

**O CONFORTO HUMANO E AS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS
UM ESTUDO DE CASO EM AMBIENTE QUENTE
*HUMAN COMFORT AND ENVIRONMENTAL ALTERATIONS
CASE STUDY IN HOT ENVIRONMENT***

Talaia, M.A.R.

Departamento de Física

Universidade de Aveiro, 3810-180 Aveiro, Portugal

Tfno.: +351 234370823

Fax: +351 234424965

Correo electrónico: mart@fis.ua.pt

Resumo

O grau de conforto humano em qualquer ambiente depende da temperatura, humidade e velocidade do ar. A meteorologia e climatologia se for usada nos sectores público e privado pode contribuir na identificação de ambientes de stress térmico e propor correcções. O conhecimento de parâmetros meteorológicos do ar, nas diferentes horas do dia e nos diferentes meses do ano, permite determinar o tipo e a eficiência da ventilação a usar, condicionado o microclima do interior de um edifício. Em condições de temperatura alta, uma pessoa, mesmo inconscientemente tenderá a diminuir os seus movimentos ficando afectado o desempenho intelectual e/ou profissional. Neste trabalho é considerado um estudo de caso de uma empresa do sector têxtil em diferentes zonas da linha de fabrico. Índices de stress térmico são calculados e interpretados.

Abstract

The degree of human comfort in any environment depends on the temperature, humidity and air agitation. If the environment is the inside of a building the walls temperature and the energy exchanges within the building should also be taken into account. The knowledge of meteorological parameters of the air, in the different hours of the day and in the different months of the year, allows to determine the type and the efficiency of the ventilation to use, conditioned the microclimate of the inside of a building. In conditions of high temperature, a person even unconsciously tends to minimise its movements affecting the intellectual and/or professional performance. In this work a case study of case of a company of the textile sector is considered in different areas of the assembly line. Indexes of thermal stress are calculated and interpreted.

Palavras chave (Key Words)

Biometeorologia (Biometeorology), Conforto humano (Human comfort), Índices térmicos (Thermal Indexes)

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do melhoramento das condições de trabalho e da qualidade de vida, o ambiente térmico desempenha um papel fundamental.

É sabido que o problema que se coloca nos ambientes térmicos é a homeotermia (manutenção da temperatura interna do corpo). A homeotermia é assegurada quando o fluxo de calor produzido pelo corpo é igual ao fluxo de calor cedido ao ambiente. No desequilíbrio existe um problema de tolerância ao frio ou ao calor, suscitando um limiar de tempo de exposição.

O organismo, mesmo em repouso, gera calor, denominado metabolismo basal (*depende do tamanho do corpo, da idade, do peso e do sexo, e define-se como a quantidade mínima de calor produzida pelo indivíduo em repouso físico e intelectual a uma temperatura ambiente de 20 °C, alguns instantes após o despertar matinal variando o seu valor entre 1.0 a 1.5 kcal.min⁻¹*). O metabolismo basal resulta da degradação da energia necessária para manter as funções humanas vegetativas, tais como a respiração, a circulação entre outras, ver por exemplo Miguel (2001).

O metabolismo depende da posição e do movimento do corpo, tipo de trabalho e metabolismo basal. A idade e o sexo são também condicionantes. Por exemplo, para a gama dos 50 – 54 anos de idade os valores típicos aceites são 36.73 kcal.m⁻².h⁻¹ para indivíduos do sexo masculino e de 33.96 kcal.m⁻².h⁻¹ para indivíduos do sexo feminino.

O calor produzido pelo metabolismo pode medir-se indirectamente pelo volume de oxigénio consumido, em descanso ou actividade (1 litro de O₂ equivale aproximadamente a 5 kcal). A unidade de metabolismo (valor típico do metabolismo de um homem sentado e a descansar em ambiente confortável) é de 50 kcal.h⁻¹.m⁻² (um homem com uma superfície cutânea de 1.8 m² e com um consumo de 0.3 L.min⁻¹ de oxigénio produz um calor de 1.5 kcal.min⁻¹ ou 90 kcal.h⁻¹ ou seja 50 kcal.h⁻¹.m⁻²). O máximo de oxigénio que trabalhadores saudáveis podem consumir oscila entre 2 e 4 litros por minuto.

Os efeitos do calor sobre o homem, podem ser nefastos. À medida que o índice de stress térmico se eleva, acima da zona de conforto, pode suscitar mal estar psicológico, diminuição da capacidade de trabalho, transtornos fisiológicos, golpe de calor, esgotamento físico, borbulhagem na pele, fadiga cerebral, desidratação, sensação de fadiga, diminuição da destreza, descoordenação sensorial e motriz, incidência de doenças cardiovasculares e de perturbações gastrointestinais.

2. TEORIA – AMBIENTES QUENTES

Os ambientes térmicos quentes são ambientes para os quais o balanço térmico, calculado na base das trocas de calor por radiação e convecção é positivo (a temperatura do ar ambiente e a temperatura radiante média são superiores à temperatura média cutânea). Neste ambiente o organismo deve accionar os diferentes meios de “luta”, de que dispõe, contra o calor.

Há várias razões que podem conduzir a uma situação de stress térmico, nomeadamente aumento de metabolismo, aumento da temperatura do ar, aumento da temperatura radiante média, modificação da velocidade do ar (quando a temperatura do ar é superior à temperatura cutânea média) e aumento da humidade do ar. Para tentar reequilibrar o balanço térmico, o organismo reage fundamentalmente através de sobrecargas fisiológicas (*termostática, circulatória e sudação*).

A Norma ISO 7726 – 1985 (E) “Thermal Environments – Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities” define grandezas físicas e instrumentos de medida usados. A norma especifica o cálculo do índice de conforto *WBGT* (Wet Bulb Globe Temperature) e, baseada na ISO 7234, define diversos parâmetros úteis para o cálculo do índice de conforto. Dossat (1980) mostra a definição de grandezas físicas e sua determinação. Algumas grandezas físicas relevantes para a avaliação dos índices térmicos de conforto são a Temperatura do ar T_a , Temperatura de globo T_g , Temperatura radiante média T_R , Humidade absoluta do ar p_a , Temperatura do termómetro molhado T_w , Razão de mistura r , Razão de mistura de saturação r_s , Humidade relativa do ar U , Velocidade do ar v_a , Temperatura natural do termómetro molhado (bolbo molhado) T_{wn} , Temperatura do globo do bolbo molhado *WBGT* e Temperatura do globo molhado T_{wg} .

Hoje o mercado dispõe de equipamentos térmicos de conforto e de sensores de medida (transdutores) capazes de avaliar os diferentes parâmetros necessários para determinar os diferentes índices térmicos de conforto (Thermal confort data logger, Software para PC, Air temperature transducer, Surface temperature transducer, Radiant temperature Asymmetry transducer, Humidity transducer, Air velocity transducer, Dry heat loss transducer, Operative temperature transducer).

2.1. Índices de stress térmico mais usados:

Tromp (1980) disponibiliza quadros resumos para a determinação de índices de conforto térmico e, Thomas and Boyd (1957) e Bedford (1948) indicam uma expressão para o cálculo do arrefecimento ou perda de calor, dada por

$$H = \Delta T (9.9 + 10.9\sqrt{v} - v) \quad (1)$$

em que H representa a perda de calor expressa em $\text{kcal.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, ΔT a diferença entre temperatura (indivíduo e ambiente) em $^{\circ}\text{C}$ e v a velocidade de vento em m.s^{-1} .

A Higiene e Segurança Industrial tem feito esforços na procura de um índice de stress térmico que traduza satisfatoriamente a sobrecarga fisiológica para certas condições ambientais. O índice de temperatura efectiva TEN foi o primeiro índice fisiológico de stress térmico. Foi introduzido por Houghten and Yaglou (in American Society of Heating and Ventilating Engineers). O objectivo foi definir várias combinações de temperatura seca T_a , movimento do ar v_a e humidade relativa do ar U que originassem a mesma sensação térmica. Posteriormente surge o índice de temperatura efectiva corrigida TEC (nas condições em que a temperatura de globo é superior à temperatura do ar, deve substituir-se a temperatura do ar pela temperatura de globo, introduzindo-se a correcção correspondente na temperatura húmida (temperatura lida no termómetro molhado), que passa a ser designada por pseudotemperatura húmida. A American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) sugeriu o índice $WBGT$. Este índice foi considerado pelo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) como sendo apropriado para a utilização industrial (considera efeitos do metabolismo, da velocidade do ar e do vestuário usado). A aplicação da regressão múltipla entre os valores de TEC e $WBGT$ mostra que, há entre eles, uma boa correlação.

2.1.1 Determinação do índice ou critério $WBGT$ (Wet Bulb Globe Temperature)

O $WBGT$ é calculado através das equações:

$$WBGT = 0.7T_{wn} + 0.3T_g \quad (2)$$

para ambientes internos (interiores) ou exteriores sem efeitos térmicos do sol, e

$$WBGT = 0.7T_{wn} + 0.2T_g + 0.1T_a \quad (3)$$

para ambientes externos (exteriores) com efeitos térmicos do sol, em que T_{wn} é a temperatura natural do termómetro molhada, T_g a temperatura de globo e T_a a temperatura do ar. A temperatura húmida natural (dada por um termómetro em que o bolbo é coberto por uma musselina molhada exposto aos movimentos naturais do ar e que não está protegido contra a radiação. A diferença entre a temperatura registada por um termómetro molhado natural e um termómetro molhado (usado no psicrómetro) é influenciada pela temperatura de globo, temperatura seca do ar, pela humidade relativa do ar e pela velocidade do ar) pode

ser determinada a partir de expressões definidas em função da velocidade do ar. Assim, se $v_a < 1 \text{ m.s}^{-1}$,

$$T_{wn} = T_w + 1.5 + 0.13(T_g - T_a) \quad (4)$$

se $v_a \geq 1 \text{ m.s}^{-1}$,

$$T_{wn} = T_w + 0.5 + 0.13(T_g - T_a) \quad (5)$$

Quando o índice *WBGT* se destina a avaliar termicamente um posto de trabalho, deve-se tomar em linha de conta o metabolismo correspondente à actividade e à duração de exposição ou exposições. A Tabela I mostra valores limites de *WBGT* sugeridas pela NIOSH (*National International Institute for Occupational Safety and Health*).

Tabela I: valores limite de *WBGT* (°C) em função do metabolismo e da velocidade do ar

Metabolismo (kcal.h ⁻¹)	$v_a \leq 1.5 \text{ m.s}^{-1}$	$v_a > 1.5 \text{ m.s}^{-1}$
$M \leq 200$	30.0	32.5
$200 < M \leq 300$	27.8	30.5
$300 < M$	26.1	28.9

2.1.2 Determinação do índice ou Critério *HSI* (Heat Stress Index)

Quando se fala de um ambiente térmico quente fala-se da carga de sedução daí resultante. A evaporação aumenta à medida que o desequilíbrio do balanço térmico tende a agravar-se. Para equilibrar o balanço térmico, o organismo deve realizar o débito de evaporação requerido $E_{req} = M + C + R$, onde M representa o fluxo de calor trocado com o ambiente devido ao metabolismo, C o fluxo de calor por convecção e R o fluxo de calor por radiação. A evaporação transporta o calor latente e constitui uma perda de calor para o organismo. No homem a evaporação tem lugar ao nível do aparelho respiratório e da pele. A evaporação de 1 grama de água do organismo absorve 2.5 kJ ou 0.6 kcal de energia. O fluxo de calor por evaporação é dado por

$$E = h_E w (p_{wa} - p_{ws}) \quad (6)$$

em que E é expresso em W.m^{-2} , e onde h_E representa o coeficiente de evaporação ($\text{W.m}^{-2}.\text{kPa}^{-1}$) dado por $h_E = 16.7h_C$, w a fracção da pele humedecida pelo suor (superfície cutânea molhada), p_{ws} a pressão do vapor de água à temperatura da pele (kPa) e p_{wa} a pressão parcial do vapor de água do ambiente (kPa). Para uma temperatura da pele de 35 °C corresponde uma pressão parcial p_{ws} de 56.23 hPa ou 42.1 mmHg. Se a pele estiver totalmente molhada, $w = 1$ e o débito máximo evaporado, a expressão (6) torna-se

$$E_{\max} = h_E (p_{wa} - p_{ws}) \quad (7)$$

E_{req} (necessário) representa o calor que se deveria eliminar por evaporação do suor (transpiração) para se obter o equilíbrio térmico e E_{\max} (possível) representa o calor máximo que se pode perder por evaporação do suor (transpiração) no ambiente considerado. Quando $E_{req} < E_{\max}$, tem-se uma situação de segurança, se $E_{req} = E_{\max}$ uma situação limite e se $E_{req} > E_{\max}$ uma situação intolerável (stress térmico). Há uma armazenagem contínua de calor. O valor armazenado permite calcular o tempo ao fim do qual o organismo terá retido essa massa calórica. Segundo Belding and Hatch (1955), para uma armazenagem máxima de 264 kJ a duração limite de exposição (em minutos) será

$$DLE = 2440 \left(E_{req} / E_{max} \right) \quad (8)$$

Se este valor for ultrapassado, pode-se registar uma perturbação do estado de saúde do trabalhador. O índice de stress térmico *HSI*, proposto por Belding and Hatch (1955) é calculado a partir da expressão

$$HSI = 100 \left(E_{req} / E_{max} \right) \quad (9)$$

A literatura da especialidade indica, para cada *HSI*, as implicações fisiológicas e higiénicas devido a exposição de 8 horas por dia a vários tipos de stress térmico. Por exemplo, para um *HSI* = 100 a sensação térmica corresponde a “*stress térmico máximo a tolerar diariamente apenas pelo homem padrão (jovem, de físico e saúde superiores ao normal, aclimatado ao calor, peso de 70 kg, estatura de 1.75 m, superfície de corpo de 1.82 m² e temperatura da pele de 35 °C) e com determinados períodos de descanso*”. Se *HSI* > 100 o tempo de trabalho deve ser inferior a 8 horas. O valor *HSI* também pode ser avaliado recorrendo a gráficos e/ou ábacos apropriados em que são conjugados parâmetros meteorológicos medidos ou calculados. As Tabelas II e III indicam valores de metabolismo de trabalho.

Tabela II: mostra o metabolismo de trabalho correspondente a diferentes actividades (em função da posição e movimentos do corpo e da classe de trabalho)

Classe de trabalho		Valores médios de metabolismo (kcal.min ⁻¹)	Valores limites de metabolismo (kcal.min ⁻¹)
trabalho com o corpo	ligeiro	3.5	2.5-15.0
	moderado	5.0	2.5-15.0

Tabela III: quantidade de calor desenvolvida em função do grau de trabalho)

trabalho	(kcal.h ⁻¹)
leve	[120-190[
medianamente	[190-260[
pesada	[260-330[
Muito pesado	> 330

Obs.: Para trabalhos prolongados acima de 230 kcal.h⁻¹ é necessário introduzir pausas.

2.1.3 Determinação dos índices *PMV* e *PPD* e especificação das condições de conforto

A norma ISO 7730 (International Organization for Standardization) tem como objectivo apresentar um método de previsão da sensação térmica e do grau de não conforto de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados, e especificar condições de ambiente térmico aceitáveis para o conforto. A norma tem como referências a ISO 7234 (Ambientes quentes), ISO 7726 (Ambientes térmicos) e a ISO 7933 (ambientes quentes). O índice *PMV* (voto médio previsível – Predicted Mean Vote) representa o voto médio de um grupo importante de pessoas em termos de sensação térmica. O índice *PMV* pode ser determinado a partir dos valores estimados da actividade (produção de energia metabólica) e do vestuário (resistência térmica) e a partir da medição de parâmetros do ambiente (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade relativa do ar e pressão parcial do vapor de água, de acordo com a norma ISO 7726). O índice *PMV* é dado pela expressão

$$PMV = \left(\begin{matrix} 0,303e^{-0,036M} + \\ 0,028 \end{matrix} \right) \left\{ \begin{matrix} (M - W_e) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99(M - W_e) - p_a] - \\ 0,42[(M - W_e) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M \times (5867 - p_a) - \\ 0,0014M(34 - T_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_R + 273)^4] - \\ f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \end{matrix} \right\} \quad (10)$$

onde PMV representa o voto médio previsível, M o metabolismo energético ($W.m^{-2}$ de superfície corporal, $1met = 58 W.m^{-2}$ ou $1met = 50 kcal.h^{-1}.m^{-2}$), W_e o trabalho exterior ($W.m^{-2}$, é zero para a maior parte das actividades), T_a a temperatura do ar ($^{\circ}C$), \bar{T}_R a temperatura radiante média ($^{\circ}C$), p_a a pressão parcial de vapor de água (Pa), I_{cl} a resistência térmica devida ao vestuário ($m^2.{}^{\circ}C.W^{-1}$ em que $1clo=0,155 m^2.{}^{\circ}C.W^{-1}$) T_{cl} a temperatura da superfície do vestuário ($^{\circ}C$) calculada a partir da expressão

$$T_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W_e) - I_{cl} \left\{ \begin{array}{l} 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times \\ \left[(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_R + 273)^4 \right] + \\ f_{cl} h_C (T_{cl} - T_a) \end{array} \right\} \quad (11)$$

v_a a velocidade relativa do ar ($m.s^{-1}$), h_C o coeficiente de transferência de calor por convecção ($W.m^{-2}.{}^{\circ}C^{-1}$) dado por

$$h_C = 2,38(T_{cl} - T_a)^{0,25} \quad \text{para} \quad 2,36(T_{cl} - T_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_a} \quad (12)$$

$$h_C = 12,1\sqrt{v_a} \quad \text{para} \quad 2,36(T_{cl} - T_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_a} \quad (13)$$

e f_{cl} a relação da superfície do corpo vestido em face da superfície do corpo nu, dada por

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290I_{cl} \quad \text{para} \quad I_{cl} < 0,078 \quad (m^2.{}^{\circ}C.W^{-1}) \quad (14)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645I_{cl} \quad \text{para} \quad I_{cl} > 0,078 \quad (m^2.{}^{\circ}C.W^{-1}) \quad (15)$$

As equações para avaliar o valor de T_{cl} e h_C podem ser resolvidas através do uso de métodos numéricos ou por iteração.

É recomendado usar os valores de PMV unicamente quando estão compreendidos entre -2 e $+2$.

A Temperatura operativa, T_0 , também deve ser calculada. De uma maneira simples a temperatura operativa combina a temperatura ambiente e a temperatura radiante média que causa as mesmas perdas de calor por convecção e radiação que a temperatura real. O valor da temperatura operativa pode ser determinado usando uma expressão simples e dada por

$$T_0 = AT_a + (1 - A)\bar{T}_R \quad (16)$$

em que T_0 é expressa em $^{\circ}C$ e o factor A é obtido a partir da Tabela IV

Tabela IV: valores do factor A em função da velocidade do ar

velocidade do ar v_a ($m.s^{-1}$)	A
< 0.2	0.5
0.2 - 0.6	0.6
0.6 - 1.0	0.7

Na prática e na maioria dos casos, para $v_a \leq 0,2 m.s^{-1}$ ou para diferenças de temperaturas $|T_a - \bar{T}_R| < 4 ^{\circ}C$, a T_0 pode ser calculada a partir do valor médio entre T_a e \bar{T}_R ou seja $T_0 \approx [(T_a + \bar{T}_R)/2]$. O índice PMV é função de parâmetros inerentes à actividade e vestuário [M – metabolismo ($W.m^{-2}$ ou met) e I_{cl} – resistência térmica do vestuário (clo)] e a parâmetros ambientais [T_a – temperatura do ar ($^{\circ}C$), \bar{T}_R – temperatura radiante média ($^{\circ}C$) e v_a – velocidade do ar ($m.s^{-1}$)]. Na prática pode-se arbitrar o valor do metabolismo em função da actividade. A temperatura operativa pode ser determinada a partir de expressão ou lida directamente em instrumentos de medida e, a temperatura radiante média pode ser calculada ou lida directamente em instrumentos de medida.

São apresentadas expressões que possibilitam a determinação da temperatura radiante média tendo em consideração as características do termómetro de globo de cor negro mate ($D = 150 mm$ e $\varepsilon = 0,95$):

Condições de convecção natural

$$\bar{T}_R = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |T_g - T_a|^{0,25} (T_g - T_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (17)$$

Condições de convecção forçada

$$\bar{T}_R = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 v_a^{0,6} (T_g - T_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (18)$$

Para se saber a formula a aplicar, devem ser calculadas previamente as constantes:

$$h_{cg1} = 2,25 |T_g - T_a|^{0,25} \quad (19)$$

$$h_{cg2} = 13,46 v_a^{0,6} \quad (20)$$

Se $h_{cg1} > h_{cg2}$ aplica-se a formula para convecção natural, se $h_{cg1} < h_{cg2}$ aplica-se a formula para convecção forçada, em que T_g é expressa em °C e h_{cg} representa o coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo ($W.m^{-2}.K^{-1}$).

O índice *PPD* (percentagem previsível de insatisfeitos – Predicted Percentage of Dissatisfied) estabelece uma previsão quantitativa do número de pessoas insatisfeitas num dado ambiente térmico.

Conhecido o valor de *PMV* pode-se determinar o *PPD* com base em gráfico disponível na Norma ISO 7730 ou através da expressão

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} \quad (21)$$

Um ambiente confortável regista um $PPD < 10\%$ e sugere um $-0,5 < PMV < +0,5$.

3. RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

3.1. Empresa do sector têxtil (lavandaria)

Na avaliação do índice de stress térmico utilizando um monitor de Stress Térmico *WBGT*. Foram usados os critérios: *WBGT* adoptado pela “American Conference of Governmental Industrial Hygienist” (ACGIH) e *HSI* proposto por Belding and Hatch (University of Pittsburgh).

Foram escolhidos vários locais de análise (início da linha, entre a 2ª e 3ª barca, junto à última barca e à saída da estufa)

No início da linha

Velocidade do ar: cerca de $0,5 m.s^{-1}$, Temperatura de globo: $36,7 °C$, Temperatura do ar: $35,6 °C$, Temperatura húmida: $25,4 °C$, Temperatura de saturação: $21,0 °C$, Temperatura exterior: $31-32 °C$.

Determinação do índice *WBGT*

Como se trata de ambientes interior, são usadas as expressões (4) e (2). Assim, $T_{wn} = 27,0 °C$ e $WBGT = 29,9 °C$. Adoptando uma actividade ligeira, a partir da Tabela II ou da Tabela III (trabalho com o corpo ligeiro) tem-se $M < 200 kcal.h^{-1}$.

Para o caso de $M = 200 kcal.h^{-1}$, a partir do gráfico que permite avaliar os valores permissíveis de exposição ao calor para diferentes ciclos de trabalho / descanso, disponíveis nos manuais da literatura, e para condições de 8 horas de trabalho contínuo o valor de *WBGT* é de $30 °C$.

Por outro lado, a Tabela I mostra que para um valor de $M < 200 kcal.h^{-1}$ e $v_a = 0,5 m.s^{-1}$ temos um limite de *WBGT* de $30 °C$. Nesta situação (início da linha) o valor do índice térmico está muito próximo do valor máximo admissível.

Determinação do índice *HSI*

O valor do metabolismo energético é de 160 kcal.h^{-1} ($2,67 \text{ kcal.min}^{-1}$), E_{max} o calor máximo que se pode perder por evaporação de 260 kcal.h^{-1} e E_{req} o calor que se deveria eliminar por evaporação do suor para conseguir equilíbrio térmico de 200 kcal.h^{-1} .

O valor do *HSI* pode ser avaliado através da conjugação de gráficos que usam parâmetros meteorológicos medidos ou calculados. Usou-se a expressão (9) para se determinar *HSI*, dando 77. O significado de um valor $HSI = 77$ é: “*Stress térmico extremo. Somente uma pequena percentagem de pessoas poderão aguentar estas condições. Deverá seleccionar-se o pessoal através de exame médico e uma prova de trabalho (após aclimação). Deverão tomar-se medidas especiais para que se ingira água e sal de forma adequada. É altamente recomendado melhorar as condições de trabalho através dos meios adequados com vista a diminuir os riscos para a saúde e aumentar o rendimento no trabalho*”.

No entanto, $E_{req} = 200 \text{ kcal.h}^{-1}$ e $E_{max} = 260 \text{ kcal.h}^{-1}$ e $E_{max} > E_{req}$ parece sugerir situação de segurança !!!

Entre a 2ª e 3ª barca

Velocidade do ar: cerca de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, Temperatura de globo: $39,1 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura do ar: $38,6 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura húmida: $23,7 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura de saturação: $16,7 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura exterior $31\text{-}32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *WBGT*

Como se trata de ambientes interior, são usadas as expressões (4) e (2). Assim, $T_{wn} = 25,26 \text{ }^\circ\text{C}$ e $WBGT = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *HSI*

O valor do metabolismo energético é de 160 kcal.h^{-1} ($2,67 \text{ kcal.min}^{-1}$), E_{max} o calor máximo que se pode perder por evaporação de 300 kcal.h^{-1} e E_{req} o calor que se deveria eliminar por evaporação do suor para conseguir equilíbrio térmico de 350 kcal.h^{-1} . Da expressão (9) $HSI = 117$.

Dado ser $HSI > 100$, por aplicação da expressão (8), o tempo máximo de exposição neste local é de 49 min. A actividade moderada de $5,8 \text{ kcal.min}^{-1}$, com limite de metabolismo, obriga a paragem de actividade. Do gráfico que permite avaliar os valores permissíveis de exposição ao calor para diferentes ciclos de trabalho / descanso, disponíveis nos manuais da literatura, conclui-se da necessidade de 50% de trabalho e 50% de descanso em cada hora.

Junto à última barca

Velocidade do ar: cerca de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$, Temperatura de globo: $39,7 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura do ar: $37,1 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura húmida: $22,9 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura de saturação: $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura exterior $31\text{-}32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *WBGT*

Como se trata de ambientes interior $WBGT = 29,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *HSI*

O valor do metabolismo energético é de 160 kcal.h^{-1} ($2,67 \text{ kcal.min}^{-1}$), E_{max} o calor máximo que se pode perder por evaporação de 140 kcal.h^{-1} e E_{req} o calor que se deveria eliminar por evaporação do suor para conseguir equilíbrio térmico de 220 kcal.h^{-1} . Da expressão (9) $HSI = 157$. Dado ser $HSI > 100$, por aplicação da expressão (8), o tempo máximo de exposição neste local é de 30 min.

O valor do *HSI* ultrapassa em 57% o valor limite 100 que significa “*Stress térmico máximo a tolerar diariamente apenas pelo homem padrão e com determinados períodos de descanso*”. Quando $HSI > 100$ o tempo de trabalho não pode ser de 8 horas.

Como $E_{req} = 220 \text{ kcal.h}^{-1}$ e $E_{max} = 140 \text{ kcal.h}^{-1}$, $E_{max} < E_{req}$ significa situação intolerável. Produz-se uma armazenagem contínua de calor. O valor armazenado permite calcular o tempo ao fim do qual o organismo terá retido essa massa calórica.

À saída da estufa

Velocidade do ar: cerca de $0,2 \text{ m.s}^{-1}$, Temperatura de globo: $39,0 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura do ar: $37,9 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura húmida: $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura de saturação: $7,3 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura exterior $31\text{-}32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *WBGT*

Como se trata de ambientes interior $WBGT = 26,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinação do índice *HSI*

O valor do metabolismo energético é de 160 kcal.h^{-1} ($2,67 \text{ kcal.min}^{-1}$), E_{max} o calor máximo que se pode perder por evaporação de 210 kcal.h^{-1} e E_{req} o calor que se deveria eliminar por evaporação do suor para conseguir equilíbrio térmico de 220 kcal.h^{-1} . Da expressão (9) $HSI = 105$. Dado ser $HSI > 100$, por aplicação da expressão (8), o tempo máximo de exposição neste local é de 4,1 horas. Análise geral dos resultados conduzem a situações de Stress Térmico. De acordo com o critério *WBGT*, e tendo em conta o metabolismo energético adoptado (actividade ligeira $< 200 \text{ kcal.h}^{-1}$), os valores do índice de *WBGT* situam-se muito próximos do valor máximo admissível. As mesmas conclusões poderiam ser obtidas pela utilização de gráficos ou ábacos disponíveis na literatura da especialidade [ver por exemplo, Rodrigues (1978) e WMO (1987)]. O critério *HSI* aplicado aos diferentes locais de trabalho, conduz a valores bastante elevados de *HSI*, mesmo acima do valor de Stress Térmico máximo tolerado diariamente ($HSI = 100$).

Ainda que qualquer dos métodos aplicados aponte para situações graves do ponto de vista de ambiente térmico, faz-se notar que qualquer dos locais estudados não correspondia a postos de trabalho fixos, podendo os trabalhadores deslocarem-se dentro da secção sem necessidade de permanecerem durante muito tempo no mesmo local, o que em certa medida atenua os efeitos nefastos devido às condições encontradas.

3.2. Empresa do sector metalomecânica (estufa de metalização)

Na determinação dos parâmetros para a caracterização do ambiente térmico utilizou-se um monitor de Stress Térmico.

Critérios utilizados: Norma ISSO 7730, Ambientes Térmicos Moderados – Índice *PMV* e *PPD*

A avaliação da sensação térmica e grau de desconforto de indivíduos expostos a ambientes térmicos moderados, deverá ser feita com base nos critérios definidos na norma ISSO 7730. Estes critérios baseiam-se na previsão do valor médio dos votos expressos por um grupo significativo de pessoas em relação ao mesmo ambiente, a partir da seguinte escala de sensação térmica

Dados: Velocidade do ar: cerca de $0,8 \text{ m.s}^{-1}$, Temperatura de globo: $27,6 \text{ }^\circ\text{C}$, Temperatura do ar: $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$, Humidade relativa do ar: 40% e Temperatura exterior do ar: $20\text{-}22 \text{ }^\circ\text{C}$ (durante as medidas).

A formula a aplicar no cálculo da temperatura radiante média baseou-se na determinação prévia das constantes (19) e (20). Como $h_{cg2} > h_{cg1}$ aplicou-se a expressão (18) para convecção forçada, vindo $\bar{T}_R = 35,7 \text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura operativa é dada a partir da expressão (16) e para $A = 0,7$ (dado ser $v_a = 0,8 \text{ m.s}^{-1}$). Assim, $T_0 = 27,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Considerou-se como características térmicas do vestuário = $0,5 \text{ clo}$ (vestuário de verão) e um nível de

actividade = 1,6 met ou 93 W.m⁻² (actividade de pé em industria ligeira). Para se avaliar o índice *PMV* consulta-se a tabela correspondente da Norma ISO 7730 e teve-se-se em consideração os valores $v_a = 0,8 \text{ m.s}^{-1}$ e $T_0 = 27,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Por iteração ($26 < T_0 < 28$ e $0,5 < v_a < 1,0$) *PMV* é +0,60. No gráfico da Norma ISO 7730 se for introduzido *PMV* tira-se o valor de +12% de *PPD* (percentagem previsível de insatisfeitos).

Obs.: não pode ser considerado um ambiente confortável dado não cumprir com os requisitos: $PPD < 10\%$ e $-0,5 < PMV < +05$. No entanto, confrontando os resultados obtidos com a Escala de Sensação Térmica verifica-se que, neste dia, as condições ambientais do local de trabalho se podem considerar dentro dos parâmetros de conforto térmico ($PMV < +1$), com uma percentagem reduzida de insatisfeitos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permite concluir, em termos gerais, que a realização prática do conforto térmico não é tarefa fácil devido ao elevado número de variáveis envolvidas no processo. Geralmente nem o isolamento térmico do vestuário, nem o metabolismo são conhecidos com uma precisão suficiente. É necessário avaliar uma situação de compromisso.

O importante é dar a devida atenção à influência do conforto térmico nos índices de produtividade (quer sejam na industria, no comércio ou no escritório). Melhor conforto térmico favorece melhores índices de produtividade.

Em Portugal, a avaliação dos índices de conforto térmico são da competência do Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho. Na formação de Técnicos Superiores de Segurança e Higiene do Trabalho, o autor como formador do módulo Ambientes Térmicos, teve uma excelente experiência, por trabalhar e compartilhar *o saber* com especialistas de diferentes formações académicas.

REFERENCIAS

- Bedford, T. (1948): "Basic Principles of Ventilation and Heating". Lewis, Londres
Belding, H.S. and Hatch, T.F. (1955): Heating Piping Air Condit. 27, 129
Dossat, R.J. (1980): "Manual de Refrigeração", vol. 1, Hemus Livraria Editora Lda., São Paulo, Brasil
Miguel, A.S.S.R. (2001): "Manual de Higiene e Segurança do Trabalho", Porto Editora
Norma internacional ISO 7243 (ambientes quentes)
Norma internacional ISO 7726 (ambientes térmicos)
Norma internacional ISO 7730 (ambientes térmicos)
Norma internacional ISO 7933 (ambientes quentes)
Rodrigues; B.C.M. (1978): "A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral", vol. 1, INMG
Thomas, M.K. and Boyd, D.W. (1957): Canad. Geograph. 10, 29
Tromp, S. W. (1980): "Biometeorology, The Impact of the Weather and the Climate on Humans and Their Environment". Heyden International Topics in Science, London.
World Meteorological Organization (1987): World Climate Programme Applications, Climate and Human Health