varejão, M. (2005). *Meteorologia e Climatologia*. 2ª Edição, INMET. Brasília.

W.M.O. (1987). *World Climate Programme Applications, Climate and Human Health*. World Meteorological Organization

Yaglou P. and Minard, D. (1957). Control of heart casualties at military training camps. *Am A Arch, Ind. Health*, 16, pp. 302-316.





ANEXOS

Anexo 1

Constantes utilizadas para valores típicos para o ar seco e para o vapor de água (McIntosh and Thom, 1981)

Ar seco:

Calor específico a volume constante:

$$(c_v)_a = 718 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 0.171 \text{ cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1} = 20.8 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Calor específico a pressão constante:

$$(c_p)_a = 1005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 0.240 \text{ cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1} = 29.1 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Constante particular para o ar seco:

$$R_a = (c_p)_a - (c_v)_a = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Vapor de água:

Calor específico a volume constante:

$$(c_v)_w = 1390 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 0.332 \text{ cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Calor específico a pressão constante:

$$(c_p)_w = 1850 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} = 0.443 \text{ cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Constante particular para o vapor de água

$$R_w = (c_p)_w - (c_v)_w = 460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Anexo 2

**Pressão de Saturação do vapor de água (mb) em relação a uma superfície plana de água pura
(Varejão, 2005)**

t°C	Décimos de Temperatura				
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
-15	1,9118	1,8805	1,8496	1,8191	1,7892
-14	2,0755	2,0418	2,0085	1,9758	1,9435
-13	2,2515	2,2153	2,1795	2,1444	2,1097
-12	2,4409	2,4019	2,3635	2,3256	2,2883
-11	2,6443	2,6024	2,5612	2,5205	2,4804
-10	2,8627	2,8178	2,7735	2,7298	2,6868
-9	3,0971	3,0489	3,0013	2,9544	2,9082
-8	3,3484	3,2967	3,2457	3,1955	3,1459
-7	3,6177	3,5623	3,5077	3,4539	3,4008
-6	3,9061	3,8469	3,7884	3,7307	3,6738
-5	4,2149	4,1514	4,0888	4,0271	3,9662
-4	4,5451	4,4773	4,4103	4,3443	4,2791
-3	4,8981	4,8256	4,7541	4,6835	4,6138
-2	5,2753	5,1979	5,1214	5,0460	4,9716
-1	5,6780	5,5953	5,5138	5,4332	5,3537
-0	6,1078	6,0190	5,9325	5,8466	5,7617
+ 0	6,1078	6,1971	6,2876	6,3793	6,4721
1	6,5662	6,6614	6,7579	6,8556	6,9545
2	7,0547	7,1563	7,2590	7,3631	7,4685
3	7,5753	7,6834	7,7928	7,9036	8,0158
4	8,1295	8,2445	8,3610	8,4789	8,5983
5	8,7192	8,8416	8,9655	9,0909	9,2179
6	9,3465	9,4766	9,6083	9,7417	9,8766
7	10,0132	10,1515	10,2915	10,4331	10,5765
8	10,7216	10,8685	11,0171	11,1676	11,3198
9	11,4739	11,6298	11,7876	11,9472	12,1088
10	12,2723	12,4377	12,6051	12,7745	12,9458
11	13,1192	13,2946	13,4721	13,6517	13,8334
12	14,0172	14,2031	14,3912	14,5815	14,7740
13	14,9688	15,1658	15,3650	15,5666	15,7705
14	15,9767	16,1853	16,3963	16,6097	16,8255
15	17,0438	17,2646	17,4878	17,7136	17,9420
16	18,1730	18,4065	18,6427	18,8815	19,1230
17	19,3672	19,6142	19,8639	20,1164	20,3717
18	20,6298	20,8908	21,1546	21,4215	21,6912
19	21,9639	22,2396	22,5183	22,8001	23,0850

Anexo 2 (Continuação)

Pressão de Saturação do vapor de água (mb) em relação a uma superfície plana de água pura
(Varejão, 2005)

t°C	Décimos de Temperatura				
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
20	23,3729	23,6641	23,9583	24,2559	24,5566
21	24,8605	25,1678	25,4783	25,7922	26,1095
22	26,4302	26,7543	27,0819	27,4130	27,7477
23	28,0858	28,4277	28,7730	29,1221	29,4749
24	29,8314	30,1916	30,5556	30,9235	31,2953
25	31,6708	32,0504	32,4339	32,8214	33,2129
26	33,6085	34,0082	34,4120	34,8200	35,2322
27	35,6486	36,0694	36,4944	36,9239	37,3577
28	37,7959	38,2386	38,6858	39,1376	39,5939
29	40,0548	40,5205	40,9908	41,4659	41,9457
30	42,4304	42,9199	43,4142	43,9136	44,4180
31	44,9273	45,4419	45,9613	46,4861	47,0160
32	47,5511	48,0916	48,6373	49,1884	49,7449
33	50,3069	50,8744	51,4473	52,0260	52,6103
34	53,2001	53,7958	54,3971	55,0045	55,6176
35	56,2365	56,8616	57,4925	58,1296	58,7727
36	59,4220	60,0775	60,7392	61,4073	62,0817
37	62,7625	63,4498	64,1435	64,8438	65,5508
38	66,2643	66,9845	67,7115	68,4454	69,1861
39	69,9336	70,6883	71,4498	72,2186	72,9945
40	73,7774	74,5677	75,3652	76,1701	76,9825
41	77,8021	78,6295	79,4644	80,3069	81,1572
42	82,0150	82,8809	83,7543	84,6360	85,5256
43	86,4231	87,3288	88,2426	89,1647	90,0951
44	91,0337	91,9811	92,9364	93,9007	94,8735
45	95,8548	96,8449	97,8438	98,8515	99,8682
46	100,8940	101,9280	102,9720	104,0250	105,0880
47	106,1590	107,2400	108,3300	109,4300	110,5400
48	111,6590	112,7870	113,9260	115,0740	116,2330
49	117,4010	118,5800	119,7680	120,9670	122,1760
50	123,3950	124,6250	125,8650	127,1160	128,3780
51	129,6500	130,9330	132,2270	133,5310	134,8470
52	136,1740	137,5120	138,8610	140,2220	141,5940
53	142,9780	144,3730	145,7790	147,1980	148,6280
54	150,0700	151,5240	152,9900	154,4680	155,9580

Anexo 3**Taxas metabólicas propostas pela norma ISO 7730 (2005)**

Actividade	Taxa Metabólica	
	W/m ²	met
Relaxado, deitado	46	0,8
Relaxado, sentado	58	1,0
Relaxado, de pé	70	1,2
Actividade Ligeira, (escritório, domicilio, escola e laboratório)	70	1,2
Actividade de pé (compras, laboratório, indústria ligeira)	93	1,6
Actividade de pé (vendedor, trabalho doméstico, trabalho com uma máquina)	116	2,0
Actividade de médio esforço (trabalho pesado com uma máquina, trabalho de garagem)	165	2,8

Anexo 4

Resistência térmica individual de algumas peças de vestuário, propostas pela norma ISO 7730 (2005)

Tipo de vestuário	Resistência térmica individual	
	m ² .°C/W	clo
Nú	0	0
Calções	0,015	0,1
Vestuário tropical: (roupa interior, calções, camisa de mangas curtas, meias de tecido leve e sandálias)	0,045	0,3
Vestuário de Verão ligeiro. (roupa interior, calças de tecido leve, camisa de mangas curtas, meias de tecido leve e sapatos)	0,08	0,5
Vestuário de trabalho (roupa interior, camisa de trabalho de mangas compridas de algodão, calças de trabalho, meias de lã e sapatos)	0,11	0,5
Vestuário de Inverno (roupa interior, camisa de mangas compridas, calças, camisola de mangas longas, meias de lã e sapatos)	0,16	1,0
Vestuário de Inverno rigoroso (roupa interior, camisola interior de mangas longas, camisa de mangas longas, calças e casaco, meias de lã, sapatos/botas)	0,23	1,5

Anexo 5

Tabelas para a determinação do *PMV* a uma humidade relativa de 50%
ISO 7730 (2005)

E.5 Niveau d'activité: 104,4 W/m² (1,8 met)

Vêtement		Température opérative °C	Vitesse relative m/s									
clo	m ² · °C/W		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00		
0	0	22	-1,06	-1,06	-1,19	-1,46						
		23	-0,70	-0,70	-0,96	-1,11						
		24	-0,36	-0,36	-0,53	-0,75						
		25	-0,01	-0,01	-0,20	-0,40						
		26	0,32	0,32	0,13	-0,04						
		27	0,68	0,63	0,46	0,32						
		28	0,99	0,94	0,80	0,68						
		29	1,31	1,25	1,13	1,04						
		0,25	0,039	16	-1,79	-1,79	-1,96	-2,09	-2,46			
18	-1,28			-1,28	-1,38	-1,58	-1,90	-2,16	-2,37			
20	-0,78			-0,76	-0,89	-1,06	-1,34	-1,56	-1,75	-2,39		
22	-0,24			-0,24	-0,38	-0,53	-0,76	-0,95	-1,10	-1,65		
24	0,28			0,28	0,13	0,01	-0,18	-0,33	-0,46	-0,90		
26	0,79			0,76	0,64	0,55	0,40	0,29	0,19	-0,15		
28	1,29			1,24	1,16	1,10	0,99	0,91	0,84	0,60		
30	1,79			1,73	1,68	1,65	1,59	1,54	1,50	1,36		
0,50	0,078			14	-1,42	-1,42	-1,50	-1,66	-1,91	-2,10	-2,25	
		16	-1,01	-1,01	-1,10	-1,25	-1,47	-1,64	-1,77	-2,23		
		18	-0,59	-0,59	-0,70	-0,83	-1,02	-1,17	-1,29	-1,69		
		20	-0,18	-0,18	-0,30	-0,41	-0,58	-0,71	-0,81	-1,15		
		22	0,24	0,23	0,12	0,02	-0,12	-0,22	-0,31	-0,60		
		24	0,66	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26	0,19	-0,04		
		26	1,07	1,03	0,96	0,91	0,82	0,75	0,69	0,51		
		28	1,48	1,44	1,39	1,36	1,29	1,24	1,20	1,07		
		0,75	0,116	12	-1,15	-1,15	-1,23	-1,36	-1,53	-1,67	-1,78	-2,13
14	-0,81			-0,81	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70		
16	-0,46			-0,46	-0,58	-0,68	-0,80	-0,91	-1,00	-1,28		
18	-0,12			-0,12	-0,22	-0,31	-0,43	-0,53	-0,61	-0,85		
20	0,22			0,21	0,12	0,04	-0,07	-0,15	-0,21	-0,42		
22	0,57			0,55	0,47	0,41	0,32	0,25	0,20	0,02		
24	0,92			0,89	0,83	0,78	0,71	0,65	0,60	0,46		
26	1,28			1,24	1,19	1,15	1,09	1,05	1,02	0,8		
1,00	0,155			10	-0,97	-0,97	-1,04	-1,14	-1,28	-1,39	-1,47	-1,73
		12	-0,68	-0,68	-0,76	-0,84	-0,97	-1,07	-1,14	-1,38		
		14	-0,38	-0,38	-0,46	-0,54	-0,66	-0,74	-0,81	-1,02		
		16	-0,09	-0,09	-0,17	-0,24	-0,35	-0,42	-0,48	-0,67		
		18	0,21	0,20	0,12	0,06	-0,03	-0,10	-0,15	-0,31		
		20	0,50	0,48	0,42	0,36	0,29	0,23	0,18	0,04		
		22	0,81	0,78	0,73	0,68	0,62	0,57	0,53	0,41		
		24	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,88	0,78		
		1,25	0,194	10	-0,59	-0,59	-0,66	-0,73	-0,84	-0,91	-0,97	-1,16
12	-0,33			-0,33	-0,40	-0,47	-0,56	-0,63	-0,69	-0,86		
14	-0,07			-0,07	-0,14	-0,20	-0,29	-0,35	-0,40	-0,55		
16	0,19			0,18	0,12	0,06	-0,01	-0,07	-0,11	-0,24		
18	0,45			0,44	0,38	0,33	0,26	0,22	0,18	0,06		
20	0,71			0,69	0,64	0,60	0,54	0,50	0,47	0,37		
22	0,98			0,96	0,91	0,88	0,83	0,80	0,77	0,69		
1,50	0,233			10	-0,29	-0,29	-0,36	-0,42	-0,50	-0,56	-0,60	-0,74
				14	0,17	0,17	0,11	0,06	-0,01	-0,05	-0,09	-0,20
		18	0,64	0,62	0,57	0,54	0,49	0,45	0,42	0,34		
		22	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,89		
		26	1,61	1,58	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	1,46		

Anexo 5 (Continuação)

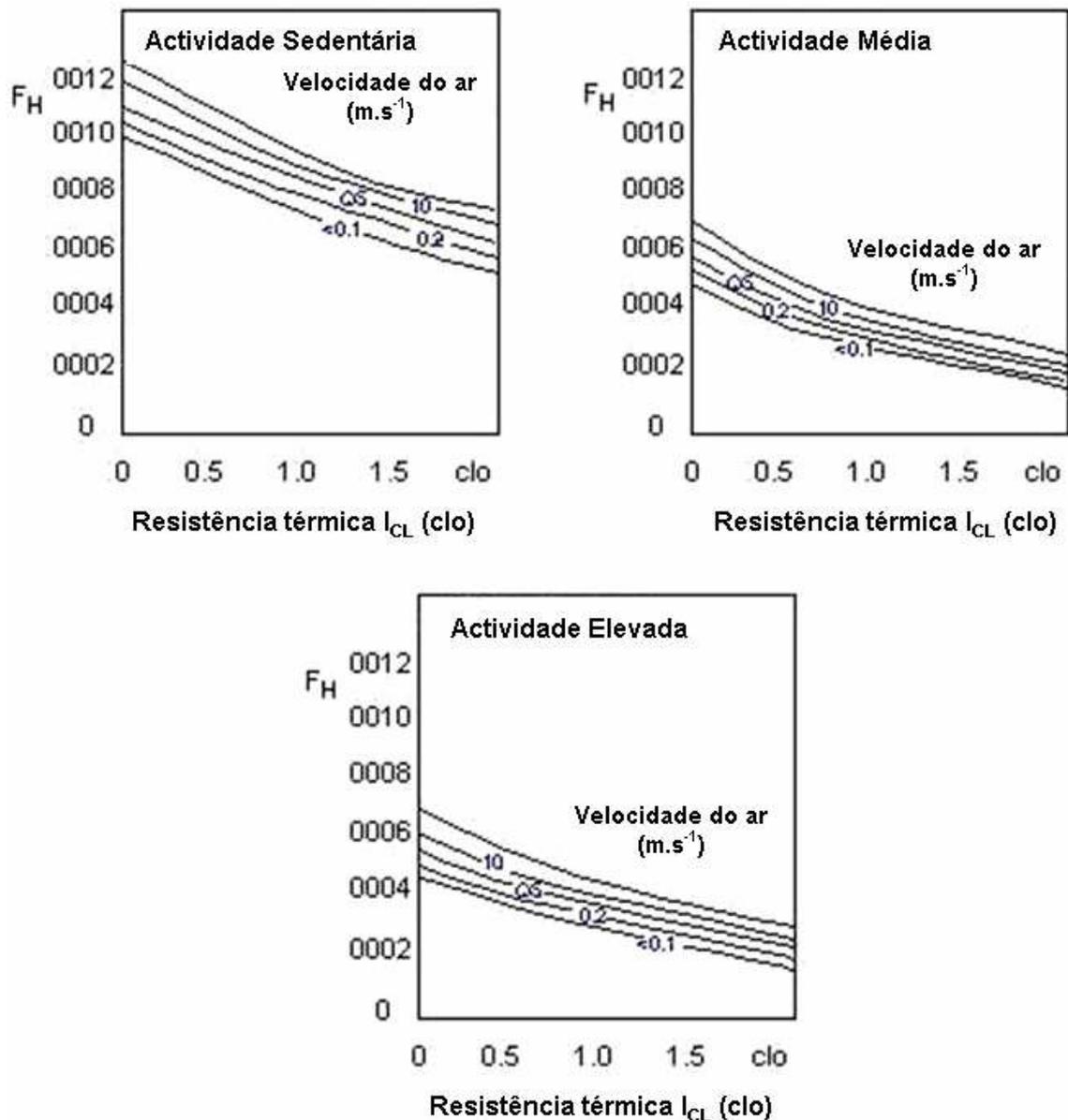
Tabelas para a determinação do *PMV* a uma humidade relativa de 50% ISO 7730 (2005)

A tabela apresentada foi construída para a determinação do índice *PMV* a uma taxa metabólica de 1,8 met. Esta utiliza três variáveis de entrada que são a resistência térmica das peças de vestuário I_{CL} (clo ou $m^2\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$), a velocidade do ar v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e a temperatura operativa T_o ($^{\circ}\text{C}$). Os sete valores da resistência térmica das peças de vestuário, que a norma disponibiliza para cada taxa metabólica, são apresentados nas colunas da esquerda. Na terceira coluna da tabela apresenta-se a temperatura operativa. As restantes colunas apresentam os valores da velocidade do ar do ambiente em estudo.

Por exemplo, a um operário que esteja num ambiente com uma temperatura operativa de 16°C e velocidade do ar inferior a $0,10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e com um vestuário cuja resistência térmica é de $0,25$ clo corresponde um *PMV* de $-1,79$.

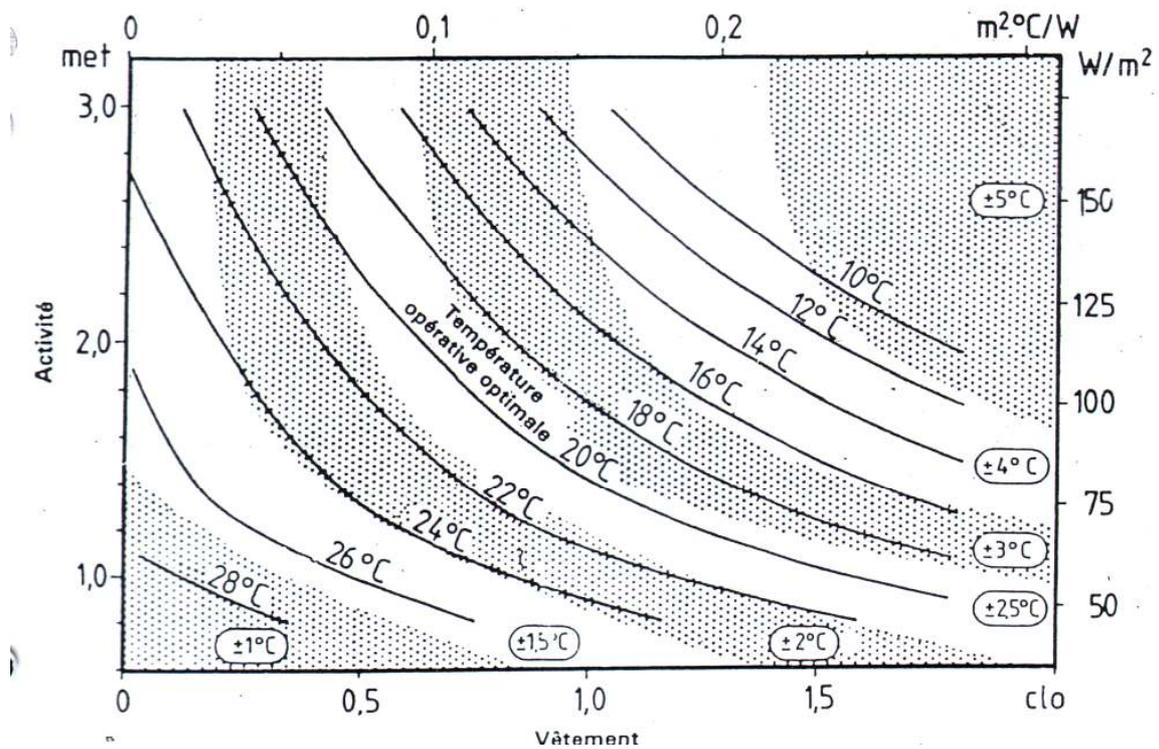
Anexo 6

Factor de correcção da humidade relativa para o cálculo do PMV
(adaptado de Fanger, 1972)



Anexo 7

Temperatura operativa óptima ISO 7730 (2005)



OBSERVAÇÃO

Os valores correspondem a $PMV = 0$ em função da actividade e do vestuário.

Os valores que se localizam na zona sombreada correspondem a conforto em torno da temperatura óptima em $-0,5 < PMV < 0,5$

Anexo 8

Carta psicrométrica para o cálculo do Índice da Temperatura Efectiva, *ITE*

A carta psicrométrica, para a determinação do Índice da Temperatura Efectiva, usa três variáveis de entrada:

- Temperatura do bolbo seco ou temperatura do ar T (°C)
- Temperatura do bolbo molhado T_{wn} (°C)
- Velocidade do ar v (m.s⁻¹)

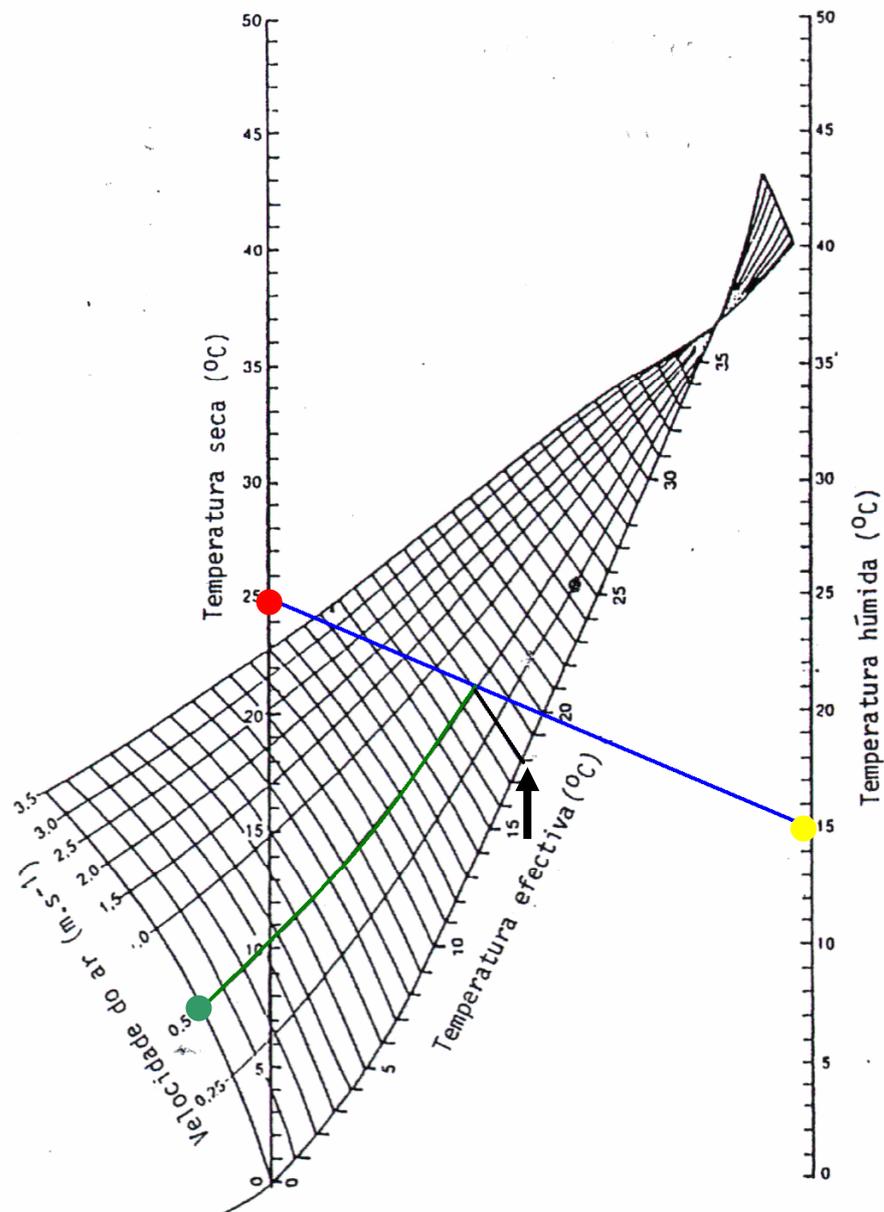
A carta psicrométrica apresentada nesta investigação está disponível no Rodrigues (1978).

Apresenta-se uma metodologia simples para a avaliação do índice da temperatura efectiva quando se usa a carta psicrométrica indicada no presente anexo recorrendo a seis passos.

- Marca-se na escala da esquerda a temperatura do ar (ponto assinalado a vermelho);
- Marca-se na escala da direita a temperatura húmida (ponto assinalado a amarelo);
- Traça-se um segmento de recta se cor azul que une o ponto da temperatura do ar (ponto a vermelho) e o ponto da temperatura húmida (amarelo);
- Procura-se a linha da velocidade do ar que correspondente na carta psicrométrica à linha a verde;
- Procura-se o ponto obtido pelo cruzamento da linha da velocidade do ar (verde) com a linha que une as duas temperaturas (azul);
- Faz-se passar uma linha de cor negra, pelo ponto de intersecção das linhas verde e azul, até à extremidade inferior da carta psicrométrica. O valor encontrado corresponde ao índice da temperatura efectiva.

Anexo 8 (Continuação)

Carta psicrométrica para o cálculo do Índice da Temperatura Efectiva, *ITE*
(adaptado de Rodrigues, 1978)



Anexo 9

Questionário

1. Posto de Trabalho nº: ____

2. Data: ____/____/____

T = ____ °C

3. Dados Pessoais:

HR = ____ %

a. Idade: ____ anos

b. Sexo: M / F

c. Altura: ____ cm

d. Massa: ____ kg

e. Estado de Saúde:

Motivo de Alteração do Estado de Saúde:

Perfeitas Condições de Saúde	
Condições Alteradas de Saúde	

Resfriado	
Gripe	
Crise Alérgica	
Outros (indicar: _____)	

4. Relação com o ambiente térmico:

(De acordo com a norma ISO 10551/1995)

a. Como descreveria a forma como se está a sentir neste momento:

Com muito calor	
Com calor	
Levemente com calor	
Nem com calor nem com frio (neutro)	
Levemente com frio	
Com frio	
Com muito frio	

Assinale a sua sensação térmica através da seguinte escala:



b. Existe alguma região determinada do seu corpo que está no presente momento em desconforto térmico:

Pés		Tronco	
Pernas		Cabeça	
Mãos		Outra	
Braços			

c. Está em desconforto com o seu vestuário?

Sim	
Não	

d. Em caso afirmativo qual a peça de vestuário que causa este desconforto?

Indicar: _____

Anexo 10

Determinação da *HR* através de uma carta psicrométrica

Foi usada uma carta psicrométrica (Dossat, 1980), de forma a avaliar a humidade relativa. A partir dos valores registados pelos operários na terceira fase do Trabalho de Campo e usando como coordenadas a temperatura do bolbo seco T e a temperatura do bolbo molhado T_w que foi avaliada a humidade relativa do ar. Esta metodologia tornou-se útil pois permitiu a determinação “rápida” da humidade relativa e possibilitou a calibração do sensor utilizado.

Apresenta-se uma metodologia simples para a avaliação da humidade relativa quando se usa a carta psicrométrica indicada no presente anexo recorrendo a cinco passos.

- Marca-se na escala “inclinada” à esquerda a temperatura do termómetro de bolbo molhado;
- Traça-se a azul a linha correspondente à temperatura do termómetro de bolbo molhado ou temperatura húmida;
- Marca-se na escala horizontal a temperatura do termómetro do bolbo seco ou do termómetro seco;
- Traça-se a linha a vermelho que corresponde à temperatura do termómetro seco;
- Marca-se o ponto de intersecção entre as duas linhas;
- A humidade relativa resulta da intersecção desse ponto com as linhas “curvas” que indicam o valor da humidade relativa.

No exemplo ilustrado na figura a temperatura do termómetro seco é de 25°C e a do termómetro húmido de 18°C. A temperatura húmida é sempre inferior (no limite, na situação de saturação, é igual) à temperatura do termómetro seco visto que a primeiro é arrefecida pela evaporação do corpo de água que envolve o “bolbo”. A humidade relativa do exemplo é de cerca de 50%.

Anexo 10 (Continuação)

Carta psicrométrica para a determinação da humidade relativa do ar HR
(adaptado de Dossat, 1980)

