

CONFORTO TÉRMICO NOS AMBIENTES DE TRABALHO



MINISTÉRIO DO TRABALHO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

CONFORTO TÉRMICO NOS AMBIENTES DE TRABALHO

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Fernando Henrique Cardoso
MINISTRO DO TRABALHO E EMPREGO
Francisco Dornelle

FUNDACENTRO
PRESIDÊNCIA
Humberto Carlos Parro
DIRETORIA EXECUTIVA
José Gaspar Ferraz de Campos
DIRETORIA TÉCNICA
Sônia Maria José Bombardi
DIRETORIA DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS
Marco Antônio Seabra de Abreu Rocha
ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL
José Carlos Crozera

Álvaro César Ruas

Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho

*Engenheiro Industrial Mecânico e de Segurança do Trabalho
Pesquisador do Escritório de Representação de Campinas
da Fundacentro*

MINISTÉRIO DO TRABALHO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

1999

Agradecemos a todos que de alguma forma colaboraram na elaboração deste trabalho especialmente àqueles que fizeram sugestões para o seu aprimoramento, como a Dra. Mari Aparecida Iguti, o Eng. Paulo Alves Maia e o Eng. Francisco Kulcsar Neto, que efetuou a revisão técnica.

SUMÁRIO

1	Introdução	9
2	Conceituação de Conforto Térmico	11
3	Conforto e Balanço Térmico do Corpo Humano	13
	3.1 Trocas de Calor entre o Corpo e o Ambiente	18
	3.1.1 Convecção	19
	3.1.2 Radiação Térmica	19
	3.1.3 Evaporação	19
	3.2 Fatores que influenciam na Remoção de Calor do Corpo Humano	20
	3.2.1 Temperatura do Ar (t_a)	20
	3.2.2 Umidade Relativa do Ar (UR)	20
	3.2.3 Ventilação do Ambiente	20
	3.2.4 Vestimenta Utilizada	21
4	Variáveis que Determinam o Conforto Térmico	29
5	Avaliação do Conforto Térmico	31
	5.1 Diagramas de Conforto	32
	5.2 Voto Médio Estimado (VME)	44
	5.3 Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI)	66

6	Obtenção das Variáveis de Conforto	75
6.1	Princípios Gerais	75
6.2	Medições – Instrumentos e Métodos	77
6.2.1	Métodos de Medição	77
6.2.1.1	Escolha dos Pontos	78
6.2.1.2	Posicionamento dos Instrumentos em Relação ao Solo	78
6.2.2	Instrumentos de Medição	79
6.2.2.1	Temperatura do Ar	79
6.2.2.2	Velocidade do Ar	79
6.2.2.3	Temperatura Radiante Média	80
6.2.2.4	Umidade Relativa do Ar	83
7	Desconforto Localizado	85
7.1	Assimetria de Radiação	85
7.2	Diferenças Verticais na Temperatura do Ar	86
7.3	Velocidade do Ar	86
7.4	Contato com Superfícies Quentes ou Frias	87
8	Referências Bibliográficas	89
9	Nomenclatura	91
10	Glossário	93

1 INTRODUÇÃO

No início da sua existência, o homem procurou a caverna para se abrigar do sol e da chuva. Intuitivamente, ele aprendia a proteger-se das agressões do meio.

O organismo humano, por meio de um processo volutivo milenar, desenvolveu uma série de mecanismos que permitem a sua adaptação ao meio com o objetivo de obter o bem-estar.

O bem-estar do homem é um conceito amplo que engloba desde os fatores necessários à manutenção da sua saúde física, até aqueles responsáveis pelo seu sentimento de satisfação.

Quando se trata de satisfação com as condições térmicas de um ambiente, então está-se tratando do conforto térmico.

A preocupação científica do homem com o seu conforto térmico é muito antiga, um exemplo disso é a obra "History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings", escrita por Walter Bernan e publicada em 1845. Nela o autor prevê que a criação e o controle de ambientes climáticos artificiais assumirão a dimensão de uma ciência que contribuirá para o desenvolvimento da humanidade, para a preservação da saúde e para a longevidade do ser humano.

Os primeiros esforços organizados para o estabelecimento de critérios de conforto térmico foram realizados no período de 1913 a 1923. Desde então esse tema tem sido estudado em diferentes partes do mundo, sendo que o

grande desafio era encontrar os fatores que influenciam na sensação térmica e como eles se relacionam.

As pesquisas mais recentes, desenvolvidas no período de 1970 a 1986, comprovaram que o conforto térmico está estritamente relacionado com o equilíbrio térmico do corpo humano e que esse equilíbrio é influenciado por fatores ambientais e pessoais. Assim, há ambientes em que as condições são favoráveis ao equilíbrio térmico do corpo humano e o homem sente-se bem disposto e há outros em que as condições são desfavoráveis, provocam indisposição, diminuem a sua eficiência no trabalho e aumentam a possibilidade da ocorrência de acidentes.

No Brasil, em virtude de haver predominância de climas quentes e úmidos, especial atenção deve ser dada à comprovada influência do desconforto térmico na disposição para o trabalho. Sob esse aspecto, convém ressaltar que as condições térmicas dos ambientes laborais não dependem só do clima, mas também do calor introduzido pelas atividades desenvolvidas e pelos equipamentos envolvidos nos processos, bem como pelas características construtivas do ambiente e a sua capacidade de manter condições internas adequadas no que se refere ao conforto térmico das pessoas. Sendo assim, é muito comum encontrarem-se ambientes de trabalho com temperatura do ar muito superior à do ar exterior.

Existem também os ambientes com ar condicionado que devem ser avaliados periodicamente de forma que as condições necessárias de qualidade do ar sejam asseguradas. É importante ressaltar que na qualidade do ar deve-se considerar não só a pureza, mas o conforto térmico das pessoas.

Com base no fato de que a literatura nacional conta com reduzido número de publicações que tratam especificamente do conforto térmico nos ambientes de trabalho é que nos sentimos encorajados a escrever essa obra. Ela se baseou principalmente nos trabalhos publicados pelo pesquisador dinamarquês Ole Fanger e pelos pesquisadores da ASHRAE - Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento.

O objetivo deste trabalho é de trazer informações que permitam a avaliação das condições relativas ao conforto térmico existentes nos ambientes de trabalho, a determinação do que seria adequado para cada local e atividade e o que pode ser feito para melhorar as condições existentes.

2 CONCEITUAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média (t_{rm}), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (t_a) e velocidade relativa do ar (v_r) com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

As sensações são subjetivas, isto é, dependem das pessoas, portanto um certo ambiente confortável termicamente para uma pessoa pode ser frio ou quente para outra. Assim, entende-se como condições ambientais de conforto aquelas que propiciam bem-estar ao maior número possível de pessoas.

É importante ressaltar que neste trabalho serão tratadas as condições ambientais próximas às que permitem o conforto térmico e não da exposição a temperaturas extremas, caso que pode ser avaliado e controlado pela Norma Regulamentadora NR 15 da Portaria 3214¹⁶.

Os esforços serão concentrados no estudo das condições que provocam o desconforto pela sensação de calor, porque no Brasil predomina o clima quente e úmido, inexistindo os problemas típicos das temperaturas extremamente baixas. No inverno, o conforto térmico pode ser obtido, na maioria dos casos, com a simples utilização de vestimenta apropriada.

3
CONFORTO E BALAÇO TÉRMICO
DO CORPO HUMANO

No processo metabólico o homem produz energia interna a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular) e o restante é liberado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado. A tabela 1 apresenta a energia produzida pelo metabolismo para distintas atividades. Nela os valores são dados na unidade Met: 1 Met = 58,2 W / m² ou 50 Kcal /m². h.

Deve-se notar que a unidade Met representa a energia produzida no tempo por unidade de área superficial do corpo, sendo assim ela é variável com as características físicas das pessoas.

A área superficial do corpo pode ser estimada pela seguinte equação proposta por Du Bois¹:

$$A_S = 0,202 \cdot m_c^{0,425} \cdot a_c^{0,725} \quad (1)$$

onde:

A_S – Área superficial do corpo, m².

m_c – Massa do corpo, kg

a_c – Altura da pessoa, m

Dessa forma, usando as características do homem e da mulher padrão estabelecidos na norma ISO 8996¹⁴, as respectivas áreas superficiais do corpo serão:

homem padrão	altura = 1,7 m $\Rightarrow A_s = 0,202 \cdot 70^{0,425} \cdot 1,7^{0,725} \Rightarrow A_s = 1,8 \text{ m}^2$ massa = 70 kg
mulher padrão	altura = 1,6 m $\Rightarrow A_s = 0,202 \cdot 60^{0,425} \cdot 1,6^{0,725} \Rightarrow A_s = 1,6 \text{ m}^2$ massa = 60 kg

Assim 1 Met valerá:

$$\text{homem padrão} \Rightarrow 1 \text{ Met} = 58,2 \cdot A_s \Rightarrow 1 \text{ Met} = 58,2 \cdot 1,8 \approx 105 \text{ W}$$

$$\text{mulher padrão} \Rightarrow 1 \text{ Met} = 58,2 \cdot A_s \Rightarrow 1 \text{ Met} = 58,2 \cdot 1,6 \approx 93 \text{ W}$$

Para um estudo mais detalhado do metabolismo sugere-se consultar a norma ISO 8996¹⁴.

O homem é um ser homotérmico, isto é, pode manter dentro de certos limites a temperatura corporal interna relativamente constante, independente da temperatura ambiente. Portanto, deverá haver permanente e imediata eliminação do excesso de calor produzido para que a temperatura do corpo possa ser mantida constante.

O controle da temperatura corporal é realizado por um sistema chamado de termorregulador que comanda, por meio da vasodilatação e vasoconstrição, a quantidade de sangue que circula na superfície do corpo, possibilitando, respectivamente, maior ou menor troca de calor com o meio.

O sistema termorregulador atua também sobre as glândulas sudoríparas, aumentando ou diminuindo a produção de suor em função da necessidade de perda de calor do corpo por evaporação do suor.

Conforto e balanço térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador na manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano. Isso significa que quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

O corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage termicamente com o meio que o circunda.

Assim, as trocas entre o corpo humano e o ambiente podem, de forma simplificada, ser representadas pela seguinte equação:

$$\boxed{C_{\text{met}} + C_{\text{conv}} + C_{\text{rad}} - C_{\text{ev}} = \pm Q} \quad (2)$$

onde:

C_{met} - Parcela da energia metabólica transformada em calor (W/m^2).

C_{conv} - Calor trocado por convecção (W/m^2).

C_{rad} - Calor trocado por radiação (W/m^2).

C_{ev} - Calor perdido por evaporação do suor (W/m^2).

Q - Calor total trocado pelo corpo (W/m^2).

Quando o valor de Q na equação (2) for igual a zero, o corpo estará em equilíbrio térmico, e a primeira condição para a obtenção do conforto térmico terá sido satisfeita. Essa condição é necessária, mas não suficiente, uma vez que o desconforto ocorre mesmo quando o equilíbrio térmico do organismo é mantido pelo sistema termorregulador.

Na equação (2), é necessário ressaltar também que o fator C_{met} , pode, de acordo com o princípio adotado na norma ISO 8996¹⁴, ser igualado a energia do metabolismo. Isso deve-se ao fato de que a maior parte da energia do metabolismo transforma-se em energia térmica e a parcela correspondente ao trabalho mecânico pode ser geralmente negligenciada.

Tabela 1 Metabolismo para diferentes atividades

Atividade	(Met)	(W/m²)
1. Repouso		
• Dormindo	0,7	40,7
• Reclinado	0,8	46,6
• Sentado, quieto	1,0	58,2
• Em pé, sem esforço	1,2	69,8
2. Andando		
2.1 Superfície plana e sem carga		
• 2 km/h	1,9	110
• 3 km/h	2,4	140
• 4 km/h	2,8	165
• 5 km/h	3,4	200
2.2 Superfície plana com carga, 4 km/h		
• 10 kgf	3,2	185
• 30 kgf	4,3	250
• 50 kgf	6,2	360
2.3 Aclive e sem carga, 3 km/h		
• inclinação 5°	3,3	195
• inclinação 10°	4,7	275
• inclinação 15°	6,7	390
2.4 Declive e sem carga, 5 km/h		
• inclinação 5°	2,2	130
• inclinação 10°	1,9	115
• inclinação 15°	2,1	120
2.5 Subindo escada, altura do degrau 0,17m		
• 80 degraus por minuto	7,6	440
2.6 Descendo escada, altura do degrau 0,17m		
• 80 degraus por minuto	2,7	155
3. Indústria da construção civil		
3.1 Assentamento de tijolos (construindo muro de mesma área)		
• tijolo sólido (peso de 3,8 kgf)	2,6	150
• tijolo furado (peso de 4,2 kgf)	2,4	140
• bloco furado (peso de 15,3 kgf)	2,1	125
• bloco furado (peso de 23,4 kgf)	2,3	135
3.2 Colocando pedregulho num carrinho	4,7	275

Fonte: Compilação das referências 1,14 e 22.

Atividade	(Met)	(W/m²)
3.3 Empurrando carrinho em terreno plano, carga de 100 kgf, velocidade de 4,5 km/h	3,9	230
3.4 Misturando argamassa	2,7	155
3.5 Fazendo fôrma para concretagem	3,1	180
3.6 Concretando fundação	4,7	275
3.7 Compactando concreto com vibrador	3,8	220
3.8 Subindo em escada portátil com 70° de inclinação, velocidade de 11,2 m/min		
• sem carga	5,0	290
• com 20 kgf de carga	6,2	360
3.9 Cavando vala	4,6 a 5,3	270 a 310
4. Serviço de carpintaria		
4.1 Serrando manualmente	4,0 a 4,8	233 a 280
4.2 Serrando com máquina	1,8 a 2,2	105 a 128
4.3 Aplainando manualmente	5,6 a 6,4	326 a 372
5. Trabalho em fundição		
5.1 Moldagem manual de peças		
• peças de tamanho pequeno	2,4	140
• peças de tamanho médio	4,9	285
• usando martetele pneumático	3,0	175
5.2 Limpeza e rebarbação		
• trabalho com martetele pneumático	3,0	175
• esmerilhamento, corte	3,0	175
6. Indústria mecânica		
6.1 Trabalho em máquina ferramenta		
• leve (ajustar, montar)	1,7	100
• médio	2,4	140
• pesado	3,6	210
6.2 Trabalho com ferramenta manual		
• leve (polimento leve)	1,7	100
• médio (polimento)	2,7	160
• pesado (furação pesada)	3,9	230
7. Agricultura		
7.1 Escavando com pá (24 levantamentos/min)	6,5	380
7.2 Cavando com enxada (peso da enxada 1,25kgf)	2,9	170

Fonte: Compilação das referências 1,14 e 22.

Atividade	(Met)	(W/m²)
7.3 Arando com junta de cavalos	4,0	235
7.4 Arando com trator	2,9	170
7.5 Aplicando fertilizante na terra		
• manualmente	4,8	280
• com máquina puxada por cavalos	4,3	250
• com trator	1,6	95
8. Trabalho doméstico		
8.1 Limpando a casa	1,7 a 3,4	100 a 200
8.2 Cozinhando	1,4 a 2,3	80 a 135
8.3 Lavando louça, em pé	2,5	145
8.4 Lavando e passando a ferro	2,1 a 3,8	120 a 220
8.5 Fazendo compras	1,4 a 1,8	81 a 105
9. Trabalho no escritório		
9.1 Datilografando	1,2 a 1,4	70 a 81
9.2 Desenhando	1,1 a 1,3	64 a 76
10. Motorista		
• Carro	1,5	87
• Veículo pesado	3,2	186
• Motocicleta	2,0	116
11. Outras atividades		
11.1 Balconista	2,0	116
11.2 Professor	1,6	93
11.3 Borracheiro	2,2 a 3,0	128 a 175
11.4 Laboratorista	1,4 a 1,8	81 a 105
11.5 Trabalho leve em bancada e sentado	1,1	64

Fonte: Compilação das referências 1,14 e 22.

3.1 Trocas de Calor entre o Corpo e o Ambiente

Como foi visto, no balanço térmico do corpo, o excedente de energia produzida no metabolismo é transformado em calor que tem de ser imediatamente liberado para o meio, a fim de que a temperatura interna do corpo mantenha-se constante.

Basicamente são três os mecanismos de troca térmica do corpo humano com o ambiente: Convecção, Radiação e Evaporação.

3.1.1 Convecção

O processo de remoção de calor por convecção ocorre quando o ar apresenta temperatura inferior à do corpo e o corpo transfere calor pelo contato com o ar frio circundante. O aquecimento do ar provoca seu movimento ascensional. À medida que o ar quente sobe, o ar frio ocupa seu lugar, completando-se, assim, o ciclo de convecção.

Se a temperatura do ar for exatamente igual à temperatura da superfície do corpo, não haverá troca térmica por esse processo. Se a temperatura do ar for mais elevada do que a da superfície do corpo, o ar cederá calor para o corpo, invertendo-se o mecanismo.

3.1.2 Radiação Térmica

É o processo pelo qual a energia radiante é transmitida da superfície quente para a fria por meio de ondas eletromagnéticas que, ao atingirem a superfície fria, transformam-se em calor.

A energia radiante é emitida continuamente por todos os corpos que estão a uma temperatura superior a zero absoluto. Isso equivale dizer que uma pessoa num ambiente está continuamente emitindo e recebendo energia radiante, e o diferencial entre a energia recebida e a emitida é que define se o corpo é aquecido ou resfriado por radiação. Dessa forma, se a temperatura das paredes de um ambiente for inferior à da pele de um homem, este perderá calor por radiação. Se as paredes estiverem mais quentes que a pele, a temperatura do corpo aumentará por efeito da radiação.

A radiação térmica não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar, e a quantidade de energia radiante emitida por um corpo depende de sua temperatura superficial.

3.1.3 Evaporação

Quando as condições ambientais fazem com que as perdas de calor do corpo humano por convecção e radiação não sejam suficientes para regular a sua temperatura interna, o organismo intensifica a atividade das glândulas sudoríparas e perde calor pela evaporação da umidade (suor) que se forma na pele. A explicação é simples: simultaneamente à transpiração ocorre a evaporação do suor, esse é um fenômeno endotérmico, isto é, para ocorrer precisa de calor cedido pelo corpo. De forma simplificada, pode-se dizer que um líquido evaporando sobre uma superfície quente extrai calor dessa superfície, resfriando-a.

3.2 Fatores que Influenciam na Remoção de Calor do Corpo Humano

Sabe-se que o conforto térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para manter a temperatura interna do corpo. Portanto, é necessário conhecer os fatores que influenciam os processos de troca de calor do corpo com o ambiente, visto que influenciarão no trabalho do sistema termorregulador bem como na sensação de conforto térmico.

Os fatores que influenciam são a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a ventilação do ambiente e a vestimenta usada pelas pessoas

3.2.1 Temperatura do Ar (t_a)

Quando a temperatura do ar é inferior à da pele, a remoção de calor por convecção será tanto maior quanto menor for a temperatura do ar. Se o ar estiver a uma temperatura superior à da pele, ele cederá calor para o corpo por convecção.

Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar.

3.2.2 Umidade Relativa do Ar (UR)

A umidade relativa do ar, numa determinada temperatura, é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1m^3 de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1m^3 de ar pode conter, quando está saturado naquela temperatura. A umidade relativa varia com a temperatura do ar. Com o aumento da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que 1m^3 de ar pode conter também aumenta. Com a diminuição da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que 1m^3 de ar pode conter também diminui. Isso significa que quando se deseja umidade relativa menor num ambiente, deve-se reduzir a quantidade de vapor d'água no ar ou aumentar a temperatura do ar ambiente. Por outro lado, quando se deseja umidade relativa maior, deve-se aumentar a quantidade de vapor d'água no ar ou reduzir a temperatura do ar desse ambiente.

A umidade relativa do ar tem grande influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a umidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo.

A alta umidade relativa produz efeito inverso.

3.2.3 Ventilação do Ambiente

É necessário conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar, para se analisar a capacidade de contribuição da ventilação na remoção de calor do

corpo humano. Para a condição de ar não saturado e com temperatura inferior à da pele, pode-se afirmar que:

- quando a ventilação aumenta:
o processo de evaporação aumenta, porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente.
o processo de convecção aumenta, porque a velocidade de troca do ar que rodeia o corpo é maior.
- quando a ventilação diminui:
os processos de convecção e evaporação também diminuem.

3.2.4 Vestimenta Utilizada

A roupa é um elemento que dificulta a remoção de calor do corpo.

- Diminui a troca térmica por convecção porque é um obstáculo ao movimento do ar junto à pele.
- Diminui o processo de evaporação do suor num grau que varia conforme a permeabilidade da roupa ao vapor d'água. Quanto menor a permeabilidade da roupa, menor será a remoção de calor por evaporação.
- A interferência da vestimenta na troca térmica por radiação depende principalmente da emissividade e absorvância de radiação da roupa e do comprimento de onda da radiação.

Para as radiações de ondas longas, a emissividade é igual a absorvância podendo ser considerada 1 para a pele e 0,95 para as roupas comuns, independente da cor. Já para as de ondas curtas, a absorvância depende da pigmentação da pele e da cor da roupa, sendo maior para as de tonalidades escuras.

Dessa forma, em ambientes nos quais predominam as radiações de ondas longas, a vestimenta terá pouca influência na troca térmica por radiação. Por outro lado, nos ambientes em que existam fontes importantes de radiação de ondas curtas, as vestimentas de cor clara absorverão menor quantidade de radiação do que as de cor escura.

Na verdade a roupa promove um determinado isolamento térmico, porque acrescenta resistência à transferência de calor entre o corpo e o ambiente. A magnitude dessa resistência térmica depende principalmente do tecido e do modelo de fabricação da roupa; uma roupa longa, justa e de lã oferece maior resistência que uma curta, folgada e de algodão.

Neste trabalho adotou-se o isolamento térmico básico (I_{CL}) para diferenciar as vestimentas; a unidade adotada é o clo ($1\text{clo} = 0,155\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$). A Tabela 2 apresenta vários itens do vestuário com os respectivos isolamentos térmicos. A equação 3 permite calcular o isolamento térmico básico da roupa usando-se os dados da Tabela 2.

$$I_{CL} = \sum I_{CLU} \quad (3)$$

onde:

I_{CL} – Isolamento térmico básico da vestimenta, clo.

I_{CLU} – Isolamento térmico efetivo dos itens de vestuário, clo.

O exemplo 1 ilustra a aplicação da Tabela 2.

Exemplo 1:

Calcular o isolamento térmico de uma roupa de verão composta por: camisa esporte de manga curta, calça de trabalho de algodão, cueca de algodão, meias $\frac{3}{4}$ e sapatos.

Os isolamentos térmicos dos itens do vestuário obtidos da tabela 2 são

camisa esporte de manga curta = 0,17 clo

calça de trabalho de algodão = 0,24 clo

cueca de algodão = 0,04 clo

meias $\frac{3}{4}$ = 0,03 clo

sapatos = 0,05 clo

O isolamento térmico da roupa será:

$$I_{CL} = 0,17 + 0,24 + 0,04 + 0,03 + 0,05$$

$$I_{CL} = 0,53 \text{ clo}$$

Tabela 2 Resistência térmica dos itens de vestuário

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
<u>Roupa de baixo</u>			
sutiã	—	44	0,01
calcinha	100% nylon	27	0,03
calcinha e sutiã curtos	nylon	87	0,04
meia calça	—	39	0,02
cueca	poliéster, algodão	66	0,03
cueca	100% algodão	65	0,04
ceroula até acima do joelho	lã	137	0,06
ceroula até abaixo joelho	algodão	186	0,08
ceroula até o tornozelo	lã	198	0,12
baby-doll acima do joelho	nylon	65	0,14
baby-doll altura do joelho	nylon	82	0,16
camiseta sem manga	algodão	150	0,06
camiseta sem manga	poliéster, algodão	106	0,05
camiseta com manga curta	100% algodão	105	0,08
camiseta com manga curta	algodão	180	0,10
camiseta com manga longa	algodão	200	0,12
<u>Camisas, camisetas e blusas</u>			
camisa com gola, manga longa	100% SEF	—	0,33
camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	—	0,31
camisa com gola, manga longa	algodão	362	0,33
camisa com gola, manga longa	algodão	370	0,29
camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	360	0,21
camisa com gola, manga longa	—	190	0,15
camisa com gola, manga longa	—	220	0,18
camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	196	0,25
camisa com gola, manga curta	65% poliéster, 35% algodão	156	0,19
camisa com gola, manga longa	80% algodão, 20% poliéster	309	0,34
camisa com gola, manga curta	65% poliéster, 35% algodão	—	0,25
camisa com gola, manga curta	algodão	284	0,24
camisa esporte, manga curta	100% algodão	228	0,17
camisa sem manga, gola canoa	65% poliéster, 35% algodão	113	0,21
camiseta sem manga	algodão	210	0,18

Fonte: Adaptado da ISSO 9920¹³

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
camiseta sem manga	65% poliéster, 35% algodão	117	0,13
blusa gola olímpica, manga longa	algodão	344	0,34
blusa feminina com gravata, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	382	0,33
blusa feminina com gravata, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	206	0,25
blusa feminina gola canoa, manga média	65% poliéster, 35% algodão	142	0,27
corpete	100% poliéster	67	0,06
<u>Calças</u>			
calça folgada	algodão	513	0,22
calça folgada	65% poliéster, 35% algodão	320	0,23
calça folgada	50% poliéster, 50% lã	459	0,28
calça folgada	100% algodão	—	0,24
calça justa	80% lã, 20% nylon	433	0,22
calça justa	algodão	640	0,26
calça justa	algodão	446	0,18
calça justa	65% poliéster, 35% algodão	605	0,20
calça justa	50% poliéster, 50% lã	404	0,24
calça justa	100% algodão	354	0,20
calça justa	65% poliéster, 35% algodão	—	0,19
calça de trabalho	100% algodão	832	0,24
<u>Shorts e bermudas</u>			
short	algodão	—	0,08
short	100% algodão	164	0,06
bermuda até o joelho	algodão	416	0,11
bermuda até o joelho	algodão	195	0,11
bermuda até o joelho	100% algodão	195	0,08
bermuda até o joelho	50% poliéster, 50% lã	251	0,17
<u>Jardineiras e macacões</u>			
jardineira	65% poliéster, 35% algodão	755	0,24
jardineira	algodão	910	0,28
jardineira	64% algodão, 36% poliéster	854	0,30
macacão manga longa	100% algodão	—	0,52
macacão manga longa	algodão	1260	0,52

Fonte: Adaptado da ISSO 9920 ¹³Fonte: Adaptado da ISSO 9920 ¹³

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
macacão manga longa	65% poliéster, 35% algodão	1140	0,49
macacão manga longa	100% algodão	995	0,49
macacão manga longa	—	890	0,51
macacão feminino com cinto, manga longa	algodão	579	0,49
macacão feminino com cinto, manga longa	algodão	891	0,46
macacão feminino com cinto, manga longa	algodão	1331	0,49
<u>Suéteres</u>			
manga longa, gola em V	100% acrílico	215	0,25
manga longa, gola canoa	85% lã, 15% nylon	424	0,36
manga longa, gola olímpica	—	815	0,54
manga longa, gola olímpica (leve)	50% algodão, 50% poliéster	231	0,26
manga longa, gola olímpica (pesado)	85% lã, 15% nylon	459	0,37
manga curta, gola em V	100% acrílico	188	0,20
manga curta, gola canoa	85% lã, 15% nylon	355	0,28
sem manga, gola em V	100% acrílico	130	0,13
sem manga, gola canoa	85% lã, 15% nylon	301	0,22
tipo cardigã, manga longa, gola em V	100% acrílico	215	0,23
tipo cardigã, manga longa, gola canoa	—	460	0,29
tipo cardigã, manga longa, gola canoa	85% lã, 15% nylon	424	0,31
tipo cardigã, manga curta, gola em V	100% acrílico	188	0,17
tipo cardigã, manga curta, gola canoa	85% lã, 15% nylon	355	0,22
<u>Jaquetas, coletes</u>			
jaqueta sem botão	65% poliéster, 35% algodão	640	0,26
jaqueta de trabalho	algodão	652	0,26
jaqueta de trabalho	65% poliéster, 35% algodão	610	0,21
jaqueta de trabalho	100% algodão	885	0,39
jaqueta de trabalho, feminina	65% poliéster, 35% algodão	400	0,24
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	100% algodão	518	0,36
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	algodão	1076	0,4
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	80% lã, 20% nylon	699	0,45
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	algodão	794	0,46
paletó justo, uma fileira de botões	—	850	0,32
paletó justo, uma fileira de botões	algodão	725	0,4

Fonte: Adaptado da ISSO 9920 ¹³

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	50% lã, 50% poliéster	652	0,44
paletó tipo jaquetão, duas fileiras de botões	100% algodão	562	0,42
paletó tipo jaquetão, duas fileiras de botões	50% lã, 50% poliéster	702	0,48
colete	100% algodão	160	0,10
colete	50% lã, 50% poliéster	185	0,17
colete de terno	—	185	0,07
colete de terno	algodão	214	0,13
colete de terno	80% lã, 20% nylon	207	0,13
Casacos			
altura do quadril, folgado	65% poliéster, 35% algodão	745	0,19
alto isolamento, altura do quadril, folgado	poliéster, poliamida	452	0,46
alto isolamento, acima do joelho	poliéster, poliamida	945	0,69
acima do joelho	65% poliéster, 35% algodão	942	0,28
acima do joelho	—	1440	0,67
acima do joelho com capuz	—	1440	0,79
abaixo do joelho	—	1820	0,65
abaixo do joelho	—	650	0,56
tipo jaqueta	—	880	0,55
tipo jaqueta, múltiplos componentes	—	1350	0,69
Sapatos, meias, luvas, chapéus			
gorro, boné	—	100	0,01
luvas grossas	poliamida	82	0,08
meia grossa, 3/4	poliamida	113	0,11
meia grossa, altura do tornozelo	poliamida	77	0,05
meia grossa, altura do tornozelo	—	112	0,05
meia grossa, altura do joelho	80% acrílico, 20% nylon	68	0,06
meia fina, altura do joelho	100% nylon	32	0,03
meia, altura do tornozelo	—	61	0,02
meia 3/4	75% acrílico, 25% nylon	53	0,03
meia esportiva, 3/4	85% acrílico, 15% nylon	82	0,03
meia esportiva, altura do tornozelo	—	49	0,02
sapatos	—	—	0,05
sapatos de camurça, sola de borracha	—	—	0,02

Fonte: Adaptado da ISSO 9920 ¹³

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
sapatos, sola dura, vinil	—	1006	0,03
tênis lona, sola leve	—	812	0,02
tamancos	—	—	0,03
chinelos acolchoado com lã de carneiro	—	186	0,03
sandálias, vinil	—	346	0,02
Saias			
até o tornozelo	100% algodão	284	0,23
até o tornozelo	50% lã, 50% poliéster	378	0,28
até 0,15 m abaixo do joelho	100% algodão	288	0,18
até 0,15 m acima do joelho	100% algodão	179	0,10
até o joelho	100% algodão	229	0,14
até o joelho	50% lã, 50% poliéster	305	0,23
até o joelho	algodão	437	0,17
até o joelho	algodão	519	0,17
até o joelho	80% lã, 20% nylon	330	0,19
até o joelho	35% algodão, 65% poliéster	250	0,15
até o joelho, com abertura	100% algodão	194	0,14
até o joelho, totalmente pregueado	100% algodão	271	0,14
até o joelho, totalmente pregueado	50% lã, 50% poliéster	359	0,22
até o joelho, totalmente pregueado	algodão	612	0,18
até o joelho, plissado	100% algodão	410	0,16
até o joelho, plissado	50% lã, 50% poliéster	539	0,26
Vestidos			
até o joelho, manga longa, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	254	0,32
até o joelho, manga longa, com colarinho	50% lã, 50% poliéster	280	0,47
até o joelho, manga longa, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	283	0,35
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	470	0,41
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	732	0,40
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	1099	0,39
até o joelho, manga curta, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	237	0,29
até o joelho, sem manga, gola esporte	35% algodão, 65% poliéster	153	0,23
até o joelho, sem manga, gola esporte	50% lã, 50% poliéster	141	0,27
até o joelho, sem manga, gola esporte	35% algodão, 65% poliéster	177	0,26

Fonte: Adaptado da ISSO 9920¹³

Itens de Vestuário	material de fabricação	massa (g)	I_{CLU} (clo)
<u>Roupas de proteção</u>			
macacão de proteção química, manga longa		1340	0,60
avental até o joelho, retardante de chama	100% algodão	—	0,12
guarda-pó, acima do joelho	—	547	0,34
guarda-pó, abaixo do joelho	—	575	0,36
casaco, altura do quadril, aluminizado	100% PFR viscose	—	0,63
casaco, altura do quadril, aluminizado	—	830	0,42
casaco, até a panturrilha, aluminizado	100% PFR viscose	—	0,94
capa contra chuva, altura do quadril	—	500	0,31
perneiras, retardante de chama	100% algodão	—	0,08
mangas ombro - pulso, aluminizadas	100% PFR viscose	—	0,11
mangas braço - pulso, retardante de chama	100% algodão	—	0,05

Fonte: Adaptado da ISSO 9920 ¹³

4
VARIÁVEIS QUE DETERMINAM
O CONFORTO TÉRMICO

As variáveis de maior influência no conforto térmico podem ser reunidas em dois grandes grupos: as de natureza ambiental e as de natureza pessoal.

As de natureza ambiental são:

- temperatura do ar (t_a);
- temperatura radiante média (t_{rm});
- velocidade relativa do ar (v_r);
- umidade relativa do ar ambiente (UR).

As de natureza pessoal são:

- tipo de vestimenta (representada pelo seu isolamento térmico);
- tipo de atividade física executada (representada pelo metabolismo).

Essas variáveis foram separadas em dois grupos somente para efeito de classificação, tendo em vista que o efeito combinado de todas essas variáveis é o que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Já foi visto (equação 2) que a primeira condição para se obter conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Essa condição é necessária mas não

suficiente para que haja conforto térmico. Isso pode ser explicado pela eficiência do sistema termorregulador, que consegue manter o equilíbrio térmico do organismo numa ampla faixa de combinações das variáveis pessoais e ambientais, embora o conforto térmico só ocorra numa restrita faixa dessas combinações.

O detalhamento da equação de balanço térmico (equação 2) irá demonstrar que as únicas variáveis fisiológicas dessa equação são a temperatura média da pele (t_p) e o calor eliminado por evaporação do suor (C_{ev}); assim é possível afirmar que a sensação de conforto térmico está relacionada com a magnitude delas.

Os estudos desenvolvidos pelo pesquisador Fanger⁷, na Universidade Estadual de Kansas (EUA), comprovaram que, para cada nível de atividade física executada, existirão certos valores de temperatura média da pele (t_p) e de calor perdido por evaporação do suor (C_{ev}) que resultarão em conforto térmico. Assim, com os resultados dos seus experimentos, Fanger formulou, para a condição de conforto térmico, as seguintes equações que relacionam a temperatura média da pele e o calor perdido por evaporação do suor com o nível de atividade física representada pelo metabolismo (M):

$$t_p = 35,7 - 0,0275 \cdot M \quad (4)$$

$$C_{ev} = 0,42 \cdot (M - 58,2) \quad (5)$$

onde:

t_p - temperatura média da pele, °C

C_{ev} - calor perdido por evaporação do suor, W/m²

M - metabolismo, W/m²

Das equações 4 e 5 observa-se que, com o aumento da atividade física, menor deve ser a temperatura média da pele para se obter a condição de conforto térmico, assim como a taxa de evaporação do suor deve ser maior. Dessa forma, para se alcançar o conforto térmico, numa atividade sedentária em que o trabalhador tem metabolismo $M = 58,2 \text{ W/m}^2$, $t_p = 34^\circ\text{C}$ e $C_{ev} = 0$, enquanto numa atividade pesada $M = 174,6 \text{ W/m}^2$, $t_p = 31^\circ\text{C}$ e $C_{ev} = 49 \text{ W/m}^2$.

O equilíbrio térmico do corpo e o atendimento das equações 4 e 5 são as condições propostas por Fanger para que haja conforto térmico.

5
AVALIAÇÃO DO CONFRONTO
TÉRMICO

Com base na premissa de que para haver conforto térmico numa determinada atividade física o corpo deve estar em equilíbrio térmico, com certa temperatura média de pele (t_p) e perdendo certa quantidade de calor por evaporação do suor (C_{ev}), Fanger⁷ elaborou a equação que permitia, para determinada combinação das variáveis pessoais (tipo de atividade física e vestimenta), calcular todas as combinações das variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar) que produzem o conforto térmico. Essa equação foi chamada de equação de conforto.

A equação de conforto é complexa e de difícil utilização, por isso Fanger⁷ obteve com a ajuda de um computador uma série de combinações das variáveis pessoais e ambientais que resultam em conforto térmico, e as representou nos chamados Diagramas de Conforto.

Os diagramas de conforto mostram de forma gráfica as combinações das variáveis ambientais e pessoais que resultam em conforto térmico, todavia, sob o ponto de vista prático, era necessário conhecer-se o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que tivessem condições diferentes daquelas de conforto térmico. Assim, Fanger⁶ definiu um critério para avaliar esse grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida por ele. Esse critério ele chamou de Voto Médio Estimado (VME).

Os parágrafos a seguir explicam a utilização dos Diagramas de Conforto, o critério dos VME, bem como a relação entre os VME e a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI).

5.1 Diagramas de Conforto

Para a obtenção dos Diagramas de Conforto, Fanger⁶ simplificou algumas variáveis da sua equação de conforto, adotando:

- Três níveis de atividade:

Sedentária: calor metabólico de $58,2 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ Met}$

Média: calor metabólico de $116,4 \text{ W/m}^2 = 2 \text{ Met}$

Pesada: calor metabólico de $174,6 \text{ W/m}^2 = 3 \text{ Met}$

- Quatro possibilidades de vestimenta:

Sem roupa: isolamento térmico de 0 clo

Roupa leve: isolamento térmico de $0,5 \text{ clo}$

Roupa média: isolamento térmico de $1,0 \text{ clo}$

Roupa pesada: isolamento térmico de $1,5 \text{ clo}$

- A temperatura radiante média igual à temperatura de bulbo seco do ambiente, isto é, considerou a inexistência de fontes importantes de radiação.
- A umidade relativa do ar igual a 50%, quando a temperatura radiante média não puder ser considerada igual à temperatura do ambiente. Essa hipótese é válida quando se trata com temperaturas próximas às de conforto, visto que, nesse caso, a umidade relativa tem pouca influência, o que não ocorre para a exposição a temperaturas extremas, quando a umidade tem grande influência na tolerância dos indivíduos.

Dessa forma os diagramas das figuras de 1 a 4 representam graficamente, para temperatura radiante média igual à temperatura do ambiente, as combinações possíveis de nível de atividade, vestimenta, velocidade relativa, umidade e temperatura do ar que proporcionam o conforto térmico. Nesses diagramas, as linhas de conforto são dadas em função da temperatura de bulbo seco, da temperatura de bulbo úmido do ambiente e da velocidade relativa do ar.

Analisando-se esses diagramas, verifica-se que numa condição de conforto térmico a variação da umidade relativa de 0% (ar seco) para 100% (ar saturado) pode ser compensada pela diminuição de temperatura do ambiente de $1,5$ a $3,0^\circ\text{C}$, o que demonstra a pequena influência da umidade em condi

ções próximas às de conforto térmico. Isso é válido para exposições prolongadas, as experiências do pesquisador Yaglou²⁴ demonstraram que para poucos minutos de exposição a umidade relativa tem efeito considerável no conforto térmico.

Considerando agora a umidade relativa igual a 50% e a temperatura radiante média diferente da temperatura do ambiente, os diagramas das figuras de 5 a 8 mostram as linhas de conforto dadas em função da temperatura de bulbo seco, da temperatura radiante média no ambiente e da velocidade relativa do ar.

É importante notar que em alguns diagramas existe um ponto de cruzamento das linhas de conforto. Esse ponto representa a condição em que não corre troca de calor por convecção, isto é, a temperatura do ar é igual à temperatura média da superfície do corpo. À direita desse ponto temos a temperatura do ar maior que a da superfície do corpo e, à esquerda, temos a temperatura do ar menor que a da superfície do corpo.

Os diagramas de conforto de Fanger⁶ permitem a verificação da existência de conforto térmico num ambiente com base nas variáveis ambientais (temperatura radiante média, temperatura, umidade e velocidade relativa do ar) e das pessoais (tipo de vestimenta e atividade). O levantamento dessas variáveis será discutido na seção 6 - Obtenção das variáveis de conforto.

Os seguintes exemplos ilustram a aplicação dos diagramas de conforto.

Exemplo 2

No projeto de um auditório adotou-se a umidade relativa no verão igual a 60% e no inverno 40%. Sabendo-se que não existirão fontes importantes de radiação no ambiente, que a velocidade relativa do ar deve ser inferior a 0,1 m/s, a atividade dos ocupantes será sedentária, o metabolismo $M = 58,2 \text{ W/m}^2$ e o isolamento térmico da vestimenta pode ser considerada no verão 0,5 clo e no inverno 1,0 clo, qual deve ser a temperatura do ambiente no verão e no inverno para o conforto dos ocupantes?

Verão
$M = 58,2 \text{ W/m}^2$
$I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$
$trm = t_a$
$UR = 60\%$
$v_r < 0,1 \text{ m/s}$
$t_a = ?$

Inverno
$M = 58,2 \text{ W/m}^2$
$I_{CL} = 1,0 \text{ clo}$
$trm = t_a$
$UR = 40\%$
$v_r < 0,1 \text{ m/s}$
$t_a = ?$

Como não existem fontes importantes de radiação no ambiente, então $t_{rm} = t_a$, pode-se, assim, usar os diagramas das figuras 2 e 3 para solucionar o problema.

Na figura 2, diagrama para $M = 58,2 \text{ W/m}^2$ e $I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$, traça-se uma perpendicular ao eixo das abcissas passando pelo cruzamento da linha de $UR = 60\%$ com a linha $v < 0,1 \text{ m/s}$ e encontra-se a temperatura para o conforto no verão igual a $25,5^\circ\text{C}$.

Na figura 3, diagrama para $M = 58,2 \text{ W/m}^2$ e $I_{CL} = 1,0 \text{ clo}$, traça-se uma perpendicular ao eixo das abcissas passando pelo cruzamento da linha de $UR = 40\%$ com a linha $v < 0,1 \text{ m/s}$ e encontra-se a temperatura para o conforto no inverno igual a $23,5^\circ\text{C}$.

Exemplo 3

Num local de trabalho, a temperatura do ar é 20°C , a temperatura radiante média 35°C e a umidade relativa 50% . Sabendo-se que a velocidade relativa do ar é de $0,5 \text{ m/s}$, que os trabalhadores desenvolvem atividades moderadas em que o metabolismo $M = 116,4 \text{ W/m}^2$ e vestem roupas com isolamento térmico de $0,5 \text{ clo}$, verificar se existe conforto térmico; em caso negativo, dizer o que pode ser feito quanto à ventilação para que ele seja alcançado.

Dados do problema
$M = 116,4 \text{ W/m}^2$
$I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$
$t_a = 20^\circ\text{C}$
$t_{rm} = 35^\circ\text{C}$
$UR = 50\%$
$v_r = 0,5 \text{ m/s}$

Da figura 6, diagrama para $M = 116,4 \text{ W/m}^2$ e $I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$, pode-se verificar que o cruzamento da linha $t_{rm} = 35^\circ\text{C}$ com a linha $t_a = 20^\circ\text{C}$ está sobre a linha $v_r = 1,5 \text{ m/s}$, assim com $v_r = 0,5 \text{ m/s}$ a situação é de desconforto térmico.

Para a obtenção do conforto, o sistema de ventilação deve ser reestudado de forma a proporcionar velocidade relativa do ar igual a $1,5 \text{ m/s}$.

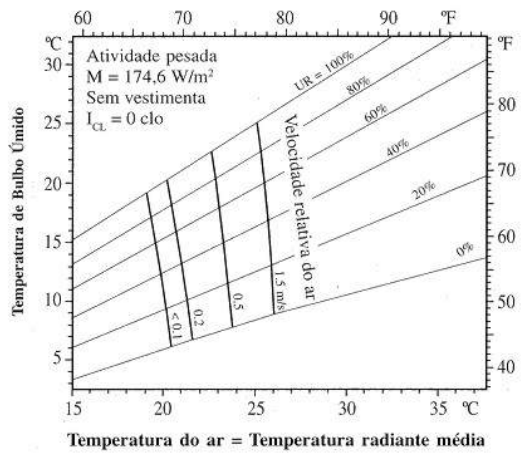
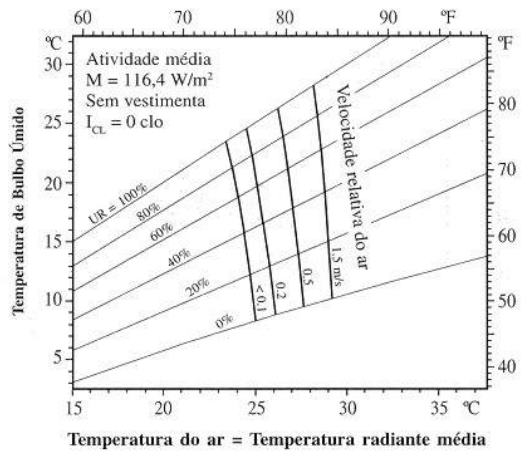
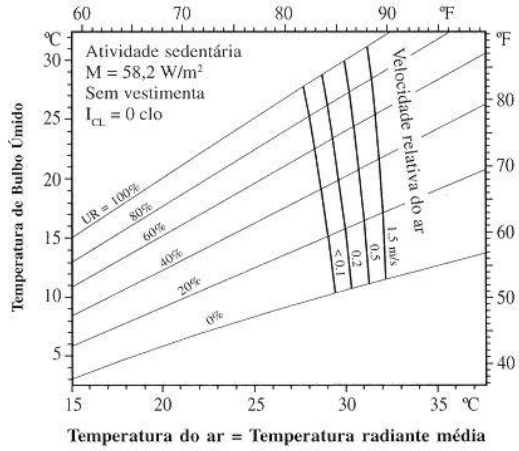


Figura 1 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura de bulbo úmido e da velocidade relativa do ar) para pessoas nuas ($I_{CL} = 0 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e $t_{rm} = t_a$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p.44.

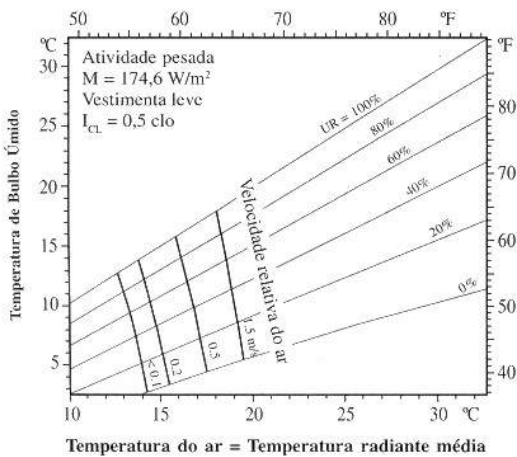
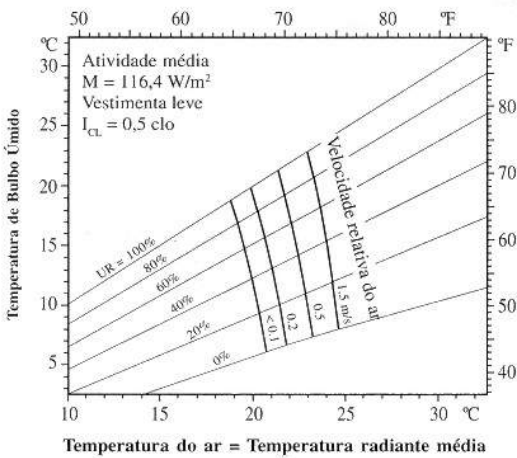
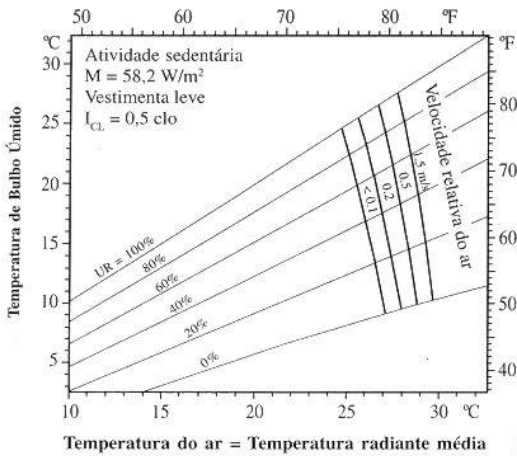


Figura 2 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura de bulbo úmido e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa leve ($I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e $t_{rm} = t_a$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p.45.

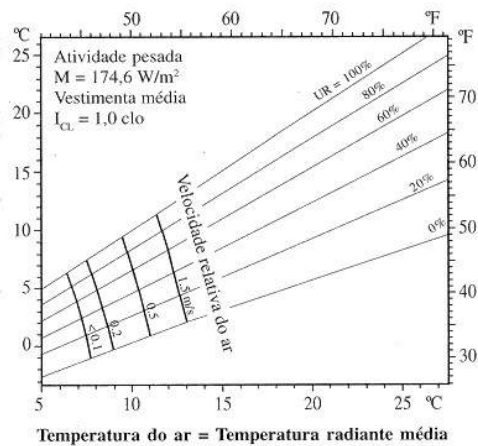
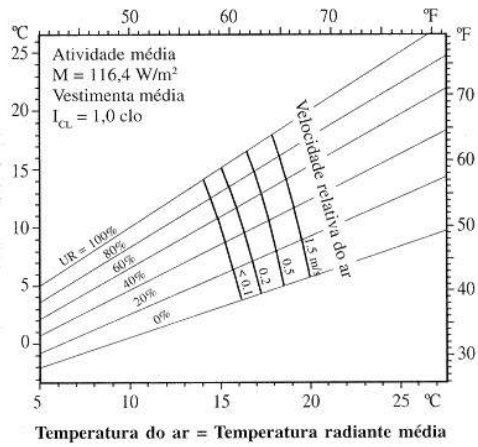
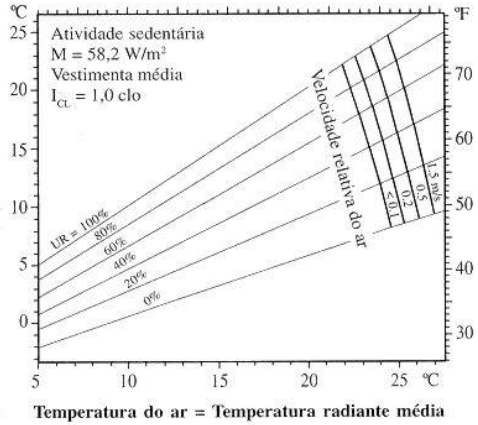


Figura 3 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura de bulbo úmido e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa média ($I_{CL} = 1,0 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e $t_{rm} = t_a$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p.46.

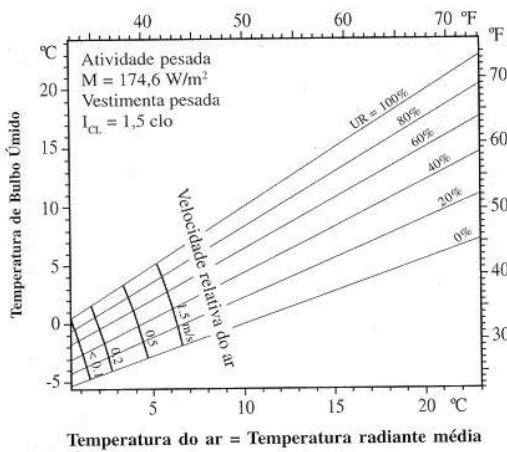
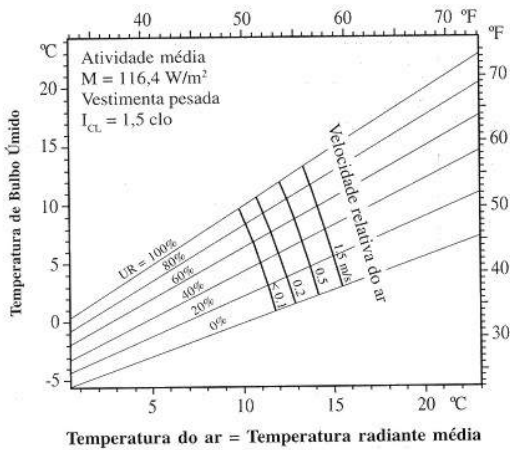
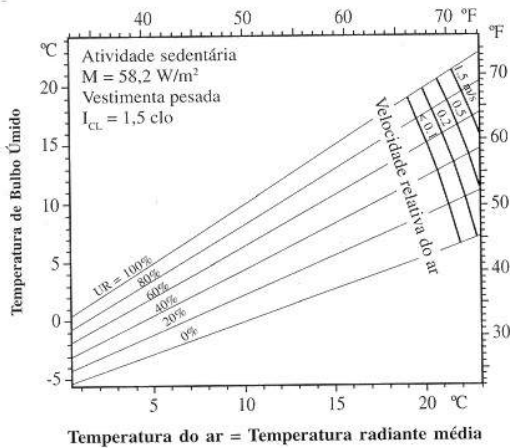


Figura 4 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura de bulbo úmido e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa pesada ($I_{CL} = 1,5 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e $t_{rm} = t_a$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p.47.

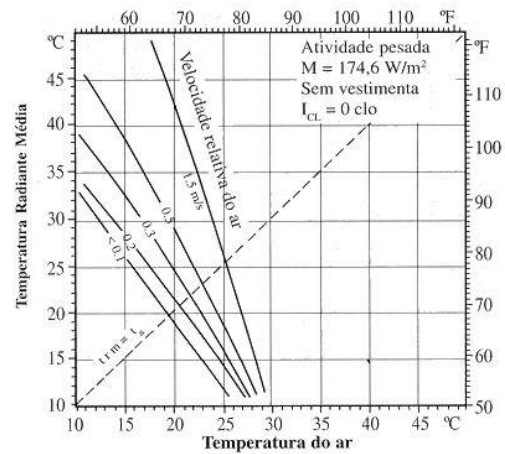
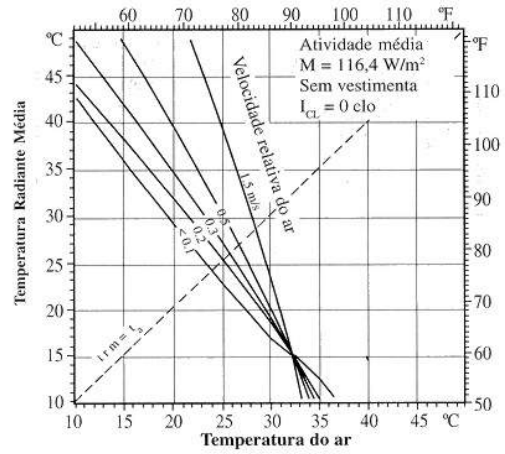
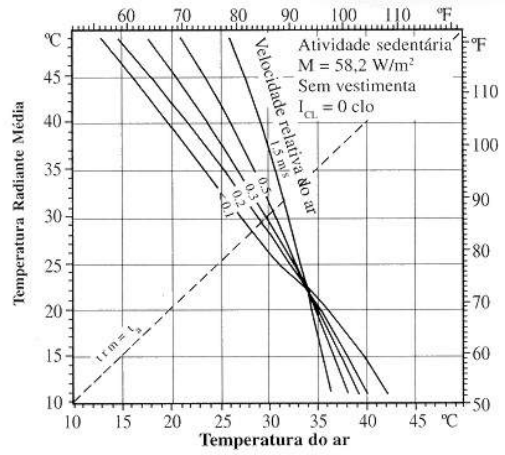


Figura 5 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura radiante média e da velocidade relativa do ar) para pessoas nuas ($I_{CL} = 0 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e UR = 50%

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 51.

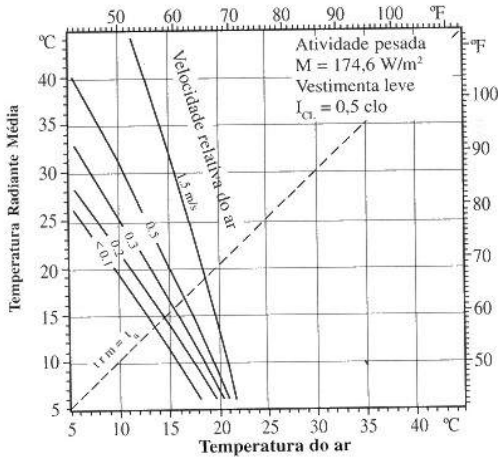
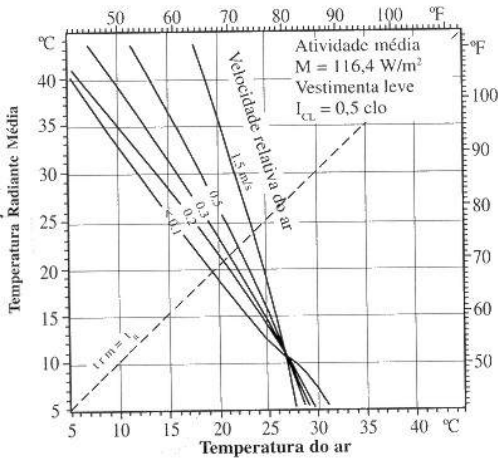
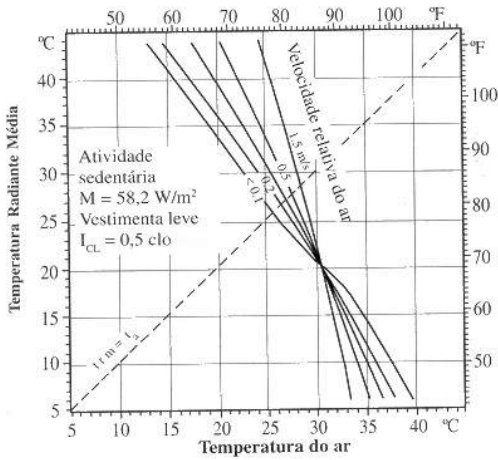


Figura 6 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura radiante média e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa leve ($I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e UR = 50%

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 52.

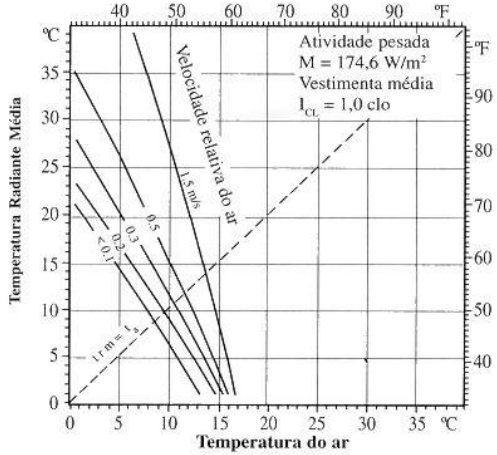
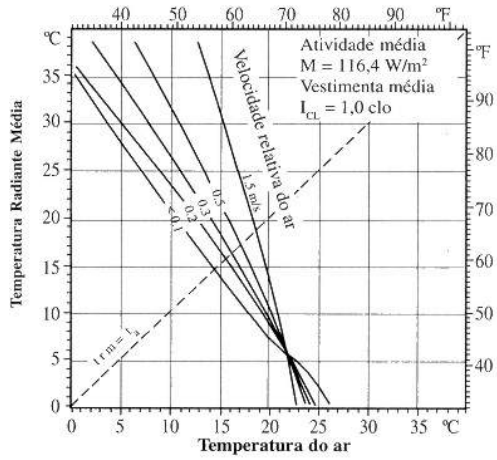
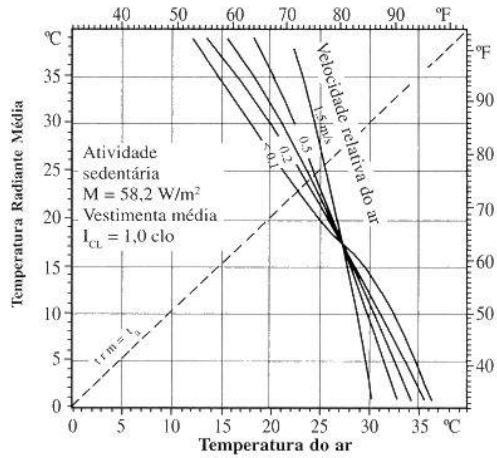


Figura 7 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura radiante média e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa média ($I_{CL} = 1,0$ clo) em três diferentes níveis de atividade e UR = 50%

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 53.

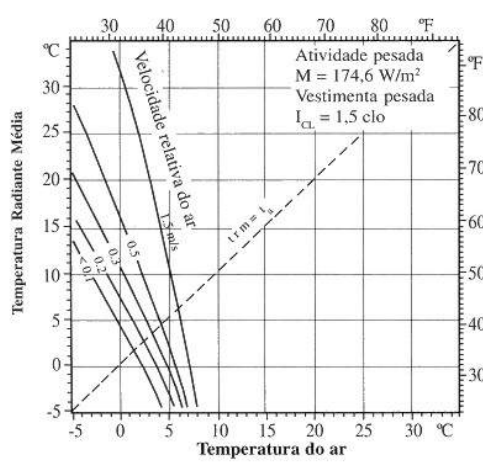
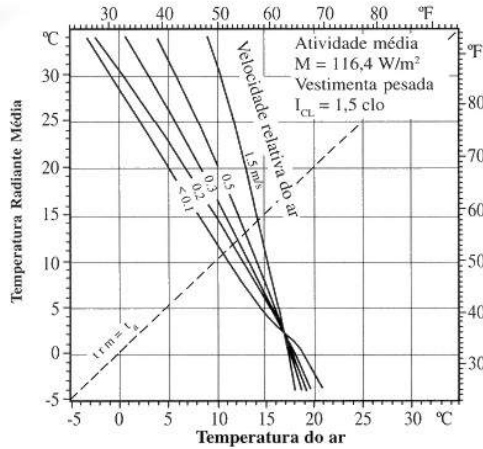
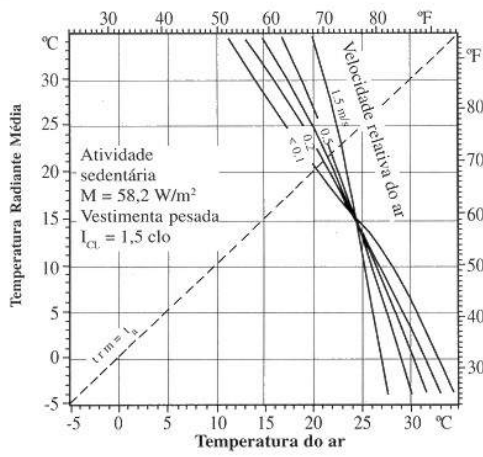


Figura 8 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da temperatura radiante média e da velocidade relativa do ar) para pessoas com roupa pesada ($I_{CL} = 1,5 \text{ clo}$) em três diferentes níveis de atividade e $UR = 50\%$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 54.

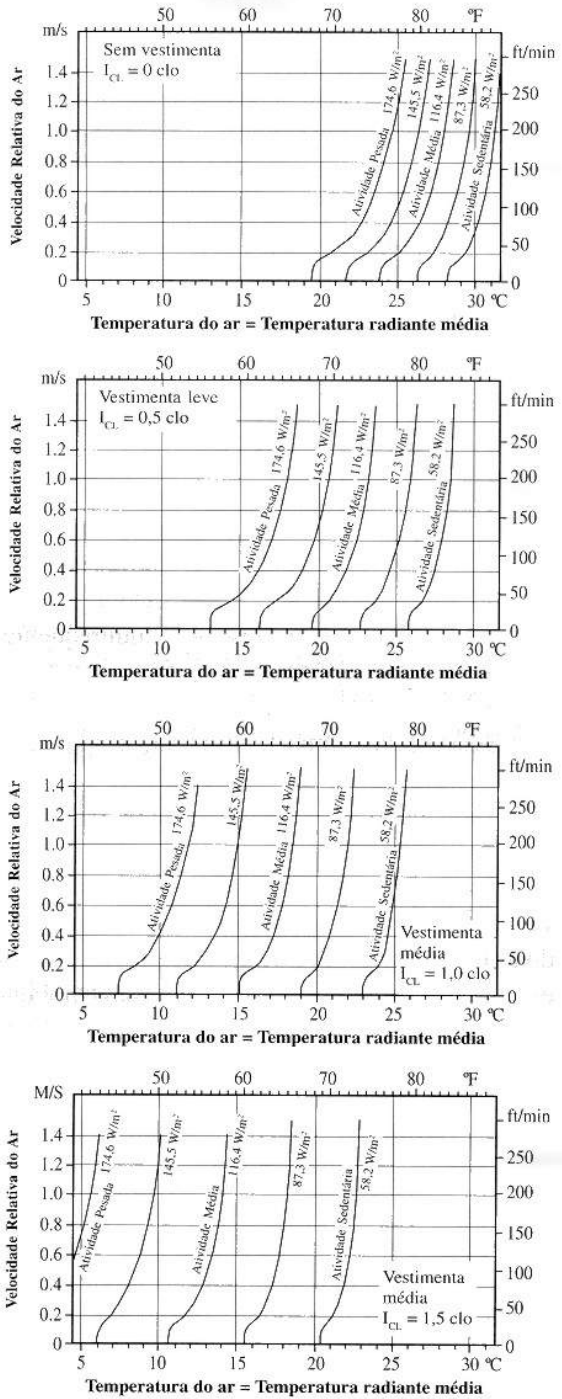


Figura 9 Linhas de conforto (função da temperatura ambiente, da velocidade relativa do ar e nível de atividade) para quatro diferentes tipos de vestimenta, considerando $UR = 50\%$ e $trm = t_a$

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 49.

5.2 Voto Médio Estimado (VME)

Como foi visto anteriormente, os diagramas de conforto só permitem a verificação da existência ou não do conforto térmico. Nas aplicações práticas contudo, é necessário conhecer-se o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que têm condições diferentes daquelas de conforto térmico. Assim Fanger⁶ definiu o critério para avaliar esse grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com a escala de sensação térmica definida por ele.

A escala de sensação térmica definida por Fanger⁶ tem os seguintes níveis:

- 3	-	muito frio
- 2	-	frio
- 1	-	leve sensação de frio
0	-	neutralidade térmica
+ 1	-	leve sensação de calor
+ 2	-	calor
+ 3	-	muito quente

Essa escala é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), 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 relação entre as sensações térmicas da escala estabelecida e as variáveis que influenciam o conforto térmico foi encontrada por Fanger⁶, analisando as informações de várias experiências em que mais de 1300 pessoas foram expostas, de forma controlada, a diversas combinações das variáveis ambientais e pessoais de conforto. As variáveis eram mantidas constantes por 3 horas e, a cada 30 minutos, cada pessoa expressava por meio de voto escrito a sua sensação térmica. Dessa forma, Fanger⁶ elaborou uma equação que permitia obter a sensação térmica para qualquer combinação das variáveis ambientais e pessoais de conforto. Como as sensações foram obtidas mediante o voto, Fanger as denominou Voto Médio Estimado (VME).

A equação do voto médio estimado, a exemplo da equação de conforto, é complexa e de difícil manipulação; assim, para aplicação prática Fanger preparou a Tabela 3, que fornece o voto médio estimado para a combinação de 8 diferentes níveis de atividade, 7 possibilidades de vestimenta, 9 velocidades relativas do ar e 8 temperaturas do ambiente.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME)Grau de atividade física = 58,2W/m² (1 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	26	-1,62	-1,62	-1,96	-2,34					
	27	-1,00	-1,00	-1,36	-1,69					
	28	-0,39	-0,42	-0,76	-1,05					
	29	0,21	0,13	-0,15	-0,39					
	30	0,80	0,68	0,45	0,26					
	31	1,39	1,25	1,08	0,94					
	32	1,96	1,83	1,71	1,61					
	33	2,50	2,41	2,34	2,29					
0,25	24	-1,52	-1,52	-1,80	-2,06	-2,47				
	25	-1,05	-1,05	-1,33	-1,57	-1,94	-2,24	-2,48		
	26	-0,58	-0,61	-0,87	-1,08	-1,41	-1,67	-1,89	-2,66	
	27	-0,12	-0,17	-0,40	-0,58	-0,87	-1,10	-1,29	-1,97	-2,41
	28	0,34	0,27	0,07	-0,09	-0,34	-0,53	-0,70	-1,28	-1,66
	29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	-0,10	-0,58	-0,90
	30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11	-0,14
	31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83	0,63
0,50	23	-1,10	-1,10	-1,33	-1,51	-1,78	-1,99	-2,16		
	24	-0,72	-0,74	-0,95	-1,11	-1,36	-1,55	-1,70	-2,22	
	25	-0,34	-0,38	-0,56	-0,71	-0,94	-1,11	-1,25	-1,71	-1,99
	26	0,04	-0,01	-0,18	-0,31	-0,51	-0,66	-0,79	-1,19	-1,44
	27	0,42	0,35	0,20	0,09	-0,08	-0,22	-0,33	-0,68	-0,90
	28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	-0,17	-0,36
	29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34	0,19
	30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86	0,73
0,75	21	-1,11	-1,11	-1,30	-1,44	-1,66	-1,82	-1,95	-2,36	-2,60
	22	-0,79	-0,81	-0,98	-1,11	-1,31	-1,46	-1,58	-1,95	-2,17
	23	-0,47	-0,50	-0,66	-0,78	-0,96	-1,09	-1,20	-1,55	-1,75
	24	-0,15	-0,19	-0,33	-0,44	-0,61	-0,73	-0,83	-1,14	-1,33

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 58,2W/m² (1 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	25	0,17	0,12	-0,01	-0,11	-0,26	-0,37	-0,46	-0,74	-0,90
	26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	-0,08	-0,33	-0,48
	27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08	-0,05
	28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48	0,37
1,00	20	-0,85	-0,87	-1,02	-1,13	-1,29	-1,41	-1,51	-1,81	-1,98
	21	-0,57	-0,60	-0,74	-0,84	-0,99	-1,11	-1,19	-1,47	-1,63
	22	-0,30	-0,33	-0,46	-0,55	-0,69	-0,80	-0,88	-1,13	-1,28
	23	-0,02	-0,07	-0,18	-0,27	-0,39	-0,49	-0,56	-0,79	-0,93
	24	0,26	0,20	0,10	0,02	-0,09	-0,18	-0,25	-0,46	-0,58
	25	0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	-0,12	-0,23
	26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22	0,13
	27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56	0,48
1,25	16	-1,37	-1,37	-1,51	-1,62	-1,78	-1,89	-1,98	-2,26	-2,41
	18	-0,89	-0,91	-1,04	-1,14	-1,28	-1,38	-1,46	-1,70	-1,84
	20	-0,42	-0,46	-0,57	-0,65	-0,77	-0,86	-0,93	-1,14	-1,26
	22	0,07	0,02	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,56	-0,66
	24	0,56	0,50	0,43	0,37	0,28	0,22	0,17	0,02	-0,06
	26	1,04	0,99	0,93	0,88	0,81	0,76	0,72	0,61	0,54
	28	1,53	1,48	1,43	1,40	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
	30	2,01	1,97	1,93	1,91	1,88	1,85	1,83	1,77	1,74
1,50	14	-1,36	-1,36	-1,49	-1,58	-1,72	-1,82	-1,89	-2,12	-2,25
	16	-0,94	-0,95	-1,07	-1,15	-1,27	-1,36	-1,43	-1,63	-1,75
	18	-0,52	-0,54	-0,64	-0,72	-0,82	-0,90	-0,96	-1,14	-1,24
	20	-0,09	-0,13	-0,22	-0,28	-0,37	-0,44	-0,49	-0,65	-0,74
	22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	-0,14	-0,21
	24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37	0,31
	26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89	0,84
	28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40	1,37

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)Grau de atividade física = 70W/m² (1,2 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
		0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92			
	26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
	27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
	28	0,15	0,12	-0,14	-0,36					
	29	0,63	0,56	0,35	0,17					
	30	1,10	1,01	0,84	0,69					
	31	1,57	1,47	1,34	1,24					
	32	2,03	1,93	1,85	1,78					
0,25	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
	24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
	25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
	26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65	-2,04
	27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	-1,43
	28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54	-0,82
	29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02	-0,22
	30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	0,39
0,50	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	-2,46
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	-1,59
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	0,01	-0,11	-0,21	-0,52	-0,71
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	0,31	0,16
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	1,04
	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	1,95
0,75	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
	18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
	20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	-2,02

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 70W/m² (1,2 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	-1,34
	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	-0,65
	26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	0,03
	28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	0,72
	30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	1,41
1,00	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	-2,29
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	-1,75
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	-1,20
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	-0,64
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	-0,07
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57	0,50
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	1,06
	30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	1,63
1,25	14	-1,12	-1,12	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58	-1,66	-1,90	-2,04
	16	-0,74	-0,75	-0,86	-0,95	-1,07	-1,16	-1,23	-1,45	-1,57
	18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,55	-0,66	-0,74	-0,81	-1,00	-1,11
	20	0,02	-0,01	-0,10	-0,16	-0,26	-0,33	-0,38	-0,55	-0,64
	22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,08	-0,16
	24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,51	0,39	0,33
	26	1,21	1,16	1,11	1,08	1,03	0,99	0,96	0,87	0,82
	28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34	1,30
1,50	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	-1,86
	14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	-1,45
	16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	-1,05
	18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	-0,64
	20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	-0,23
	22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	0,19
	24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	0,62
	26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	1,05

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)Grau de atividade física = 81,5W/m² (1,4 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	24	-1,14	-1,14	-1,35	-1,65					
	25	-0,72	-0,72	-0,95	-1,21					
	26	-0,30	-0,30	-0,54	-0,78					
	27	0,11	0,11	-0,14	-0,34					
	28	0,52	0,48	0,27	0,10					
	29	0,92	0,85	0,69	0,54					
	30	1,31	1,23	1,10	0,99					
	31	1,71	1,62	1,52	1,45					
0,25	22	-0,95	-0,95	-1,12	-1,33	-1,64	-1,90	-2,11		
	23	-0,63	-0,63	-0,81	-0,99	-1,28	-1,51	-1,71	-2,38	
	24	-0,31	-0,31	-0,50	-0,66	-0,92	-1,13	-1,31	-1,91	-2,31
	25	0,01	0,00	-0,18	-0,33	-0,56	-0,75	-0,90	-1,45	-1,80
	26	0,33	0,30	0,14	0,01	-0,20	-0,36	-0,50	-0,98	-1,29
	27	0,64	0,59	0,45	0,34	0,16	0,02	-0,10	-0,51	-0,78
	28	0,95	0,89	0,77	0,68	0,53	0,41	0,31	-0,04	-0,27
	29	1,26	1,19	1,09	1,02	0,89	0,80	0,72	0,43	0,24
0,50	18	-1,36	-1,36	-1,49	-1,66	-1,93	-2,12	-2,29		
	20	-0,85	-0,85	-1,00	-1,14	-1,37	-1,54	-1,68	-2,15	-2,43
	22	-0,33	-0,33	-0,48	-0,61	-0,80	-0,95	-1,06	-1,46	-1,70
	24	0,19	0,17	0,04	-0,07	-0,22	-0,34	-0,44	-0,76	-0,96
	26	0,71	0,66	0,56	0,48	0,35	0,26	0,18	-0,07	-0,23
	28	1,22	1,16	1,09	1,03	0,94	0,87	0,81	0,63	0,51
	30	1,72	1,66	1,62	1,58	1,52	1,48	1,44	1,33	1,25
	32	2,23	2,19	2,17	2,16	2,13	2,11	2,10	2,05	2,02
0,75	16	-1,17	-1,17	-1,29	-1,42	-1,62	-1,77	-1,88	-2,26	-2,48
	18	-0,75	-0,75	-0,87	-0,99	-1,16	-1,29	-1,39	-1,72	-1,92
	20	-0,33	-0,33	-0,45	-0,55	-0,70	-0,82	-0,91	-1,19	-1,36

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 81,5W/m² (1,4 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
		0,75	22	0,11	0,09	-0,02	-0,10	-0,23	-0,32	-0,40
	24	0,55	0,51	0,42	0,35	0,25	0,17	0,11	-0,09	-0,20
	26	0,98	0,94	0,87	0,81	0,73	0,67	0,62	0,47	0,37
	28	1,41	1,36	1,31	1,27	1,21	1,17	1,13	1,02	0,95
	30	1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,65	1,58	1,53
1,00	14	-1,05	-1,05	-1,16	-1,26	-1,42	-1,53	-1,62	-1,91	-2,07
	16	-0,69	-0,69	-0,80	-0,89	-1,03	-1,13	-1,21	-1,46	-1,61
	18	-0,32	-0,32	-0,43	-0,52	-0,64	-0,73	-0,80	-1,02	-1,15
	20	0,04	0,03	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,58	-0,69
	22	0,42	0,39	0,31	0,25	0,16	0,10	0,05	-0,12	-0,21
	24	0,80	0,76	0,70	0,65	0,57	0,52	0,48	0,35	0,27
	26	1,18	1,13	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,81	0,75
	28	1,55	1,51	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35	1,27	1,23
1,25	12	-0,97	-0,97	-1,06	-1,15	-1,28	-1,37	-1,45	-1,67	-1,80
	14	-0,65	-0,65	-0,75	-0,82	-0,94	-1,02	-1,09	-1,29	-1,40
	16	-0,33	-0,33	-0,43	-0,50	-0,60	-0,67	-0,73	-0,91	-1,01
	18	-0,01	-0,02	-0,10	-0,17	-0,26	-0,32	-0,37	-0,53	-0,62
	20	0,32	0,29	0,22	0,17	0,09	0,03	-0,01	-0,15	-0,22
	22	0,65	0,62	0,56	0,52	0,45	0,40	0,36	0,25	0,18
	24	0,99	0,95	0,90	0,87	0,81	0,77	0,74	0,65	0,59
	26	1,32	1,28	1,25	1,22	1,18	1,14	1,12	1,05	1,00
1,50	10	-0,91	-0,91	-1,00	-1,08	-1,18	-1,26	-1,32	-1,51	-1,61
	12	-0,63	-0,63	-0,71	-0,78	-0,88	-0,95	-1,01	-1,17	-1,27
	14	-0,34	-0,34	-0,43	-0,49	-0,58	-0,64	-0,69	-0,84	-0,92
	16	-0,05	-0,06	-0,14	-0,19	-0,27	-0,33	-0,37	-0,50	-0,58
	18	0,24	0,22	0,15	0,11	0,04	-0,01	-0,05	-0,17	-0,23
	20	0,53	0,50	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,17	0,11
	22	0,83	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,60	0,52	0,47
	24	1,13	1,10	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,87	0,83

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)

Grau de atividade física = 93,1W/m² (1,6 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	23	-1,12	-1,12	-1,29	-1,57					
	24	-0,74	-0,74	-0,93	-1,18					
	25	-0,36	-0,36	-0,57	-0,79					
	26	0,01	0,01	-0,20	-0,40					
	27	0,38	0,37	0,17	0,00					
	28	0,75	0,70	0,53	0,39					
	29	1,11	1,04	0,90	0,79					
	30	1,46	1,38	1,27	1,19					
0,25	16	-2,29	-2,29	-2,36	-2,62					
	18	-1,72	-1,72	-1,83	-2,06	-2,42				
	20	-1,15	-1,15	-1,29	-1,49	-1,80	-2,05	-2,26		
	22	-0,58	-0,58	-0,73	-0,90	-1,17	-1,38	-1,55	-2,17	-2,58
	24	-0,01	-0,01	-0,17	-0,31	-0,53	-0,70	-0,84	-1,35	-1,68
	26	0,56	0,53	0,39	0,29	0,12	-0,02	-0,13	-0,52	-0,78
	28	1,12	1,06	0,96	0,89	0,77	0,67	0,59	0,31	0,12
	30	1,66	1,60	1,54	1,49	1,42	1,36	1,31	1,14	1,02
0,50	14	-1,85	-1,85	-1,94	-2,12	-2,40				
	16	-1,40	-1,40	-1,50	-1,67	-1,92	-2,11	-2,26		
	18	-0,95	-0,95	-1,07	-1,21	-1,43	-1,59	-1,73	-2,18	-2,46
	20	-0,49	-0,49	-0,62	-0,75	-0,94	-1,08	-1,20	-1,59	-1,82
	22	-0,03	-0,03	-0,16	-0,27	-0,43	-0,55	-0,65	-0,98	-1,18
	24	0,43	0,41	0,30	0,21	0,08	-0,02	-0,10	-0,37	-0,53
	26	0,89	0,85	0,76	0,70	0,60	0,52	0,46	0,25	0,12
	28	1,34	1,29	1,23	1,18	1,11	1,06	1,01	0,86	0,77
0,75	14	-1,16	-1,16	-1,26	-1,38	-1,57	-1,71	-1,82	-2,17	-2,38
	16	-0,79	-0,79	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	-1,88
	18	-0,41	-0,41	-0,52	-0,62	-0,76	-0,87	-0,96	-1,23	-1,39

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 93,1 W/m² (1,6 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	20	-0,04	-0,04	-0,15	-0,23	-0,36	-0,45	-0,52	-0,76	-0,90
	22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	-0,01	-0,07	-0,27	-0,39
	24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21	0,12
	26	1,12	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70	0,62
	28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
1,00	12	-1,01	-1,01	-1,10	-1,19	-1,34	-1,45	-1,53	-1,79	-1,94
	14	-0,68	-0,68	-0,78	-0,87	-1,00	-1,09	-1,17	-1,40	-1,54
	16	-0,36	-0,36	-0,46	-0,53	-0,65	-0,74	-0,80	-1,01	-1,13
	18	-0,04	-0,04	-0,13	-0,20	-0,30	-0,38	-0,44	-0,62	-0,73
	20	0,28	0,27	0,19	0,13	0,04	-0,02	-0,07	-0,23	-0,32
	22	0,62	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,31	0,17	0,10
	24	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,73	0,69	0,58	0,52
	26	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,10	1,07	0,99	0,94
1,25	10	-0,90	-0,90	-0,98	-1,06	-1,18	-1,27	-1,33	-1,54	-1,66
	12	-0,62	-0,62	-0,70	-0,77	-0,88	-0,96	-1,02	-1,21	-1,31
	14	-0,33	-0,33	-0,42	-0,48	-0,58	-0,65	-0,70	-0,87	-0,97
	16	-0,05	-0,05	-0,13	-0,19	-0,28	-0,34	-0,39	-0,54	-0,62
	18	0,24	0,22	0,15	0,10	0,03	-0,03	-0,07	-0,20	-0,28
	20	0,52	0,50	0,44	0,40	0,33	0,29	0,25	0,14	0,07
	22	0,82	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,49	0,43
	24	1,12	1,09	1,05	1,02	0,97	0,94	0,92	0,84	0,79
1,50	8	-0,82	-0,82	-0,89	-0,96	-1,06	-1,13	-1,19	-1,36	-1,45
	10	-0,57	-0,57	-0,65	-0,71	-0,80	-0,86	-0,92	-1,07	-1,16
	12	-0,32	-0,32	-0,39	-0,45	-0,53	-0,59	-0,64	-0,78	-0,85
	14	-0,06	-0,07	-0,14	-0,19	-0,26	-0,31	-0,36	-0,48	-0,55
	16	0,19	0,18	0,12	0,07	0,01	-0,04	-0,07	-0,19	-0,25
	18	0,45	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,21	0,11	0,05
	20	0,71	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,49	0,41	0,36
	22	0,97	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,79	0,72	0,68

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)

Grau de atividade física = 104,8W/m² (1,8 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	22	-1,05	-1,05	-1,19	-1,46					
	23	-0,70	-0,70	-0,86	-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	0,66	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	16	-1,79	-1,79	-1,86	-2,09	-2,46				
	18	-1,28	-1,28	-1,38	-1,58	-1,90	-2,16	-2,37		
	20	-0,76	-0,76	-0,89	-1,06	-1,34	-1,56	-1,75	-2,39	-2,82
	22	-0,24	-0,24	-0,38	-0,53	-0,76	-0,95	-1,10	-1,65	-2,01
	24	0,28	0,28	0,13	0,01	-0,18	-0,33	-0,46	-0,90	-1,19
	26	0,79	0,76	0,64	0,55	0,40	0,29	0,19	-0,15	-0,38
	28	1,29	1,24	1,16	1,10	0,99	0,91	0,84	0,60	0,44
	30	1,79	1,73	1,68	1,65	1,59	1,54	1,50	1,36	1,27
0,50	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	-2,51
	18	-0,59	-0,59	-0,70	-0,83	-1,02	-1,17	-1,29	-1,69	-1,94
	20	-0,18	-0,18	-0,30	-0,41	-0,58	-0,71	-0,81	-1,15	-1,36
	22	0,24	0,23	0,12	0,02	-0,12	-0,22	-0,31	-0,60	-0,78
	24	0,66	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26	0,19	-0,04	-0,19
	26	1,07	1,03	0,96	0,90	0,82	0,75	0,69	0,51	0,40
	28	1,48	1,44	1,39	1,35	1,29	1,24	1,20	1,07	1,00
0,75	12	-1,15	-1,15	-1,23	-1,35	-1,53	-1,67	-1,78	-2,13	-2,33
	14	-0,81	-0,81	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	-1,89
	16	-0,46	-0,46	-0,56	-0,66	-0,80	-0,91	-1,00	-1,28	-1,44

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 104,8W/m² (1,8 Met)

Isolamento Térmica Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	18	- 0,12	- 0,12	- 0,22	- 0,31	- 0,43	- 0,53	- 0,61	- 0,85	- 0,99
	20	0,22	0,21	0,12	0,04	- 0,07	- 0,15	- 0,21	- 0,42	- 0,55
	22	0,57	0,55	0,47	0,41	0,32	0,25	0,20	0,02	- 0,09
	24	0,92	0,89	0,83	0,78	0,71	0,65	0,60	0,46	0,38
	26	1,28	1,24	1,19	1,15	1,09	1,05	1,02	0,91	0,84
1,00	10	- 0,97	- 0,97	- 1,04	- 1,14	- 1,28	- 1,39	- 1,47	- 1,73	- 1,88
	12	- 0,68	- 0,68	- 0,76	- 0,84	- 0,97	- 1,07	- 1,14	- 1,38	- 1,51
	14	- 0,38	- 0,38	- 0,46	- 0,54	- 0,66	- 0,74	- 0,81	- 1,02	- 1,14
	16	- 0,09	- 0,09	- 0,17	- 0,24	- 0,35	- 0,42	- 0,48	- 0,67	- 0,78
	18	0,21	0,20	0,12	0,06	- 0,03	- 0,10	- 0,15	- 0,31	- 0,41
	20	0,50	0,48	0,42	0,36	0,29	0,23	0,18	0,04	- 0,04
	22	0,81	0,78	0,73	0,68	0,62	0,57	0,53	0,41	0,35
	24	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,88	0,78	0,73
1,25	8	- 0,84	- 0,84	- 0,91	- 0,99	- 1,10	- 1,19	- 1,25	- 1,46	- 1,57
	10	- 0,59	- 0,59	- 0,66	- 0,73	- 0,84	- 0,91	- 0,97	- 1,16	- 1,26
	12	- 0,33	- 0,33	- 0,40	- 0,47	- 0,56	- 0,63	- 0,69	- 0,86	- 0,95
	14	- 0,07	- 0,07	- 0,14	- 0,20	- 0,29	- 0,35	- 0,40	- 0,55	- 0,63
	16	0,19	0,18	0,12	0,06	- 0,01	- 0,07	- 0,11	- 0,24	- 0,32
	18	0,45	0,44	0,38	0,33	0,26	0,22	0,18	0,06	0,00
	20	0,71	0,69	0,64	0,60	0,54	0,50	0,47	0,37	0,31
	22	0,98	0,96	0,91	0,88	0,83	0,80	0,77	0,69	0,64
1,50	- 2	- 1,63	- 1,63	- 1,68	- 1,77	- 1,90	- 2,00	- 2,07	- 2,29	- 2,41
	2	- 1,19	- 1,19	- 1,25	- 1,33	- 1,44	- 1,52	- 1,58	- 1,78	- 1,88
	6	- 0,74	- 0,74	- 0,80	- 0,87	- 0,97	- 1,04	- 1,09	- 1,26	- 1,35
	10	- 0,29	- 0,29	- 0,36	- 0,42	- 0,50	- 0,56	- 0,60	- 0,74	- 0,82
	14	0,17	0,17	0,11	0,06	- 0,01	- 0,05	- 0,09	- 0,20	- 0,26
	18	0,64	0,62	0,57	0,54	0,49	0,45	0,42	0,34	0,29
	22	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,89	0,85
	26	1,61	1,58	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	1,46	1,44

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)

Grau de atividade física = 116,4 W/m² (2 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	18		-2,00	-2,02	-2,35					
	20		-1,35	-1,43	-1,72					
	22		-0,69	-0,82	-1,06					
	24		-0,04	-0,21	-0,41					
	26		0,59	0,41	0,26					
	28		1,16	1,03	0,93					
	30		1,73	1,66	1,60					
	32		2,33	2,32	2,31					
0,25	16		-1,41	-1,48	-1,69	-2,02	-2,29	-2,51		
	18		-0,93	-1,03	-1,21	-1,50	-1,74	-1,93	-2,61	
	20		-0,45	-0,57	-0,73	-0,98	-1,18	-1,35	-1,93	-2,32
	22		0,04	-0,09	-0,23	-0,44	-0,61	-0,75	-1,24	-1,56
	24		0,52	0,38	0,28	0,10	-0,03	-0,14	-0,54	-0,80
	26		0,97	0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,16	-0,04
	28		1,42	1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,86	0,72
	30		1,88	1,84	1,81	1,76	1,72	1,68	1,57	1,49
0,50	14		-1,08	-1,16	-1,31	-1,53	-1,71	-1,85	-2,32	
	16		-0,69	-0,79	-0,92	-1,12	-1,27	-1,40	-1,82	-2,07
	18		-0,31	-0,41	-0,53	-0,70	-0,84	-0,95	-1,31	-1,54
	20		0,07	-0,04	-0,14	-0,29	-0,40	-0,50	-0,81	-1,00
	22		0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	-0,03	-0,29	-0,45
	24		0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23	0,10
	26		1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75	0,65
	28		1,59	1,55	1,51	1,46	1,42	1,38	1,27	1,21
0,75	10		-1,16	-1,23	-1,35	-1,54	-1,67	-1,78	-2,14	-2,34
	12		-0,84	-0,92	-1,03	-1,20	-1,32	-1,42	-1,74	-1,93
	14		-0,52	-0,60	-0,70	-0,85	-0,97	-1,06	-1,34	-1,51

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 116,4 W/m² (2 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	16	-0,20	-0,29	-0,38	-0,51	-0,61	-0,69	-0,95	-1,10	
	18	0,12	0,03	-0,05	-0,17	-0,26	-0,32	-0,55	-0,68	
	20	0,43	0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	-0,15	-0,26	
	22	0,75	0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27	0,17	
	24	1,07	1,01	0,97	0,90	0,85	0,81	0,68	0,61	
1,00	8	-0,95	-1,02	-1,11	-1,26	-1,36	-1,45	-1,71	-1,86	
	10	-0,68	-0,75	-0,84	-0,97	-1,07	-1,15	-1,38	-1,52	
	12	-0,41	-0,48	-0,56	-0,68	-0,77	-0,84	-1,05	-1,18	
	14	-0,13	-0,21	-0,28	-0,39	-0,47	-0,53	-0,72	-0,83	
	16	0,14	0,06	0,00	-0,10	-0,16	-0,22	-0,39	-0,49	
	18	0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	-0,06	-0,14	
	20	0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28	0,20	
	22	0,96	0,91	0,87	0,81	0,76	0,73	0,62	0,56	
1,25	-2	-1,74	-1,77	-1,88	-2,04	-2,15	-2,24	-2,51	-2,66	
	2	-1,27	-1,32	-1,42	-1,55	-1,65	-1,73	-1,97	-2,10	
	6	-0,80	-0,86	-0,94	-1,06	-1,14	-1,21	-1,41	-1,53	
	10	-0,33	-0,40	-0,47	-0,56	-0,64	-0,69	-0,86	-0,96	
	14	0,15	0,08	0,03	-0,05	-0,11	-0,15	-0,29	-0,37	
	18	0,63	0,57	0,53	0,47	0,42	0,39	0,28	0,22	
	22	1,11	1,08	1,05	1,00	0,97	0,95	0,87	0,83	
	26	1,62	1,60	1,58	1,55	1,53	1,52	1,47	1,45	
1,50	-4	-1,52	-1,56	-1,65	-1,78	-1,87	-1,95	-2,16	-2,28	
	0	-1,11	-1,16	-1,24	-1,35	-1,44	-1,50	-1,69	-1,79	
	4	-0,69	-0,75	-0,82	-0,92	-0,99	-1,04	-1,20	-1,29	
	8	-0,27	-0,33	-0,39	-0,47	-0,53	-0,58	-0,72	-0,79	
	12	0,15	0,09	0,05	-0,02	-0,07	-0,11	-0,22	-0,29	
	16	0,58	0,53	0,49	0,44	0,40	0,37	0,28	0,23	
	20	1,01	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,79	0,75	
	24	1,47	1,44	1,43	1,40	1,38	1,36	1,32	1,29	

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)

Grau de atividade física = 139,7 W/m² (2,4 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Temperatura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	16			-1,88	-2,22					
	18			-1,34	-1,63					
	20			-0,79	-1,05					
	22			-0,23	-0,44					
	24			0,34	0,17					
	26			0,91	0,78					
	28			1,49	1,40					
	30			2,07	2,03					
0,25	14			-1,31	-1,52	-1,85	-2,12	-2,34		
	16			-0,89	-1,08	-1,37	-1,61	-1,81	-2,49	
	18			-0,47	-0,63	-0,89	-1,10	-1,27	-1,87	-2,26
	20			-0,05	-0,19	-0,41	-0,58	-0,73	-1,24	-1,58
	22			0,39	0,28	0,09	-0,05	-0,17	-0,60	-0,88
	24			0,84	0,74	0,60	0,48	0,39	0,05	-0,17
	26			1,28	1,22	1,11	1,02	0,95	0,70	0,53
	28			1,73	1,69	1,62	1,56	1,51	1,35	1,24
0,50	12			-0,97	-1,11	-1,34	-1,51	-1,65	-2,12	-2,40
	14			-0,62	-0,76	-0,96	-1,11	-1,24	-1,65	-1,91
	16			-0,28	-0,40	-0,58	-0,71	-0,82	-1,19	-1,42
	18			0,07	-0,03	-0,19	-0,31	-0,41	-0,73	-0,92
	20			0,42	0,33	0,20	0,10	0,01	-0,26	-0,43
	22			0,78	0,71	0,60	0,52	0,45	0,22	0,08
	24			1,15	1,09	1,00	0,94	0,88	0,70	0,59
	26			1,52	1,47	1,41	1,36	1,32	1,19	1,11
0,75	10			-0,71	-0,82	-0,99	-1,11	-1,21	-1,53	-1,71
	12			-0,42	-0,52	-0,67	-0,79	-0,88	-1,16	-1,33
	14			-0,13	-0,22	-0,36	-0,46	-0,54	-0,79	-0,94

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 139,7 W/m² (2,4 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta- clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,75	16			0,16	0,08	- 0,04	- 0,13	- 0,20	- 0,42	- 0,56
	18			0,45	0,38	0,28	0,20	0,14	- 0,05	- 0,17
	20			0,75	0,69	0,60	0,54	0,49	0,32	0,22
	22			1,06	1,01	0,94	0,88	0,84	0,70	0,62
	24			1,37	1,33	1,27	1,23	1,20	1,09	1,02
1,00	6			- 0,78	- 0,87	- 1,01	- 1,12	- 1,20	- 1,45	- 1,60
	8			- 0,54	- 0,62	- 0,75	- 0,85	- 0,92	- 1,15	- 1,29
	10			- 0,29	- 0,37	- 0,49	- 0,57	- 0,64	- 0,86	- 0,98
	12			- 0,04	- 0,11	- 0,22	- 0,29	- 0,36	- 0,55	- 0,66
	14			0,21	0,15	0,06	- 0,01	- 0,07	- 0,24	- 0,34
	16			0,47	0,41	0,33	0,27	0,22	0,07	- 0,02
	18			0,73	0,68	0,60	0,55	0,51	0,38	0,30
	20			0,98	0,94	0,88	0,84	0,80	0,69	0,62
1,25	- 4			- 1,46	- 1,56	- 1,72	- 1,83	- 1,91	- 2,17	- 2,32
	0			- 1,05	- 1,14	- 1,27	- 1,37	- 1,44	- 1,67	- 1,80
	4			- 0,62	- 0,70	- 0,81	- 0,90	- 0,96	- 1,16	- 1,27
	8			- 0,19	- 0,26	- 0,35	- 0,42	- 0,48	- 0,64	- 0,74
	12			0,25	0,20	0,12	0,06	0,02	- 0,12	- 0,20
	16			0,70	0,66	0,60	0,55	0,52	0,41	0,35
	20			1,16	1,13	1,08	1,05	1,02	0,94	0,90
	24			1,65	1,63	1,60	1,57	1,56	1,51	1,48
1,50	- 8			- 1,44	- 1,53	- 1,67	- 1,76	- 1,83	- 2,05	- 2,17
	- 4			- 1,07	- 1,15	- 1,27	- 1,35	- 1,42	- 1,61	- 1,72
	0			- 0,70	- 0,77	- 0,87	- 0,94	- 1,00	- 1,17	- 1,27
	4			- 0,31	- 0,37	- 0,46	- 0,53	- 0,57	- 0,72	- 0,80
	8			0,07	0,02	- 0,05	- 0,10	- 0,14	- 0,27	- 0,34
	12			0,47	0,43	0,37	0,33	0,29	0,19	0,14
	16			0,88	0,85	0,80	0,77	0,74	0,66	0,62
	20			1,29	1,27	1,24	1,21	1,19	1,13	1,10

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Tabela 3 Votos Médios Estimados (VME) (continuação)

Grau de atividade física = 174,6 W/m² (3 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Temperatura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	14				-1,92	-2,49				
	16				-1,36	-1,87				
	18				-0,80	-1,24				
	20				-0,24	-0,61				
	22				0,34	0,04				
	24				0,93	0,70				
	26				1,52	1,36				
	28				2,12	2,02				
0,25	12				-1,19	-1,53	-1,80	-2,02		
	14				-0,77	-1,07	-1,31	-1,51	-2,21	
	16				-0,35	-0,61	-0,82	-1,00	-1,61	-2,02
	18				0,08	-0,15	-0,33	-0,48	-1,01	-1,36
	20				0,51	0,32	0,17	0,04	-0,41	-0,71
	22				0,96	0,80	0,68	0,57	0,21	-0,03
	24				1,41	1,29	1,19	1,11	0,83	0,64
	26				1,87	1,78	1,71	1,65	1,45	1,32
0,50	10				-0,78	-1,00	-1,18	-1,32	-1,79	-2,07
	12				-0,43	-0,64	-0,79	-0,92	-1,34	-1,60
	14				-0,09	-0,27	-0,41	-0,52	-0,90	-1,13
	16				0,26	0,10	-0,02	-0,12	-0,45	-0,65
	18				0,61	0,47	0,37	0,28	0,00	-0,18
	20				0,96	0,85	0,76	0,68	0,45	0,30
	22				1,33	1,24	1,16	1,10	0,91	0,79
	24				1,70	1,63	1,57	1,53	1,38	1,28
0,75	6				-0,75	-0,93	-1,07	-1,18	-1,52	-1,72
	8				-0,47	-0,64	-0,76	-0,86	-1,18	-1,36
	10				-0,19	-0,34	-0,45	-0,54	-0,83	-1,00
	12				0,10	-0,03	-0,14	-0,22	-0,48	-0,63

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Grau de atividade física = 174,6 W/m² (3 Met)

Isolamento Térmico Vestimenta clo	Tempe- ratura Ambiente °C	Velocidade Relativa do Ar (m /s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
		0,75	14				0,39	0,27	0,18	0,11
	16				0,69	0,58	0,50	0,44	0,24	0,12
	18				0,98	0,89	0,82	0,77	0,59	0,49
	20				1,28	1,20	1,14	1,10	0,95	0,87
1,00	-6				-1,68	-1,88	-2,03	-2,14	-2,50	-2,70
	-2				-1,22	-1,39	-1,52	-1,62	-1,94	-2,12
	2				-0,74	-0,90	-1,01	-1,10	-1,37	-1,53
	6				-0,26	-0,39	-0,49	-0,56	-0,80	-0,93
	10				0,22	0,12	0,04	-0,02	-0,22	-0,33
	14				0,73	0,64	0,58	0,53	0,38	0,29
	18				1,24	1,18	1,13	1,09	0,97	0,91
	22				1,77	1,73	1,69	1,67	1,59	1,54
1,25	-8				-1,36	-1,52	-1,64	-1,73	-2,00	-2,15
	-4				-0,95	-1,10	-1,20	-1,28	-1,52	-1,65
	0				-0,54	-0,66	-0,75	-0,82	-1,03	-1,15
	4				-0,12	-0,22	-0,30	-0,36	-0,54	-0,64
	8				0,31	0,22	0,16	0,11	-0,04	-0,13
	12				0,75	0,68	0,63	0,59	0,47	0,40
	16				1,20	1,15	1,11	1,08	0,98	0,93
	20				1,66	1,62	1,59	1,57	1,50	1,46
1,50	-10				-1,13	-1,26	-1,35	-1,42	-1,64	-1,76
	-6				-0,76	-0,87	-0,96	-1,02	-1,21	-1,32
	-2				-0,39	-0,49	-0,56	-0,62	-0,79	-0,88
	2				-0,01	-0,10	-0,16	-0,21	-0,36	-0,44
	6				0,38	0,30	0,25	0,21	0,08	0,01
	10				0,76	0,70	0,66	0,62	0,52	0,46
	14				1,17	1,12	1,09	1,06	0,98	0,93
	18				1,58	1,54	1,52	1,50	1,44	1,40

Fonte: adaptado de FANGER⁶, p. 115-122.

Convém ressaltar que a Tabela 3 não coloca como variáveis a umidade relativa do ar e a temperatura radiante média, e isto se deve ao fato de Fanger⁶ ter considerado a umidade relativa do ar igual a 50% e a temperatura radiante média igual à temperatura do ar ambiente. Portanto, se as condições do ambiente analisado diferem destas, o voto médio estimado dado na Tabela 3 tem de ser corrigido. Para isso Fanger⁶ preparou os gráficos das figuras de 10 a 15 que permitem quantificar, respectivamente, a influência da variação da temperatura radiante média e da umidade no voto médio estimado dado na Tabela 3. As figuras permitem obter coeficientes de correção dados em função do tipo de vestimenta, da velocidade relativa do ar e do nível de atividade.

Nas figuras de 10 a 12 tem-se o $\Delta VME/^\circ C$ trm, que é o coeficiente de variação do VME correspondente a mudança de $1^\circ C$ na temperatura radiante média em relação à temperatura do ambiente, sendo as demais variáveis mantidas constantes. O coeficiente será positivo quando a trm aumentar e, negativo, quando diminuir.

As figuras de 13 a 15 tratam do $\Delta VME/\% UR$, que é o coeficiente de variação do VME correspondente a mudança de 1 % na umidade relativa, considerada na Tabela 3 igual a 50%. O coeficiente será positivo quando a umidade for maior que 50% e negativo quando for menor. Nessas figuras considera-se só a variação da umidade, mantendo-se todas as outras variáveis constantes.

O exemplo 5 ilustra a aplicação das figuras 10 e 13.

Exemplo 4

Em um escritório cuja temperatura é de $26^\circ C$, a umidade relativa é de 60% e a velocidade do ar é de $0,15 \text{ m/s}$. Sabendo-se que a temperatura radiante média nesse escritório é $4^\circ C$ maior que a temperatura ambiente e que ele é ocupado por pessoas em atividade sedentária com metabolismo $M = 58,2 \text{ W/m}^2$ e vestindo roupa leve com isolamento térmico $I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$, determine a sensação térmica das pessoas.

Dados do problema
$M = 58,2 \text{ W/m}^2$
$I_{CL} = 0,5 \text{ clo}$
$T_a = 26^\circ C$
$T_{rm} = t_a + 4 = 30^\circ C$
$UR = 60\%$
$V_r = 0,15 \text{ m/s}$

Como a Tabela 3 foi elaborada para $UR = 50\%$ e $trm = t_a$, inicia-se a resolução supondo que a $UR = 50\%$ e que a $trm = t_a$. Assim pode-se, com os demais dados do problema, utilizar a Tabela 3 e encontrar o VME para essa condição que é igual a $-0,18$.

Consideram-se agora as condições reais de UR e de trm.

Com os dados sobre nível de atividade, tipo de vestimenta e velocidade relativa do ar, obtém-se das figuras 10 e 13, respectivamente, os coeficientes $\Delta VME/^\circ C trm = 0,16$ e $A VME/\% UR = 0,009$.

Agora utilizando o Voto Médio Estimado inicialmente obtido da Tabela 3 ($VME_{inicial} = -0,18$) e calculando o efeito da UR, 10% superior que a primeiramente considerada (50%), e da trm, $4^\circ C$ maior que t_a , encontra-se a sensação térmica real:

- efeito da UR ($60\% - 50\% = 10\%$)
 $10 \cdot \Delta VME / \% UR = 10 \cdot 0,009 = 0,09$
- efeito da trm ($trm = t_a + 4$)
 $4 \cdot \Delta VME / ^\circ C trm = 4 \cdot 0,16 = 0,64$

Dessa forma o VME_{real} será $VME_{inicial}$ obtido com a suposição inicial somado aos efeitos da UR e da trm:

$$VME_{real} = -0,18 + 0,09 + 0,64 = 0,55 \text{ (leve sensação de calor)}$$

Nota-se neste exemplo que, se o ambiente tivesse a condição previamente estabelecida ($UR = 50\%$ e $trm = t_a$), a sensação térmica seria praticamente de neutralidade térmica ($VME_{inicial} = -0,18$). Já com $UR = 60\%$ e $trm = t_a + 4$, a sensação é de leve calor ($VME_{real} = 0,55$). Pode-se notar, também, o pequeno efeito da UR ($\Delta VME/\%UR = 0,009$) quando comparado ao da trm ($\Delta VME/^\circ C trm = 0,16$).

Figura 10

$\Delta VME/^\circ\text{C trm}$ para atividade sedentária, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar. A umidade relativa é constante.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 125

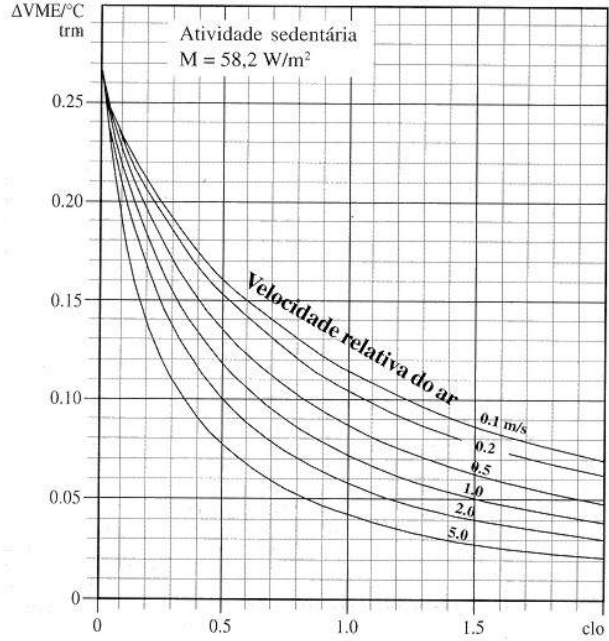
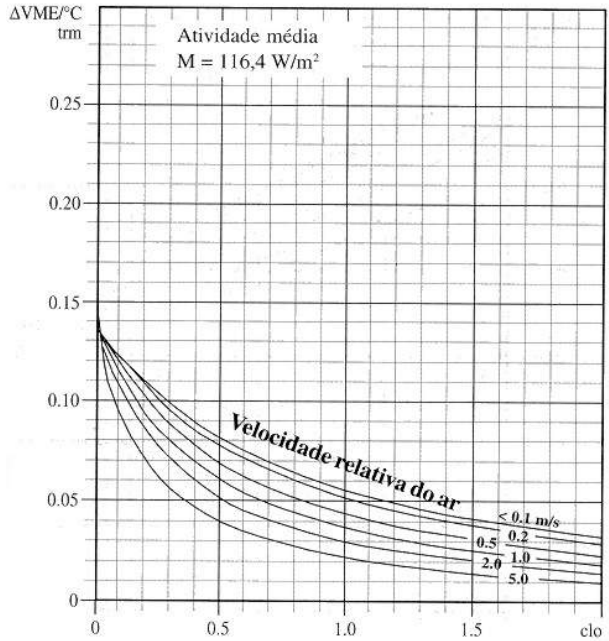


Figura 11

$\Delta VME/^\circ\text{C trm}$ para atividade média, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar. A umidade relativa é constante.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 125



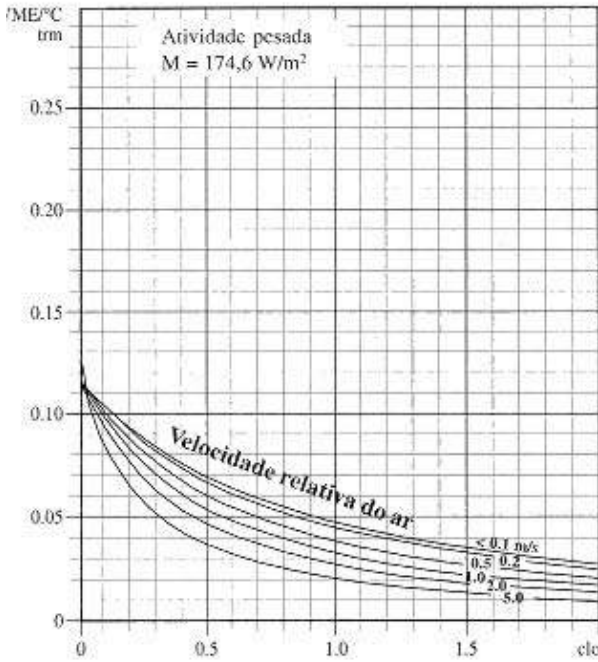


Figura 12

$\Delta VME/^\circ C \text{ trm}$ para atividade pesada, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar. A umidade relativa é constante.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 125

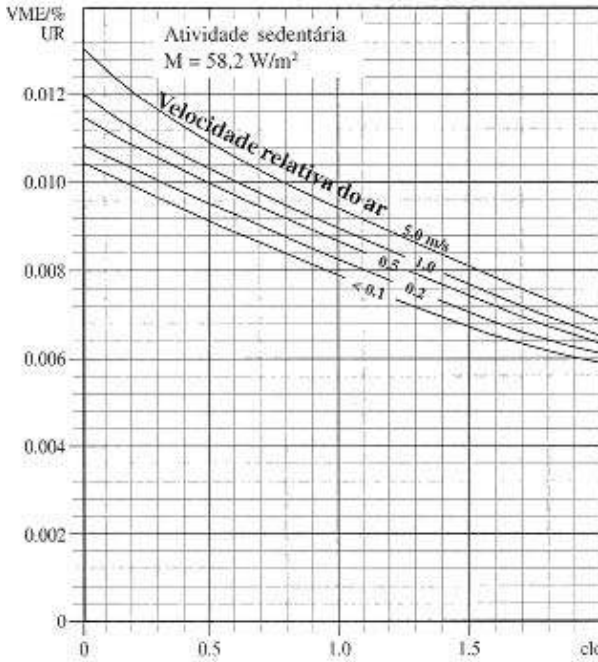


Figura 13

$\Delta VME/\%R$ para atividade sedentária, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 126

Figura 14

$\Delta VME/\%R$ para atividade média, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 126

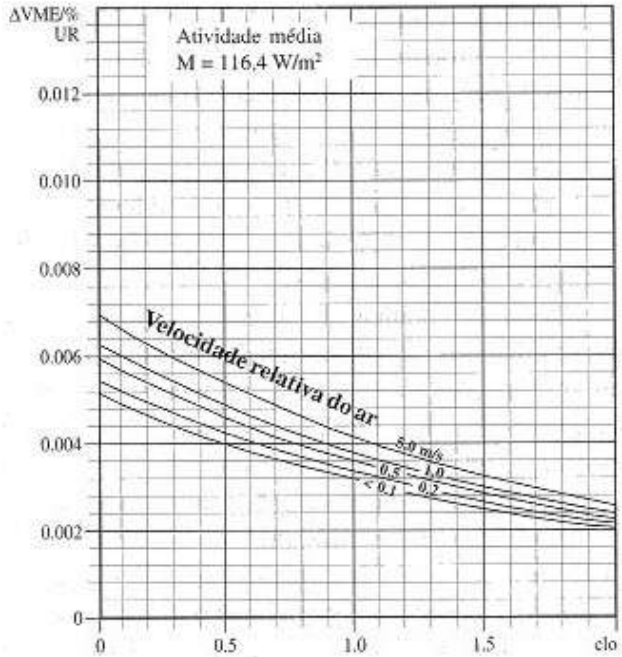
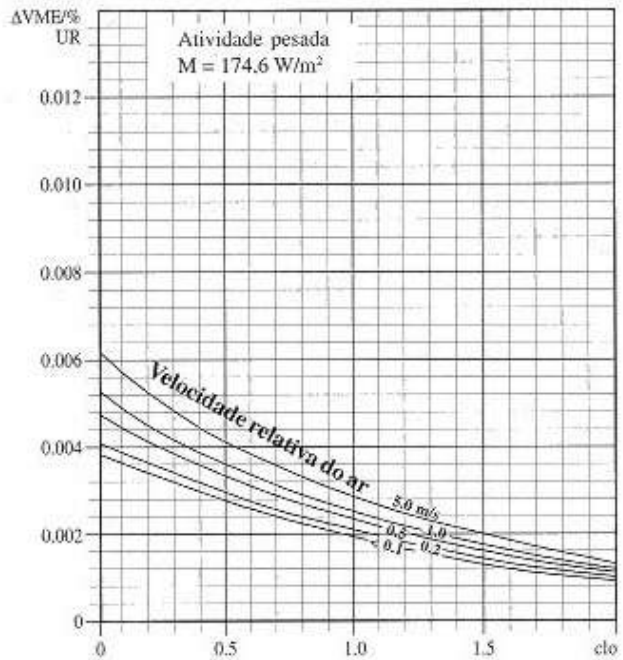


Figura 14

$\Delta VME/\%R$ para atividade pesada, em função do isolamento térmico da roupa e da velocidade do ar.

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 126



5.3 Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI)

O Voto Médio Estimado (VME) representa a sensação térmica de um grupo de pessoas quando expostas a determinada combinação das variáveis pessoais e ambientais de conforto.

As experiências realizadas por Fanger⁶, Rohles²¹ e Nevins et al¹⁹ provaram que é impossível obter em um ambiente combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente todos os integrantes de um grande grupo; sempre existirão insatisfeitos.

Assim, na prática, era necessário relacionar o VME com a porcentagem de insatisfeitos num determinado ambiente. Foi o que fez Fanger, utilizando as informações das suas experiências e as dos pesquisadores americanos Rohles²¹ e Nevins et al¹⁹. O resultado foi à curva da figura 16, que mostra a porcentagem de insatisfeitos para cada valor de VME. Da figura 16 pode-se notar que, para uma condição de neutralidade térmica (VME= 0), existem 5% de insatisfeitos e que, em virtude da simetria da curva em relação ao ponto de VME = 0, sensações equivalentes de calor e de frio (mesmo VME em valores absolutos), corresponderão a igual porcentagem de insatisfeitos.

Desse trabalho de Fanger⁶ também resultou a Tabela 4, que relaciona para cada valor de VME a porcentagem total de insatisfeitos e a distribuição dessa porcentagem segundo o motivo que causou a insatisfação, sensação de calor ou de frio.

Como já exposto, a unanimidade de um grande grupo com relação ao conforto térmico é impossível, portanto a definição das variáveis pessoais e ambientais de conforto é dependente da porcentagem aceitável de pessoas insatisfeitas. Nesse sentido sugere-se o especificado na norma ASHRAE 55³, que considera um ambiente termicamente confortável quando este satisfaz pelo menos 80% dos seus ocupantes, o que pela figura 16 corresponde a $-0,82 < \text{VME} < 0,82$.

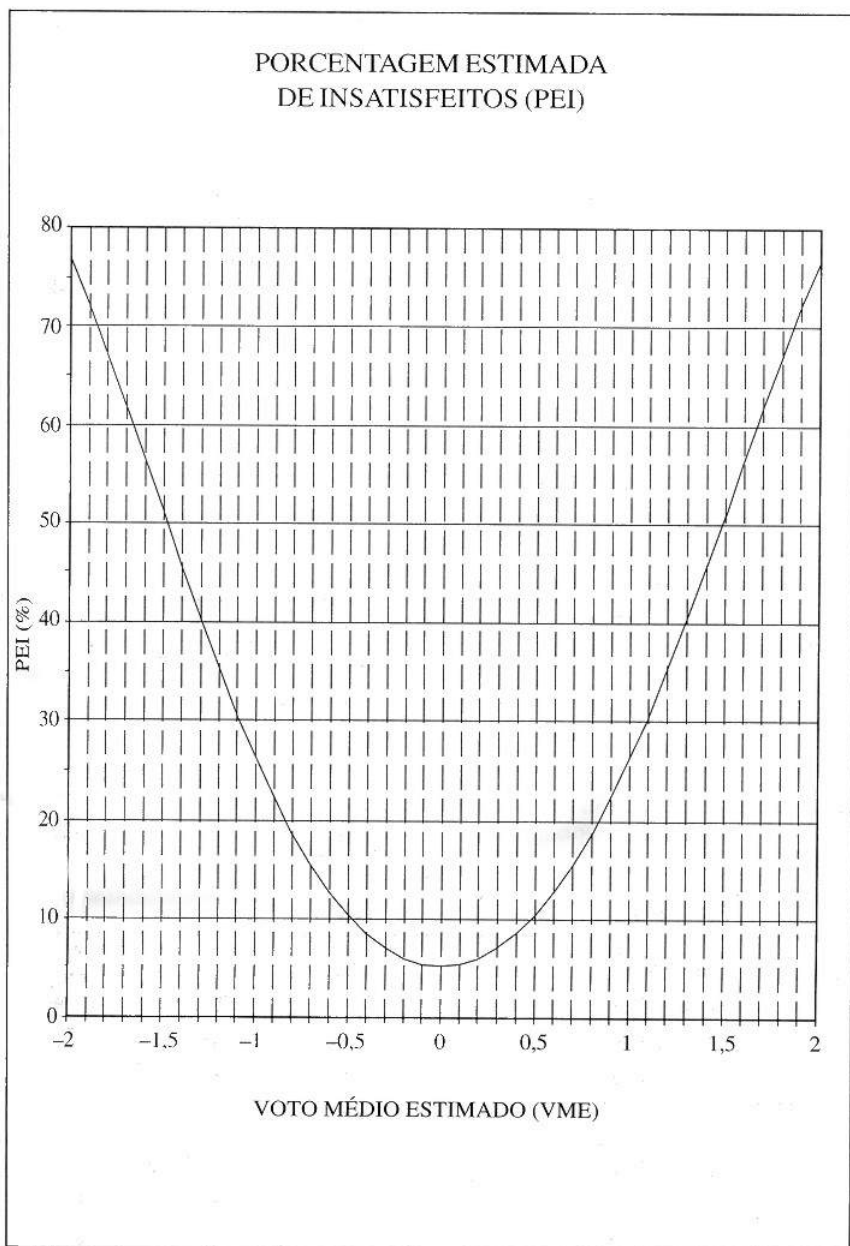


Figura 16 Porcentagem de insatisfeitos em função do Voto Médio Estimado (VME)

Fonte: adaptado de FANGER⁶, P. 131

Tabela 4 Correlação entre o VME e a porcentagem de insatisfeitos mostrando a distribuição das sensações térmicas

Voto Médio Estimado	Porcentagem de Insatisfeitos		
	Frio (%)	Calor (%)	Total (%)
- 2,0	76,4	—	76,4
- 1,5	52,0	—	52,0
- 1,0	26,8	—	26,8
- 0,9	22,5	—	22,5
- 0,8	18,7	0,1	18,8
- 0,7	15,3	0,2	15,5
- 0,6	12,4	0,3	12,7
- 0,5	9,9	0,4	10,3
- 0,4	7,7	0,6	8,3
- 0,3	6,0	0,9	6,9
- 0,2	4,5	1,3	5,8
- 0,1	3,4	1,8	5,2
0	2,5	2,5	5,0
+ 0,1	1,8	3,4	5,2
+ 0,2	4,5	1,3	5,8
+ 0,3	0,9	5,9	6,8
+ 0,4	0,6	7,7	8,3
+ 0,5	0,4	9,8	10,2
+ 0,6	0,3	12,2	12,5
+ 0,7	0,2	15,2	15,4
+ 0,8	0,1	18,5	18,6
+ 0,9	—	22,2	22,2
+ 1,0	—	26,4	26,4
+ 1,5	—	51,4	51,4
+ 2,0	—	75,7	75,7

Fonte: FANGER⁶, P. 132

O exemplo 5 mostra a aplicação prática de alguns conceitos mencionados anteriormente.

Exemplo 5

Em uma sala de projetos de uma empresa com área de 10 x 10 m, ocupada por pessoas vestindo roupa leve com isolamento térmico $I_{CL} = 0,5$ clo, desenvolvendo atividades sedentárias com metabolismo $M = 58,2$ W/m². Estimar a sensação térmica das pessoas que lá trabalham, sabendo-se que as variáveis ambientais foram obtidas dividindo-se a área ocupada em quadrados iguais (ver fig. 17), realizando as medições das temperaturas e velocidades relativas do ar no centro desses quadrados. Os valores encontrados estão colocados nas colunas 1, 2 e 3 da Tabela 5. A umidade relativa obtida no ambiente foi de 50%, dessa forma não é necessário correção dos VME dados na tabela 3, tendo em vista que ela foi elaborada para umidade de 50%.

Com as variáveis pessoais e ambientais dadas, obtêm-se da Tabela 3, às vezes com auxílio da interpolação, os valores de VME para cada ponto, os quais podem ser vistos na coluna 4 da Tabela 5. Convém mencionar que esses valores de VME obtidos da Tabela 3 correspondem a condição em que $t_{rm} = t_a$, o que não é válido para este caso, conforme demonstra a coluna 2 da Tabela 5. Assim torna-se necessária a correção desses valores.

A correção é determinada primeiramente com a obtenção, para cada ponto, do Δ VME/°C trm (fig. 10). Esses Δ podem ser vistos na coluna 5 da Tabela 5. A seguir esses Δ VME/°C trm são multiplicados pelo respectivo Δt (tabela 5, coluna 2) e o resultado é colocado na coluna 6 da Tabela 5.

Os VME corrigidos (VME_{real}) são determinados somando-se os valores da coluna 6 da tabela 5 com os VME inicialmente obtidos (Tabela 5, coluna 4). O resultado é colocado na coluna 7, Tabela 5.

Colocando-se agora os VME_{real} nos pontos correspondentes da Figura 17, pode-se analisar a variação da sensação térmica no ambiente. Rapidamente observa-se que em apenas 4 pontos (16% do ambiente) o VME está dentro do intervalo recomendado para que pelo menos 80% das pessoas sintam-se confortáveis ($-0,82 < VME < 0,82$).

Os dados da Tabela 5 propiciam verificar os fatores que mais contribuíram para a ocorrência dessa variação, e a Tabela 3 e a Figura 10 ajudam a avaliar as possíveis soluções para os problemas detectados. Por exemplo, usando-se a Tabela 3 e a Figura 10, pode-se prever o que aconteceria no ambiente se a velocidade relativa do ar fosse mantida, em todo o ambiente, igual a 0,5 m/s. Obter-se-ia como resultado o seguinte: em 17 pontos (68% do ambiente) o VME estaria no intervalo recomendado. Isso pode ser observado na Tabela 6 e Figura 18.

Tabela 5 Demonstrativo de dados do exemplo 6

	1	2	3	4	5	6	7
Pontos de medida	t_a (°C)	Δt trm- t_a (°C)	v_r (m/s)	VME trm= t_a	Δ VME/°C trm (°C ⁻¹)	Δ VME (2x5)	VME _{real} (4+6)
A1	28,2	-0,18	0,18	0,61	0,15	-0,03	0,58
A2	28,2	-0,10	0,15	0,67	0,16	-0,02	0,65
A3	28,4	0	0,20	0,65	0,15	0	0,65
A4	28,3	0,10	0,16	0,69	0,15	0,01	0,70
A5	28,3	0,80	0,15	0,71	0,16	0,13	0,84
B1	28,8	-0,17	0,09	1,09	0,16	-0,03	1,06
B2	29,2	0	0,12	1,11	0,16	0	1,11
B3	29,0	0	0,10	1,08	0,16	0	1,08
B4	29,0	-0,17	0,10	1,08	0,16	-0,03	1,05
B5	28,6	0,78	0,10	0,94	0,16	0,12	1,06
C1	28,9	0,18	0,15	0,94	0,16	0,03	0,97
C2	29,3	0	0,15	1,10	0,16	0	1,10
C3	29,2	0,20	0,20	0,98	0,15	0,03	1,01
C4	29,1	0,39	0,18	0,97	0,15	0,06	1,03
C5	28,8	0,74	0,15	0,90	0,16	0,12	1,02
D1	29,1	0	0,12	1,07	0,16	0	1,07
D2	29,4	0,18	0,15	1,14	0,16	0,03	1,17
D3	29,6	0,59	0,20	1,14	0,15	0,09	1,23
D4	29,6	0,63	0,25	1,07	0,15	0,09	1,16
D5	29,8	0,88	0,30	1,11	0,15	0,13	1,24
E1	29,5	0,36	0,19	1,13	0,15	0,05	1,18
E2	29,6	0,78	0,19	1,15	0,15	0,12	1,27
E3	29,6	0,77	0,18	1,17	0,15	0,12	1,29
E4	29,4	0,74	0,15	1,14	0,15	0,11	1,25
E5	29,6	0,80	0,15	1,21	0,16	0,13	1,34

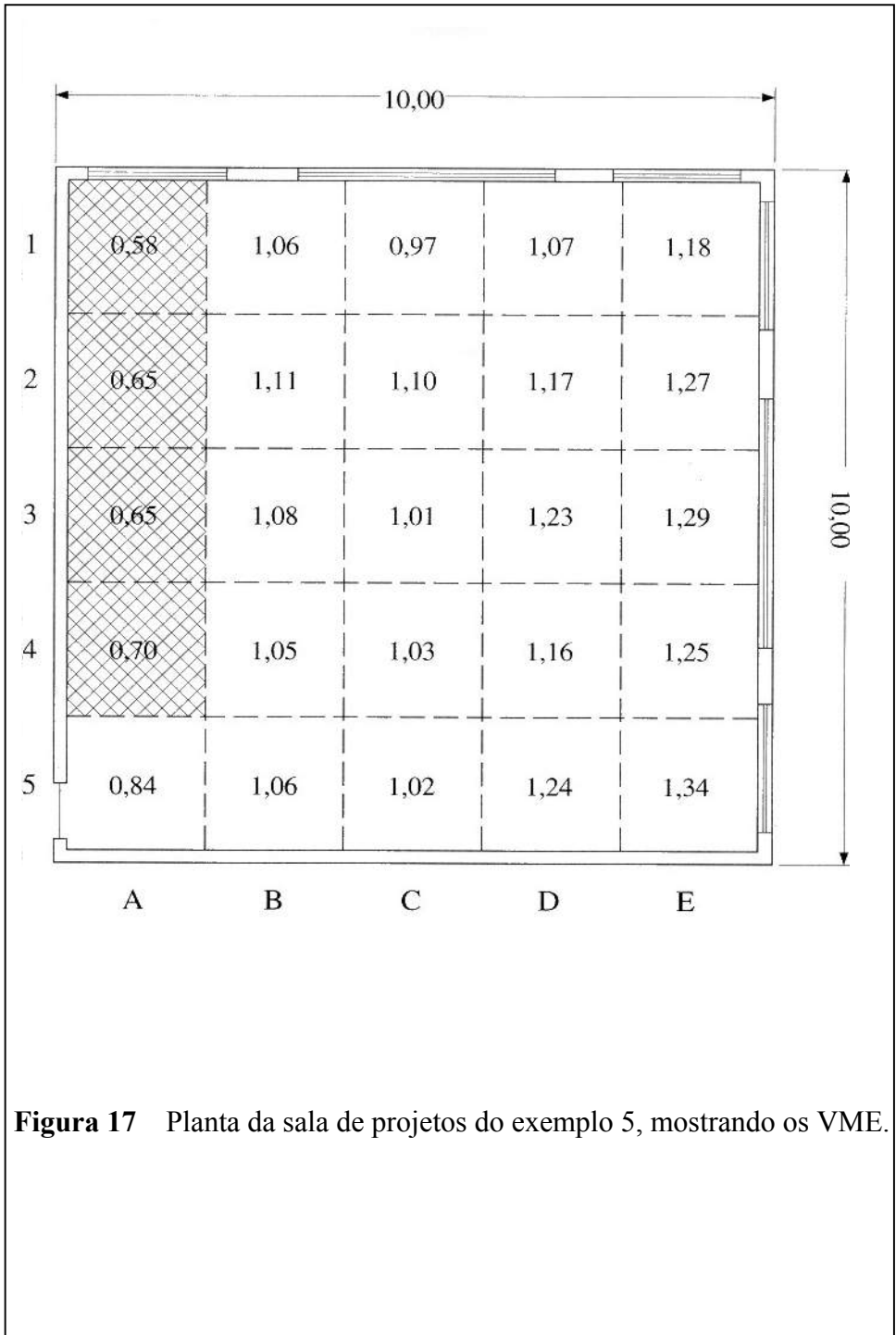


Figura 17 Planta da sala de projetos do exemplo 5, mostrando os VME.

Tabela 6 Demonstrativo de dados do exemplo 6 após a modificação da velocidade relativa do ar para 0,5 m/s.

	1	2	3	4	5	6	7
Pontos de medida	t_a (°C)	Δt trm- t_a (°C)	v_r (m/s)	VME trm= t_a	$\Delta VME/^\circ C$ trm (°C ⁻¹)	ΔVME (2x5)	VME _{real} (4+6)
A1	28,2	-0,18	0,5	0,23	0,13	-0,02	0,21
A2	28,2	-0,10	0,5	0,23	0,13	-0,01	0,22
A3	28,4	0	0,5	0,32	0,13	0	0,32
A4	28,3	0,10	0,5	0,28	0,13	0,01	0,29
A5	28,3	0,80	0,5	0,28	0,13	0,10	0,38
B1	28,8	-0,17	0,5	0,51	0,13	-0,02	0,49
B2	29,2	0	0,5	0,69	0,13	0	0,69
B3	29,0	0	0,5	0,60	0,13	0	0,60
B4	29,0	-0,17	0,5	0,60	0,13	-0,02	0,58
B5	28,6	0,78	0,5	0,42	0,13	0,10	0,52
C1	28,9	0,18	0,5	0,55	0,13	0,02	0,57
C2	29,3	0	0,5	0,74	0,13	0	0,74
C3	29,2	0,20	0,5	0,69	0,13	0,03	0,72
C4	29,1	0,39	0,5	0,65	0,13	0,05	0,70
C5	28,8	0,74	0,5	0,51	0,13	0,10	0,61
D1	29,1	0	0,5	0,65	0,13	0	0,65
D2	29,4	0,18	0,5	0,78	0,13	0,02	0,80
D3	29,6	0,59	0,5	0,88	0,13	0,08	0,96
D4	29,6	0,63	0,5	0,88	0,13	0,08	0,96
D5	29,8	0,88	0,5	0,97	0,13	0,11	1,08
E1	29,5	0,36	0,5	0,83	0,13	0,05	0,88
E2	29,6	0,78	0,5	0,88	0,13	0,10	0,98
E3	29,6	0,77	0,5	0,88	0,13	0,10	0,98
E4	29,4	0,74	0,5	0,78	0,13	0,10	0,88
E5	29,6	0,80	0,5	0,88	0,13	0,10	0,98

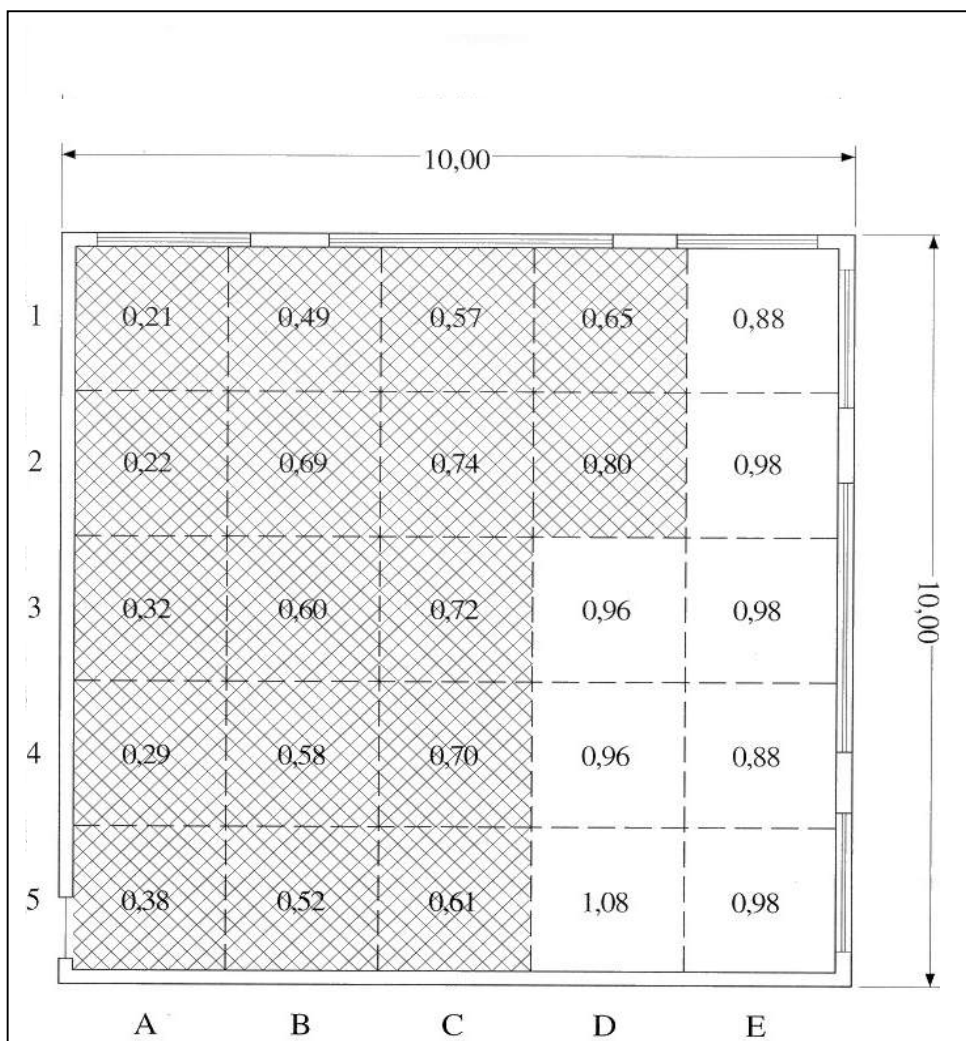


Figura 18 Planta da sala de projetos do exemplo 5, mostrando os VME após a modificação da velocidade relativa do ar para 0,5 m/s.

6 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CONFORTO

Os diagramas de conforto das figuras de 1 a 8 e a Tabela 3 dos votos médios estimados (VME) permitem, respectivamente, verificar a existência do conforto térmico e estimar a sensação térmica das pessoas num ambiente qualquer. A utilização desses diagramas e dessa tabela para a avaliação do conforto térmico exige, porém, o conhecimento prévio do valor das variáveis pessoais e ambientais de conforto.

As variáveis pessoais: metabolismo relacionado à atividade executada e o tipo de vestimenta usada podem ser obtidas respectivamente das Tabelas 1 e 2. Já as variáveis ambientais, que são temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar, têm de ser medidas no ambiente de acordo com procedimentos específicos. Para isso, expõem-se a seguir alguns princípios básicos com base principalmente no que é proposto por Fanger⁶, pela norma ISO 7726¹¹ e pela norma ASHRAE 55³.

6.1 Princípios Gerais

O comportamento térmico de uma edificação depende principalmente:

- das condições climáticas;
- do projeto, construção e manutenção;
- do uso e ocupação dessa edificação.

As condições climáticas são caracterizadas pela temperatura e umidade relativa do ar exterior, velocidade e direção do vento e radiação solar direta e difusa.

O projeto, construção e manutenção relacionam-se às condições de implantação caracterizada pela latitude, longitude e orientação do sol, ao modelo arquitetônico, às condições de ventilação, aos materiais escolhidos e à preservação das condições inicialmente idealizadas.

O uso da edificação é definido pelos equipamentos utilizados e pelas atividades desenvolvidas, já a ocupação está relacionada ao número de ocupantes e ao horário em que as pessoas estão no local.

Todos esses fatores que influenciam no comportamento térmico de uma edificação têm de ser levados em conta, para o levantamento das variáveis ambientais de conforto de modo que os valores obtidos nas medições sejam representativos da condição de conforto térmico mais desfavorável experimentada no ambiente, habitualmente. O exemplo 6 ilustra essa afirmação.

Exemplo 6

Um ambiente industrial, posicionado de forma que as paredes e o teto recebem carga solar considerável, é normalmente ocupado por 50 trabalhadores que operam equipamentos que liberam calor. Este ambiente localiza-se em região na qual o verão tem temperatura média de 28°C, umidade relativa do ar de 50% e velocidade média dos ventos de 4 m/s.

Dessa forma as medições realizadas às 6 h, antes do início do expediente, num dia completamente nublado com temperatura do ar exterior de 17°C, umidade relativa de 80% e velocidade do vento de 10 m/s não são representativas da situação de conforto térmico mais desfavorável habitualmente experimentada naquele ambiente.

As medições devem ser realizadas num dia em que as condições meteorológicas sejam similares às dos meses de verão, durante o expediente normal de trabalho e no período das 14h às 17 horas, quando, considerando-se apenas a insolação, ocorre a temperatura interna máxima nas edificações.

Outro fator a ser ressaltado é que as medições têm de ser planejadas de acordo com as condições específicas de cada ambiente, como o caso mostrado na figura 19. A sala possui áreas envidraçadas nas paredes leste e oeste e, portanto, o efeito da incidência direta da radiação solar nas regiões próximas a essas paredes (pontos 1, 2, 3, 4, 5, e 6) tem de ser considerado. Para isso deve-se acompanhar a evolução da temperatura nesses pontos no período de incidência direta da radiação solar, ou seja, período da manhã para os pontos 1, 2 e 3 e período da tarde, para os pontos 4, 5 e 6.

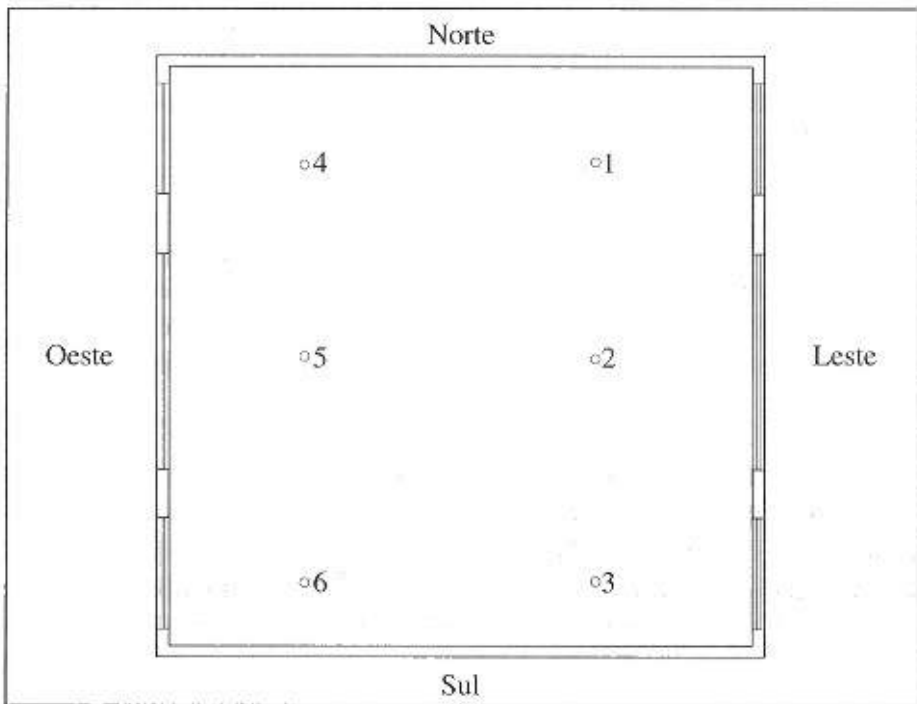


Figura 19 Sala com grandes áreas envidraçadas nas paredes leste e oeste

6.2 Medições - Instrumentos e Métodos

Nesta seção serão abordados os procedimentos que devem ser observados na obtenção das variáveis ambientais de conforto térmico, como também das características mínimas dos instrumentos a serem utilizados.

6.2.1 Métodos de Medição

Como já explicado no item 6.1, o levantamento das variáveis ambientais deve ser planejado com especial atenção às peculiaridades de cada local e das atividades lá desenvolvidas.

Um caso específico que merece destaque é o da obtenção da velocidade relativa do ar (v_r), que é a velocidade efetiva do ar atuante sobre o corpo humano. Essa velocidade é resultante de duas componentes:

- uma é a velocidade do ar incidente sobre o corpo do trabalhador, considerando o trabalhador parado. Ela é obtida medindo-se a velocidade do ar no local onde está sendo desenvolvido o trabalho;
- a outra componente relaciona-se ao movimento do corpo do trabalhador na realização da sua tarefa, considerando-se agora que o ar está

parado. Ela é obtida analisando-se a atividade do trabalhador e calculando-se ou medindo-se a velocidade dos movimentos executados. Essa componente pode ser desprezada nas atividades leves ($M = 58,2 \text{ W/m}^2$), mas tem de ser considerada em algumas atividades médias ($M = 116,4 \text{ W/m}^2$) e nas pesadas ($M = 174,6 \text{ W/m}^2$) nas quais o movimento do corpo do trabalhador é apreciável. Isso pode ser verificado na Tabela 3, que não apresenta valor de voto médio estimado (VME) para as combinações das atividades mais pesadas com as velocidades relativas do ar menores, tendo em vista que essas velocidades são irreais para essas atividades em razão do inevitável movimento do corpo do trabalhador.

A obtenção da temperatura radiante média também merece ser abordada.

A radiação térmica recebida por uma pessoa num ambiente pode ser calculada com as temperaturas das superfícies circundantes e os respectivos fatores de ângulo em relação a essa pessoa. Esse método, contudo, é complexo e demorado, por isso adotou-se neste trabalho o cálculo da temperatura radiante média pelas equações 8 e 10 do item 6.2.2.3. Essas equações permitem determiná-la valendo-se da temperatura de globo, da velocidade do ar na altura do globo e da temperatura do ar.

Os dois itens seguintes tratarão da escolha dos pontos de medição e do posicionamento dos instrumentos em relação ao solo.

6.2.1.1 Escolha dos Pontos

A umidade relativa normalmente é igual em todo ambiente, e pode ser medida em qualquer ponto da área ocupada. As demais variáveis devem ser medidas de forma que se consiga um levantamento completo das variáveis ambientais em toda a área ocupada. Para isso Fanger⁶ sugere a divisão imaginária da área a ser avaliada em múltiplos quadrados iguais; por exemplo, pode-se sugerir quadrados de 2 a 4 m de lado e a realização das medições no centro desses quadrados.

6.2.1.2 Posicionamento dos Instrumentos em Relação ao Solo

As medições devem ser feitas a 0,60m do piso para pessoas sentadas e a 1,10m do piso para pessoas em pé. Quando for necessário maior precisão ou quando não existir uniformidade, as medições devem ser feitas a 0,10m, 0,60m e 1,10 m do piso para pessoas sentadas e a 0,10 m, 1,10 m e 1,70m para pessoas em pé. Para verificar a inexistência de uniformidade, efetuam-se, num mesmo instante, medições nas três alturas especificadas acima e comparam-se os va-

lores obtidos com a média aritmética deles. A não uniformidade é caracterizada por valores que se afastem a $\pm 5\%$ o valor médio.

Quando as medições são realizadas nas três alturas, obtém-se o voto médio estimado (VME) para cada uma das alturas, e a média aritmética dos valores obtidos é considerada como representativa do VME naquele ponto.

6.2.2 Instrumentos de Medição

Neste item serão tratados os requisitos mínimos que devem ser observados na escolha dos instrumentos para a medição das variáveis ambientais de conforto térmico.

6.2.2.1 Temperatura do Ar

A temperatura do ar pode ser medida com termômetros de mercúrio, termômetros de resistência ou termopares, sendo os primeiros os mais usados, principalmente por questão de custo. Para tanto sugere-se um equipamento com escala mínima de 0 a 50°C, precisão mínima de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, exatidão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e com tempo de resposta adequado ao número de medidas a serem executadas, observado o exposto no item 6.1- Princípios gerais.

É importante observar, quando se trata da medição de temperatura do ar, o efeito da radiação das superfícies circundantes sobre o sensor do equipamento de medição. Se a temperatura do ambiente for aproximadamente igual à das superfícies circundantes, o efeito da radiação poderá ser ignorado, mas se a diferença for considerável, deverão ser colocados anteparos reflexivos entre o sensor do equipamento e as superfícies circundantes, de forma a protegê-lo da radiação sem restringir a passagem de ar pelo sensor. Um cilindro aberto de alumínio polido colocado ao redor do sensor é um tipo de anteparo normalmente usado.

6.2.2.2 Velocidade do Ar

A velocidade do ar é normalmente obtida com um termoanemômetro com capacidade para medir velocidades da ordem de 0,05m/s. O sensor deve ser de preferência onidirecional, do contrário à direção principal da velocidade no ponto de medição tem de ser determinada, por exemplo, por meio de um teste de fumaça.

Para a obtenção do valor médio da velocidade num determinado ponto, deve-se fazer várias medidas, por exemplo, a cada 15 segundos durante um período de 3 a 5 minutos, a fim de considerar as flutuações de velocidade normalmente existentes.

Para as medições sugere-se um equipamento com escala mínima de 0 a

10 m/s, exatidão de 0,05 m/s e tempo de resposta da ordem de 1 a 10 segundos.

6.2.2.3 Temperatura Radiante Média

A temperatura radiante média (trm) de um ambiente em relação a uma pessoa é determinada valendo-se dos valores da temperatura de globo (t_g), da velocidade do ar na altura do globo (v) e da temperatura do ar (t_a).

A t_g pode ser definida como a temperatura de equilíbrio medida no centro de uma esfera oca de cobre, pintada externamente de preto fosco.

A medição da temperatura no interior da esfera pode ser efetuada com qualquer um dos instrumentos especificados no item 6.2.2.1, desde que observados os mesmos requisitos de escala, precisão e exatidão.

A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro, uma vez que ele é uma das variáveis das equações de cálculo da trm. Quanto menor ele for, contudo, maior serão as influências da temperatura e velocidade do ar, portanto recomenda-se um globo com 0,15m de diâmetro.

O princípio do cálculo da trm é o de que estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, então o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. Como a espessura do globo é pequena, a temperatura do ar confinado nele é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Conhecendo-se a temperatura superficial do globo é possível determinar a trm.

Como pode-se ver a t_g está relacionada com o calor trocado por convecção, que, por sua vez, depende da velocidade do ar que incide sobre o globo. Essa dependência é contabilizada pelo coeficiente de troca de calor por convecção (h_c) que corresponde a:

$$\text{convecção natural} \Rightarrow h_c = 1,4 \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \quad (6)$$

$$\text{convecção forçada} \Rightarrow h_c = 6,3 \cdot \frac{v^{0,6}}{d^{0,4}} \quad (7)$$

onde:

- h_c – coeficiente de troca de calor por convecção, ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
- t_g – temperatura de globo, ($^\circ C$)
- t_a – temperatura do ar, ($^\circ C$)
- d – diâmetro do globo, (m)
- v – velocidade do ar na altura do globo, (m/s)

Dessa forma, quando $v > 0$, o cálculo da trm só pode iniciar após conhecer-se a real participação da velocidade do ar na troca por convecção. Isso é feito determinando-se h_c para a convecção natural e para a forçada. O maior valor de h_c definirá se a trm deve ser calculada para a convecção natural ou para a forçada.

A equação geral para o cálculo da trm com convecção natural é:

$$trm = \left[(t_g + 273)^4 + 0,25 \cdot \frac{10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (8)$$

onde:

- trm – temperatura radiante média ($^\circ C$)
- t_g – temperatura do termômetro de globo ($^\circ C$)
- t_a – temperatura de bulbo seco do ambiente ($^\circ C$)
- v – velocidade do ar na altura do globo (m/s)
- ε – emissividade do globo
- d – diâmetro do globo (m)

Quando um globo com $d = 0,15$ m e $\varepsilon = 0,95$ for usado, a equação 8 fica assim:

$$trm = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (9)$$

A equação geral para o cálculo da trm com convecção forçada é:

$$\text{trm} = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6}}{\varepsilon \cdot d^{0,4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (10)$$

Quando um globo com $d = 0,15 \text{ m}$ e $\varepsilon = 0,95$ for usado, a equação 10 fica assim:

$$\text{trm} = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (11)$$

O seguinte exemplo ilustra a aplicação das equações de cálculo da trm.

Exemplo 7

Calcular a trm de um ambiente de trabalho com as seguintes características:

$t_g = 50^\circ\text{C}$
$t_a = 30^\circ\text{C}$
$v = 0,1 \text{ m/s}$
$\varepsilon = 0,95$
$d = 0,15 \text{ m}$

O primeiro passo é utilizar as equações 5 e 6 para analisar o efeito da velocidade do ar:

$$\text{convecção natural} \Rightarrow h_c = 1,4 \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} = 1,4 \cdot \left(\frac{50 - 30}{0,15} \right) = 4,76 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{convecção forçada} \Rightarrow h_c = 6,3 \cdot \frac{v^{0,6}}{d^{0,4}} = 6,3 \cdot \frac{0,1^{0,6}}{0,15^{0,4}} = 3,38 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como h_c para a convecção natural é o maior valor, a t_{rm} deve ser calculada convecção natural.

Assim, como $d = 0,15$ m e $\varepsilon = 0,95$, pode-se utilizar a equação 9:

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273$$

$$t_{rm} = \left[(50 + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |50 - 30|^{0,25} \cdot (50 - 30) \right]^{0,25} - 273$$

$$t_{rm} = 61,9^\circ\text{C}$$

6.2.2.4 Umidade Relativa do Ar

O equipamento mais frequentemente usado para a obtenção da umidade relativa do ar é o psicrômetro, embora ela também possa ser obtida com outros equipamentos como o higrômetro capacitivo e o higrômetro de ponto de orvalho.

7
DESCONFORTO
LOCALIZADO

Como foi explicado no item 4, a sensação de conforto térmico está intimamente relacionada com a temperatura média da pele e com a quantidade de calor perdida pelo corpo por evaporação do suor, assim uma pessoa só estará em neutralidade térmica, se o seu corpo como um todo estiver. Isto pode ser facilmente verificado, por exemplo, analisando-se o caso de uma pessoa que mesmo estando numa situação de neutralidade térmica, sente-se desconfortável quando é obrigada a ficar com as mãos submersas em água gelada. Este caso extremo mostra que a assimetria de perda de calor do corpo tem que ser limitada de forma a não comprometer o conforto térmico.

O desconforto localizado causado pelo aquecimento ou resfriamento unilateral do corpo pode ser causado pela assimetria de radiação térmica, pelas diferenças verticais na temperatura do ar, pela velocidade do ar e pelo contato com superfícies quentes ou frias. Nos itens seguintes cada uma dessas causas será discutida.

7.1 Assimetria de Radiação

A radiação assimétrica proveniente de superfícies quentes e frias e da incidência direta do sol pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica de um ambiente.

Em geral as pessoas são mais sensíveis à radiação assimétrica originada do calor ou frio das superfícies horizontais, como, por exemplo, forros, do que

a radiação proveniente de superfícies verticais.

Dessa forma, as normas ASHRAE 55³ e ISO 7730¹² especificam, para atividades leves ($M = 70 \text{ W/m}^2$), que a assimetria da temperatura radiante deve ser menor que 10°C na direção horizontal e menor que 5°C na direção vertical.

A assimetria da temperatura radiante na direção vertical é a diferença entre a temperatura radiante plana (t_{rp}) da parte superior e da parte inferior de um ambiente em relação a um pequeno plano horizontal situado a 0,60 m do solo para pessoas sentadas e 1,10 m para as pessoas em pé. Na direção horizontal, ela é a diferença entre as temperaturas riantes planas nos lados opostos de um pequeno plano vertical posicionado a 0,60 m do solo para pessoas sentadas e 1,10 m para as pessoas em pé.

7.2 Diferenças Verticais na Temperatura do Ar

A temperatura do ar nos ambientes internos geralmente cresce do piso para o teto. Se essa diferença é suficientemente grande, poderá ocorrer desconforto em virtude da sensação de calor na altura da cabeça e/ou em razão da sensação de frio nos pés. Com base nisso, as normas ASHRAE 55³ e ISO 7730¹² limitam em 3°C , para atividades leves ($M = 70 \text{ W/m}^2$), a diferença entre as temperaturas do ar medidas na altura da cabeça (1,10 m do solo para pessoas sentadas e 1,70 m para as pessoas em pé) e na altura dos pés (0,10 m do solo).

7.3 Velocidade do Ar

A ventilação é freqüentemente usada na indústria para promover o resfriamento de ambientes quentes.

A influência da velocidade relativa do ar na sensação térmica das pessoas pode ser observada na Tabela 3 que mostra essa sensação de conforto ou desconforto (VME) para diversas combinações das variáveis pessoais e ambientais de conforto. As figuras de 10 a 15 fornecem fatores para a correção dos valores dados na Tabela 3 quando o ambiente analisado tiver, respectivamente, temperatura radiante média diferente da temperatura do ar ou umidade relativa diferente de 50%.

Os diagramas de conforto (figuras de 1 a 9) também permitem verificar a influência da velocidade relativa do ar, mostrando as linhas de conforto ($VME = 0$) para inúmeras combinações das variáveis intervenientes.

Convém ressaltar quando se estuda a influência da velocidade relativa do ar no conforto térmico a dificuldade de se conseguir em todo o ambiente velocidade do ar uniforme. As variações na velocidade do ar num ambiente são

comuns, e a sua magnitude depende do tipo e da distribuição do sistema de ventilação utilizado.

Desta maneira, especial atenção deve ser tomada para evitar-se que o ar em alta velocidade incida sobre uma pessoa provocando, em uma ou mais partes do seu corpo, sensação térmica indesejável denominada desconforto localizado.

Com base nisso, algumas normas restringem a velocidade máxima do ar em certos ambientes. É o caso da NR 17 da Portaria 3214¹⁶ que estabelece a velocidade máxima de 0,75 m/s para ambientes nos quais são desenvolvidas atividades leves ($M= 70 \text{ W/m}^2$) e da norma ASHRAE 55³, que define para os mesmos ambientes velocidade máxima no inverno de 0,15 m/s e no verão de 0,80 m/s.

É importante lembrar quando da especificação da velocidade do ar para um ambiente que o conforto térmico resulta de determinadas combinações de variáveis pessoais e ambientais. Dessa forma, sabendo-se que a velocidade relativa do ar é apenas uma dessas variáveis, a avaliação da real contribuição de determinada ventilação geral na sensação de conforto térmico depende também da grandeza das outras variáveis. Portanto velocidades relativas do ar até 1,50 m/s são aceitáveis desde que a sua combinação com as outras variáveis resulte em conforto térmico.

Antes da escolha da velocidade do ar para um local de trabalho é necessário também avaliar a sua interferência nos processos produtivos.

7.4 Contato com Superfícies Quentes ou Frias

O contato com superfícies quentes ou frias pode provocar desconforto local ou mesmo acidentes.

As reclamações mais comuns desse tipo de desconforto local são em razão do contato com pisos quentes ou frios. Este desconforto está diretamente relacionado com a troca de calor por condução entre os pés, a sola dos calçados e o piso. Esta troca térmica depende do tipo de calçado, especialmente da sola e da temperatura do piso.

Para evitar o desconforto nos pés, as normas ASHRAE 55³ e ISO 7730¹² recomendam que as temperaturas dos pisos devem ficar no intervalo entre 19°C e 29°C, considerando pessoas vestindo calçados comuns.

8
REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *Handbook of Fundamentals*. Atlanta, 1985. 1 v. cap. 8: Physiological Principles for Comfort and Health. p. 8.1-8.32.
2. . cap. 13: Measurement and Instruments. p. 13.1 - 13.25.
3. , Atlanta. *ASHRAE 55*; thermal environmental conditions for human occupancy. 1992.
4. , Atlanta. *ASHRAE 62*; ventilation for acceptable indoor air quality. 1989.
5. BURGESS, W.A., ELLENBECKER, M.J., TREITMAN, R.D. *Ventilation for Control of the Work Environment*. New York, 1989. Iv. cap. 14: Evaluation and Control of the Thermal Environment. p. 371 - 416.
6. FANGER, O. *Thermal Comfort -Analysis and Application in Environmental Engineering*. Copenhagen, 1970.244p.
7. . Calculation of Thermal Comfort - Introduction of a basic Comfort Equation. In: *ASHRAE Transactions*, v. 73, II, 1967. 20p.
8. FEYERHERM, A.M.; NEVINS, R.G. Effect of floor surface temperature on comfort. In: *ASHRAE Transactions*, v. 73, part. 2:111. 2. 1., 1967. 8p.
9. INSTITUT DE RECHERCHE EN SANTÉ ET EN SECURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. *Strategy for studying Air Quality in Office Buildings*. Quebec, 1989. 34p.

10. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *El confort termico y su evaluación*. Barcelona, 1983. 30 p.
11. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland. ISO 7726; thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 1985. 39p.
12. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 7730; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.
13. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 9920; ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva, 1995.
14. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 8996; ergonomics-determination of metabolic heat production. Geneva, 1990.
15. JABARDO, J. M. Saiz. *Conforto Térmico*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 1984. 22p.
16. MANUAIS DE LEGISLAÇÃO ATLAS. *Segurança e Medicina do Trabalho*. 33. ed. São Paulo: Atlas, 1996.
17. ROHLES, Frederick H.; NEVINS, Ralph G.; WOODS, James E..The influence of clothing and temperature on sedentary comfort. In: *ASHRAE Transactions*, v. 79, part. II, 1973, p. 71.
18. . The nature of thermal comfort for sedentary man. In: *ASHRAE Transactions*, v. 77, part. I, 1971, p. 239.
19. ; SPRINGER, W. Temperature - Humidity chart for thermal comfort of seated persons. In: *ASHRAE Transactions*, v. 72, part. 1, 1966, p. 283.
20. .Psychological aspects of thermal comfort. *ASHRAE Journal*, p. 86-90, Jan. 1971.
21. . *Thermal sensation of sedentary man in moderate temperature*. Institute for Environmental Research, Special Report. Kansas State University, 1970.
22. SPITZER, J.; HETTINGER, T.; KAMINSKY, G. *Tafeln für Energieumsatz bei körperlicher Arbeit*. Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 1982.
23. WIERZBICKI, H.A.J.; IIDA, I. *Ergonomia*. São Paulo, 1973. cap. 7: Clima. p 234 - 252.
24. YAGLOU, C.P.; MILLER, W.E. Effective temperature with clothing. In: *ASHVE Transactions*, 31: 89 - 99, 1925.

9
NOMENCLATURA

- A_s - Área superficial do corpo (m^2)
 a_c - Altura do corpo (m)
 C_{conv} - Calor trocado por convecção, por unidade de área superficial do corpo (W/m^2)
 C_{ev} - Calor perdido por evaporação, por unidade de área superficial do corpo (W/m^2)
 C_{met} - Parcela de energia metabólica transformada em calor (W/m^2)
 C_{rad} - Calor trocado por radiação, por unidade de área superficial do corpo (W/m^2)
 h_c - Coeficiente de troca de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
 I_{CL} - Isolamento térmico básico da vestimenta (clo)
 I_{CLU} - Isolamento térmico efetivo dos itens do vestuário (clo)
 M - Energia do metabolismo humano (Met)
 m_c - Massa do corpo (kg)
PEI - Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (%)
 Q - Calor total trocado pelo corpo humano, por unidade de área superficial do corpo (W/m^2)
 t_a - Temperatura do ambiente = Temperatura de bulbo seco ($^\circ C$)

t_g - Temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$)
 t_p - Temperatura média da pele ($^{\circ}\text{C}$)
 t_{rp} - Temperatura radiante plana ($^{\circ}\text{C}$)
 t_{rm} - Temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$)
UR - Umidade Relativa do Ar (%)
VME - Voto Médio Estimado
 v_r - Velocidade relativa do ar (m/s)
 v - Velocidade do ar (m/s)
 ε - Emissividade

ÁREA SUPERFICIAL DO CORPO (A_s)

Também chamada de área Du Bois em homenagem ao pesquisador que desenvolveu a expressão para sua determinação $A_s = 0,202 \cdot m_c^{0,425} \cdot a_c^{0,725}$, onde m_c é a massa (kg) e a_c é a altura (m) do corpo humano.

clo

Unidade de medida do isolamento térmico das vestimentas.

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}_2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Met

Unidade de medida da energia do metabolismo.

$$1 \text{ Met} = 58,2 \text{ W}/\text{m}^2 = 50 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}.$$

ISOLAMENTO TÉRMICO BÁSICO (I_{CL})

Isolamento da pele até a superfície da vestimenta, considerando o efeito do aumento da área superficial de um corpo vestido.

ISOLAMENTO TÉRMICO EFETIVO (I_{CL})

Isolamento da pele até a superfície da vestimenta, excluindo o efeito do aumento da área superficial de um corpo vestido.

METABOLISMO (M)

É a energia produzida pelo corpo humano como resultado da reação exotérmica de oxidação dos alimentos, por unidade de área superficial do corpo humano.

TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA (t_{rm})

Temperatura superficial uniforme de um ambiente imaginário constituído por superfícies negras com o, com o qual uma pessoa, também admitida como superfície negra, troca a mesma quantidade de calor por radiação que aquela trocada com o ambiente real não uniforme. ($^{\circ}\text{C}$)

TEMPERATURA RADIANTE PLANA (t_{rp})

Temperatura uniforme de um recinto imaginário no qual o fluxo radiante incidente em um lado de um pequeno elemento plano é o mesmo que no ambiente real. A temperatura radiante plana descreve a radiação em uma direção ($^{\circ}\text{C}$)

ASSIMETRIA DE TEMPERATURA RADIANTE (Δt_{rp})

Diferença entre as temperaturas radiantes planas nos lados opostos de um pequeno elemento plano. ($^{\circ}\text{C}$)

Sobre o livro

*Composto em Times 11/14
em papel pólen rustic 85g
(miolo) e cartão supremo 240g
(capa) no formato 16x23 cm
pela Plural Art
2.000 exemplares
1ª Edição - 1999*

Equipe de realização

Supervisão Editorial:

Elisabeth Rossi

Revisão Técnica:

Francisco Kulcsar Neto

Revisão Gramatical:

Maria Luíza Xavier de Brito

Revisão de provas:

Plural Art

Projeto Gráfico (miolo):

Silvia Massaro

Criação capa: APPM

MINISTÉRIO DO TRABALHO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

Rua Capote Valente, 710
São Paulo - SP
05409-002
tel: 3066-6000