ANEXO A

EXPRESSÕES DE CÁLCULO DO ÍNDICE IREQ

EXPRESSÕES DE CÁLCULO DO ÍNDICE IREQ

No presente anexo apresentam-se as expressões de cálculo utilizadas para a determinação do índice do *Isolamento Térmico do Vestuário Requerido*, *IREQ*, de acordo com o Relatório Técnico ISO/TR 11079 (1993). Esta publicação inclui um programa informático para determinar o *IREQ* que se considerou exibir algumas limitações, designadamente as que dizem respeito à ausência de uma opção que permita a gravação dos dados em ficheiro e à impossibilidade de visualizar os diversos parâmetros calculados pelo programa, à excepção da interpretação dos resultados. Face a estes condicionalismos procedeu-se a diversas modificações no programa. Assim, para além da substituição da linguagem *Pascal* pelo *Fortran*, a nova versão beneficia das alterações necessárias para ultrapassar as limitações referidas. Na Figura A.1 ilustra-se, esquematicamente, o procedimento de avaliação de ambientes térmicos frios proposto na ISO/TR 11079, seguindo-se a apresentação das equações usadas na determinação do *IREQ*.

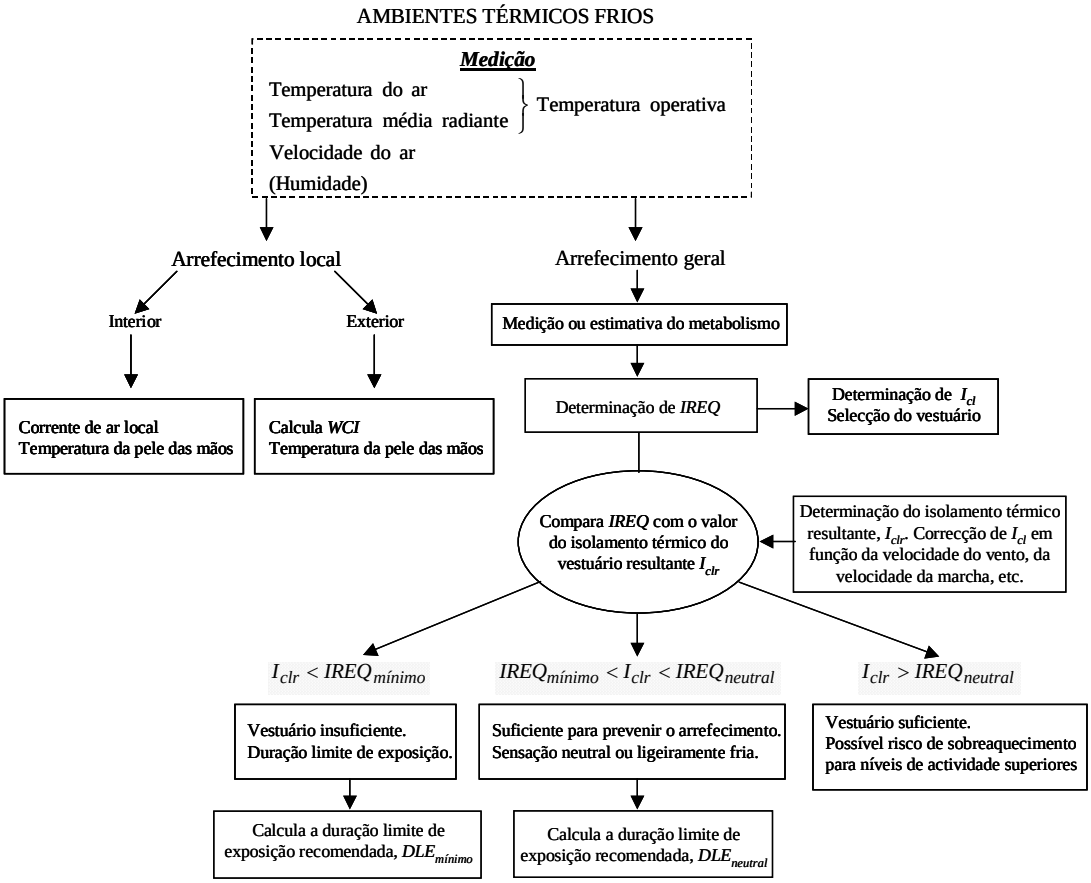

Figura A.1 Procedimento de avaliação de ambientes térmicos frios (adaptado de ISO/TR 11079, 1993).

EXPRESSÕES DE CÁLCULO UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DO *ISOLAMENTO TÉRMICO DO VESTUÁRIO REQUERIDO, "IREQ"*

O índice *IREQ* especifica isolamento térmico do vestuário requerido para a manutenção do balanço térmico através de um modelo baseado na equação do balanço térmico global do corpo humano. Esta expressão é definida por

$$(M - W) = (K + C + R + E) + (C_{res} + E_{res}) + S \,. \qquad \text{(A.1)}$$

Como já foi visto, M representa o metabolismo energético, W o trabalho mecânico externo, K, C, R, E, C_{res} e E_{res}, as perdas de calor por condução, convecção, radiação, perspiração e sudação, sensível e latente por respiração, respectivamente. S representa a carga térmica no corpo. Tendo a metodologia de cálculo do *IREQ* sido apresentada no Capítulo 3, neste anexo procede-se apenas à listagem das expressões utilizadas para estimar os vários mecanismos de troca térmica.

Metabolismo, M

A avaliação do metabolismo faz-se através dos métodos especificados na Norma ISO 8996 (1990).

Trabalho Mecânico Útil, W

O trabalho mecânico útil apresenta normalmente um valor reduzido e, na maior parte das situações industriais, pode ser desprezado.

Troca de Calor por Condução, K

Conforme referido na secção (3.5.1) a troca de calor por condução não é considerada directamente, sendo englobada nas expressões da troca de calor por convecção e radiação para a situação em que as superfícies do corpo não estivessem em contacto com elementos sólidos.

Troca de Calor por Convecção, C

A troca de calor por convecção, C [W/m^2], entre a superfície do vestuário (incluindo a superfície da pele não coberta) e o ambiente pode exprimir-se através da relação

$$C = f_{cl} \times h_{conv} \times \left(\bar{t}_{cl} - t_a \right). \qquad \text{(A.2)}$$

O factor de área vestida, f_{cl}, é determinado a partir de

$$f_{cl} = 1 + 1{,}97 \times I_{clr}, \qquad \text{(A.3)}$$

e o coeficiente de transferência de calor por convecção, h_{conv} [W/m^2 ºC], é calculado a partir de uma das expressões seguintes

$$h_{conv} = 3{,}5 + 5{,}2 \times v_{ar} \qquad para \qquad v_{ar} \leq 1\, m/s, \qquad \text{(A.4)}$$

$$h_{conv} = 8{,}7 \times v_{ar}^{\,0{,}6} \qquad para \qquad v_{ar} > 1\, m/s, \qquad \text{(A.5)}$$

em que v_{ar} [m/s] representa a velocidade relativa do ar, sendo determinada por

$$v_{ar} = v_a + 0{,}0052 \times \left(M - 58 \right), \qquad \text{(A.6)}$$

limitando-se a contribuição devida ao metabolismo a 0,7 m/s.

Troca de Calor por Radiação, R

A troca de calor por radiação, R [W/m^2], entre a superfície do vestuário (incluindo a superfície da pele não coberta) e o ambiente é calculada por

$$R = h_{rad} \times f_{cl} \times \left(\bar{t}_{cl} - \bar{t}_r \right). \qquad \text{(A.7)}$$

O coeficiente de transferência de calor por radiação, h_{rad} [W/m^2 ºC] é estimado por

$$h_{rad} = \sigma \times \varepsilon \times \frac{A_r}{A_{DuBois}} \times \left[\left(\bar{t}_{cl} + 273 \right)^4 - \left(\bar{t}_r + 273 \right)^4 \right] / \left(\bar{t}_{cl} - \bar{t}_r \right), \qquad \text{(A.8)}$$

admitindo-se que A_r/A_{DuBois} (fracção da superfície cutânea participante nas trocas de calor por radiação) é igual a 0,67 para o sujeito agachado , 0,7 sentado e 0,77 para o sujeito em pé.

Troca de Calor por Evaporação, E

A troca de calor por evaporação, E [W/m^2], é definida por

$$E = \frac{w \times \left(p_{sk,sat} - p_a\right)}{R_{e,T}}. \qquad \text{(A.9)}$$

A pressão de vapor de água saturado à temperatura da pele, $p_{sk,sat}$ [kPa], é determinada pela expressão

$$p_{sk,sat} = 0{,}1333 \times e^{18{,}6686 - 4030{,}183/(t_{sk} + 235)}, \qquad \text{(A.10)}$$

enquanto que a pressão parcial de vapor de água do ar ambiente, p_a [kPa], é calculada por

$$p_a = \frac{rh}{100} \times 0{,}1333 \times e^{18{,}6686 - 4030{,}183/(t_a + 235)}. \qquad \text{(A.11)}$$

A resistência evaporativa total do vestuário, $R_{e,T}$ [m^2 kPa/W], é definida por

$$R_{e,T} \approx \frac{0{,}06}{i_{m,T}} \times \left(I_{clr} + \frac{I_a}{f_{cl}}\right). \qquad \text{(A.12)}$$

Admitindo que o índice de permeabilidade total, $i_{m,T}$, de vestuário comum e permeável de uma ou duas camadas é igual a 0,38, a expressão (A.12) toma a forma

$$R_{e,T} = 0{,}16 \times \left(I_{clr} + \frac{I_a}{f_{cl}}\right), \qquad \text{(A.13)}$$

sendo o isolamento térmico da camada superficial de ar, I_a [m^2 ºC/W], calculado através de

$$I_a = \frac{1}{\left(h_{conv} + h_{rad}\right)}. \qquad \text{(A.14)}$$

<u>Troca de Calor por Respiração</u>

Na respiração, as trocas de calor sensível, C_{res} [W/m^2], e latente, E_{res} [W/m^2], são equacionadas por

$$C_{res} = \frac{\dot{V} \times C_{p,a} \times \left(t_{exp} - t_a\right)}{A_{DuBois}}, \qquad \text{(A.15)}$$

$$E_{res} = \frac{\dot{V} \times h_{fg} \times \left(W_{exp} - W_a\right)}{A_{DuBois}}, \qquad \text{(A.16)}$$

onde $\dot{V}$ [kg/s] representa o caudal de ar respirado, $C_{p,a}$ [J/kg K] o calor específico do ar seco a pressão constante, t_{exp} [ºC] a temperatura do ar expirado, h_{fg} [J/kg], o calor latente de

vaporização da água e W_{exp} e W_a [$kg_{H2O}/kg_{ar\ seco}$], a humidade absoluta do ar expirado e do ar inspirado.

A sua quantificação é assim função das condições do ar inspirado e expirado e do caudal de ar respirado, proporcional ao nível de actividade física. Na ISO TR 11079 (1993), C_{res} e E_{res} são estimados adoptando valores típicos e relacionando o caudal de ventilação pulmonar com o metabolismo,

$$C_{res} = 0{,}0014 \times M \times \left(t_{exp} - t_a\right), \tag{A.17}$$

$$E_{res} = 0{,}0173 \times M \times \left(p_{exp,sat} - p_a\right), \tag{A.18}$$

calculando-se a temperatura do ar expirado, t_{exp} [ºC], por

$$t_{exp} = 29 + 0{,}2 \times t_a\,, \tag{A.19}$$

e a pressão de vapor de água saturado do ar expirado, $p_{exp,sat}$ [kPa], através de

$$p_{exp,sat} = 0{,}1333 \times e^{18{,}6686 - 4030{,}183/(t_{exp} + 235)}. \tag{A.20}$$