



CONTRIBUIÇÃO À APLICAÇÃO PRÁTICA DAS NORMAS INTERNACIONAIS NA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

A C Ruas⁽¹⁾; L C Labaki⁽²⁾

⁽¹⁾ FUNDACENTRO-Campinas

R. Marcelino Velez ,43 - Campinas/SP - CEP 13020-200

Tel/Fax (019) 2325269

Email: ruas@correionet.com.br

⁽²⁾ Faculdade de Engenharia Civil-UNICAMP

Av. Albert Einstein, 951-Cidade Universitária Zeferino Vaz-Campinas/SP-CEP 13083-970

Tel. (019) 7882384, Fax (019) 7882411

Email: lucila@fec.unicamp.br

RESUMO A avaliação do conforto térmico através da norma ISO 7730 (1994) exige o conhecimento de variáveis ambientais como: temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar e de variáveis pessoais como: taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta utilizada. O objetivo desse trabalho é tratar da influência que as variáveis pessoais têm na avaliação da sensação térmica pelo método dos Votos Médios Estimados e das dificuldades para estabelecer corretamente os seus valores em campo.

ABSTRACT The evaluation of thermal comfort through the International Standard ISO 7730 (1994) requires the knowledge of environmental variables as: mean radiant temperature, relative humidity, temperature and relative air velocity and personal variables as: metabolic rate and thermal clothing insulation.

The objective of this work is to analyse the influence of personal variables in the evaluation of thermal sensation by the Predicted Mean Vote and the difficulties to correctly establish its values in field.

1 Introdução

O Brasil possui uma grande extensão territorial e por isso, apresenta diferentes regimes de chuvas e de temperaturas. De norte a sul, encontra-se uma grande variedade de

climas com distintas características regionais. Com relação às temperaturas, observa-se nas regiões norte e nordeste um clima quente com temperaturas elevadas e com pouca variabilidade durante o ano. O Sudeste e o Centro-oeste, devido às suas localizações latitudinais, caracterizam-se por serem regiões de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias. O sul do país é a região com maior variabilidade térmica anual, embora a distribuição regional das temperaturas seja bastante uniforme. No inverno é freqüente a penetração de massas de ar frio de altas latitudes, o que contribui para a predominância de baixas temperaturas.

De acordo com o IBGE, censo demográfico de 1991, cerca de 75% da população brasileira é urbana. Sabendo-se que as populações urbanas passam quase que a totalidade do seu tempo em ambientes edificados especiais atenção deve ser dada ao estudo das condições ambientais satisfatórias à ocupação humana e às características construtivas das edificações necessárias à obtenção dessas condições. Entre essas condições satisfatórias à ocupação humana, situa-se a de conforto térmico.

A necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas quando expostas a uma determinada condição ambiental fez com que o homem desenvolvesse critérios de avaliação como a norma ISO 7730(1994). Essa norma é indicada para ambientes térmicos moderados e utiliza o método do voto médio estimado (PMV) e a correspondente porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD).

O PMV foi baseado em estudos realizados em câmaras climatizadas (Fanger, 1970) e utiliza uma escala de sensações térmicas de sete pontos (+3 muito calor, +2 calor, +1 leve calor, 0 conforto, -1 leve frio, -2 frio, -3 muito frio). Esse índice parte do princípio de que a sensação térmica das pessoas está estritamente relacionada com o equilíbrio térmico do corpo humano. Esse equilíbrio é influenciado por variáveis pessoais (taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta) e por variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar).

Dessa forma, medindo-se ou estimando-se essas variáveis num ambiente, pode-se com a ISO 7730(1994) prever a sensação térmica de um grupo de pessoas e a porcentagem de insatisfeitos. Para subsidiar a obtenção das variáveis existem normas como a ISO 7726 (1985) que especifica métodos e características dos instrumentos para avaliação do conforto térmico, ISO 8996 (1990) que descreve métodos para obtenção da taxa de metabolismo e ISO 9920 (1995) que apresenta métodos para estimar as características térmicas das vestimentas.

O conhecimento de todas essas normas muitas vezes não é suficiente para se obter resultados confiáveis nas aplicações práticas porque o PMV é um modelo matemático desenvolvido a partir de experiências em laboratório onde todas as variáveis foram cuidadosamente medidas; essa condição, porém não pode ser garantida para as variáveis pessoais nas aplicações de campo devido aos recursos técnicos necessários. Assim essas variáveis têm que ser subjetivamente estimadas através de tabelas como as dos anexos A e E da ISO 7730(1994) ou as da ISO 9920(1995) e ISO 8996(1990). Como tratado em Ruas (1999), isso pode gerar erros consideráveis e o objetivo desse trabalho é discuti-los e tratar da sua influência na avaliação do conforto térmico.

2 Influência das variáveis pessoais no conforto térmico

O homem é um ser homotérmico, isto é, tem que manter a temperatura interna do corpo praticamente constante para que as suas funções vitais possam ser realizadas adequadamente. Esse controle de temperatura é realizado por um sistema orgânico chamado de termorregulador que conserva o equilíbrio térmico do corpo através de ações fisiológicas que interferem nas trocas de calor com o meio.

A sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador. Isso representa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será o desconforto.

O trabalho do sistema termorregulador depende de variáveis pessoais e ambientais.

As variáveis pessoais são a energia do metabolismo e o isolamento térmico da vestimenta.

A energia do metabolismo é a energia mecânica e térmica resultante da degradação dos alimentos. Essa degradação pode ser comparada a uma lenta queima de produtos devido ao consumo de oxigênio

A maior parte da energia produzida pelo metabolismo é convertida em energia térmica e desse modo a parcela mecânica pode ser negligenciada, considerando-se o calor metabólico igual à taxa de metabolismo.

O processo metabólico libera calor continuamente e a sua produção é maior com o aumento da atividade física executada. Dessa forma a taxa de metabolismo representa a quantidade de calor que precisa ser trocado com o ambiente e é um dos fatores determinantes do trabalho do sistema termorregulador.

A ISO 7730(1994) adota para taxa de metabolismo a unidade W/m^2 que representa a energia produzida por unidade de área superficial do corpo; nos anexos dessa norma também é utilizada a unidade met ($1\text{met} = 58,2W/m^2$).

A outra variável pessoal, isolamento térmico da vestimenta, refere-se à interferência da roupa com o trabalho do sistema termorregulador devido à barreira imposta por ela às trocas de calor do corpo com o meio. A magnitude dessa interferência depende principalmente do tecido e do modelo de fabricação da roupa.

A unidade usada para o isolamento térmico das vestimentas é $m^2\text{C}/W$ embora a ISO 7730(1994) também adote o clo ($1\text{ clo} = 0,155\text{ m}^2\text{C}/W$).

3 Estimativa da taxa de metabolismo

A taxa de metabolismo não depende só da atividade física mas também da idade, sexo e temperatura ambiente.

Mcardle, Katch & Katch (1985a) afirmam que o metabolismo basal das mulheres é de 5 a 10 % menor que o dos homens devido ao fato delas possuírem mais gordura corporal

do que os homens de idade e dimensões idênticas. A gordura é metabolicamente menos ativa que o músculo.

Quanto à influência da idade no metabolismo McIntyre (1980) mostra que o metabolismo basal decresce constantemente com a idade e que um homem de vinte anos tem um metabolismo, em média, 12 % maior que um de 45 anos com as mesmas características corporais.

Com relação ao efeito da temperatura do ar na taxa de metabolismo, McIntyre (1980) mostra que num ambiente a 10° C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas nuas em repouso. Esse autor afirma também que o calor afeta diretamente o processo metabólico porque aumenta a velocidade das reações químicas envolvidas. Ele cita Consolazio que encontrou um aumento de 12 % no metabolismo de atividades realizadas numa temperatura ambiente de 38° C quando comparado com o metabolismo da mesma atividade num ambiente a 29° C.

A representação de um ciclo de trabalho por uma taxa de metabolismo é uma tarefa difícil, uma vez que esse ciclo é normalmente composto por diferentes atividades que expõem o homem a uma combinação de períodos de descanso e de variada solicitação física; além disso, essa taxa também depende de fatores individuais e do método utilizado na execução das tarefas.

A forma mais precisa de se obter a energia do metabolismo é através da medição do consumo de oxigênio; esse método, no entanto, tem aplicação em campo limitada devido aos recursos técnicos necessários. Outro método disponível, não tão preciso quanto o anterior, é através do registro da frequência cardíaca durante o trabalho. Esse método é aplicável quando a solicitação muscular é principalmente dinâmica e na ausência de sobrecarga térmica e mental.

A obtenção da energia do metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca exige equipamentos adequados e tempo para os estudos necessários; esses recursos geralmente não estão disponíveis nas aplicações de campo e isso faz com que o metabolismo seja normalmente estabelecido a partir de valores referenciais tabelados.

Os valores de taxa de metabolismo constantes nas tabelas da ISO 7730(1994) e ISO 8996(1990) foram baseados numa pessoa padrão de 35 anos (homem com 70 kgf e 1,70 m e mulher com 60 kgf e 1,60 m), sendo 44 W/m² a taxa de metabolismo basal adotada para o homem e 41 W/m² para a mulher. Dessa forma, nas situações reais, é preciso considerar que a partir dos 25 anos o metabolismo decresce constantemente como explicado em Mcardle, Katch & Katch (1985b) e que o peso corporal aumenta o metabolismo das atividades que exigem movimentação, Mcardle, Katch & Katch (1985a).

De acordo com a ISO 8996 (1990) a taxa de metabolismo pode variar ± 5% de pessoa para pessoa, para o mesmo trabalho e sob as mesmas condições ambientais. A experiência de campo de Malchaire et al. (1984) que mediu o metabolismo de duas atividades diferentes realizadas cada qual por um grupo de trabalhadores, obteve desvio padrão de 10 % para um dos grupos e 25 % para o outro.

O uso de tabelas, como a da ISO 7730(1994) e as da ISO 8996(1990) para a estimativa da taxa de metabolismo, torna o processo suscetível a erros consideráveis,

tendo em vista que as normas não trazem parâmetros que possibilitem considerar as diferenças individuais, de equipamentos utilizados, de técnica e ritmo de trabalho. Além do mais, a subjetividade inerente ao processo faz com que as diferenças entre os observadores, relativas principalmente ao nível de treinamento, influenciem nas avaliações.

A influência do avaliador na estimativa do metabolismo por tabelas foi demonstrada pelo trabalho de Kähkönen et. al. (1992) que usaram cinco observadores experientes e cinco inexperientes para, independentemente, analisar três ciclos de trabalho de diferentes áreas. Os resultados dessa pesquisa, resumidos na tabela 1, mostraram, para os três ramos de atividade e tanto para observadores experientes quanto para os inexperientes, grande diferença na estimativa da taxa de metabolismo. O efeito dessas diferenças fica evidente quando se utiliza esses valores para calcular o PMV e obtém-se, para o mesmo ciclo de trabalho, resultados tão diversos como 0,63 e 2,03 para a oficina mecânica, 1,39 e 3,00 para a construção civil e - 0,23 e 1,13 para o comércio.

Tab. 1 Comparativo das estimativas de taxa de metabolismo e Voto Médio Estimado obtidos na pesquisa de Kähkönen et al.(1992).

Ramos de atividade	Observadores	Taxas de metabolismo (W/m ²)			Voto Médio Estimado
		Medianas	Intervalos	Diferenças	Intervalos
Oficina Mecânica	Inexperientes	192	170 - 230	60	1,02 - 2,03
	Experientes	165	147 - 185	38	0,63 - 1,27
Construção Civil	Inexperientes	240	200 - 260	60	1,39 - 2,44
	Experientes	230	211 - 292	81	1,58 - 3,00
Comércio	Inexperientes	145	120 - 170	50	0,19 - 1,04
	Experientes	135	100 - 175	75	- 0,23 - 1,13

4 Estimativa do isolamento térmico das vestimentas

A resistência à troca de calor sensível, por convecção, radiação e condução, e a resistência à troca de calor latente, por evaporação do suor, são propriedades das vestimentas que determinam a sua interferência no conforto térmico.

A ISO 7730(1994), através do PMV, usa o isolamento térmico básico para diferenciar as vestimentas; essa propriedade representa o isolamento da pele até a superfície da vestimenta, considerando o fato de que um corpo vestido tem área superficial maior que um corpo nu e desconsiderando a permeabilidade do tecido à umidade. Essa permeabilidade não tem grande influência para atividades sedentárias em ambientes com temperaturas próximas à de conforto, mas quando o nível de atividade e/ou a

temperatura aumentam essa propriedade é relevante devido à maior necessidade do corpo perder calor por evaporação do suor.

Na prática, o isolamento térmico de uma roupa é calculado pelo somatório dos isolamentos das peças que a compõem, conseguidos em tabelas como as da ISO 7730(1994) e ISO 9920(1995). Os valores listados nessas tabelas foram obtidos em medições realizadas em câmaras climatizadas com o uso de manequins térmicos, fixos na posição em pé. As condições dos testes não reproduzem as situações reais em que o isolamento sofre a influência de fatores como a velocidade do ar, a postura e o movimento do corpo.

A ISO 7730(1994) cita, no seu anexo E, que a cadeira pode contribuir com um isolamento adicional de 0 clo a 0,4 clo quando são realizadas atividades sedentárias na posição sentado e remete à ISO 9920 para maiores informações. O problema é que essas informações não estão na norma citada e sim no trabalho de McCullough et al. (1994).

Quanto à influência do movimento do corpo e da velocidade do ar, a ISO 9920(1995) cita, no seu item 5, que o "efeito de bombeamento" causado pelo movimento do corpo pode reduzir de 5% a 50% o isolamento térmico de uma vestimenta e que a interferência do vento depende da permeabilidade do tecido e das aberturas existentes, recomendando uma redução no isolamento de 20% para taxas de metabolismo superiores a 100 W/m² e de 10% para valores entre 60 W/m² e 100 W/m².

As normas tratam dessas interferências superficialmente, dificultando a sua consideração nas aplicações práticas.

Um outro aspecto a ser abordado é o de que no Brasil não se conhece trabalhos sobre isolamento térmico das vestimentas e assim não se dispõe de parâmetros que permitam comparar as roupas utilizadas aqui com aquelas estudadas por Olesen(1985) e que formam a base das tabelas da ISO 9920(1995).

A dificuldade de enquadrar as peças de uma vestimenta naquelas listadas nas tabelas também é uma fonte de erros considerável. Isso foi comprovado pelo trabalho de McCullough et al. (1985) que usando estudantes da área têxtil para estimar o isolamento térmico de algumas roupas previamente analisadas em laboratório, obteve diferenças entre o estimado e o real que resultaram num coeficiente de variação de 23%. Essa variação é alta se for considerado que os avaliadores eram da área têxtil e foram treinados para o uso das tabelas e que as peças de vestuário usadas foram idênticas às listadas nas tabelas.

A importância da correta estimativa do isolamento térmico das vestimentas na avaliação do conforto térmico pode ser verificada pelo fato de que um aumento de 0,1 clo no isolamento corresponde a uma diminuição de 0,6°C na temperatura de conforto para as atividades sedentárias e de 1,5°C para as atividades pesadas (Fanger, 1970).

5 Conclusões

O uso de tabelas, como a da ISO 7730(1994) e as da ISO 8996(1990), torna a estimativa da taxa de metabolismo suscetível a erros consideráveis tendo em vista que

a escolha de valores tabelados dificulta a consideração de diferenças individuais, de equipamentos utilizados, de técnica e ritmo de trabalho. Além do mais, a subjetividade inerente ao processo faz com que as diferenças entre os observadores, relativas principalmente ao nível de treinamento, influenciem nas avaliações.

A ISO 7730(1994), através do PMV, usa só o isolamento térmico básico para diferenciar as vestimentas e assim desconsidera a permeabilidade do tecido à umidade. Essa permeabilidade não tem grande influência na sensação térmica das pessoas se a atividade é sedentária e a temperatura do ambiente está próxima à de conforto. Quando o nível de atividade e/ou a temperatura aumentam essa propriedade é relevante devido à maior necessidade do corpo perder calor por evaporação do suor.

A correta estimativa do isolamento térmico das vestimentas é difícil porque as normas ISO 7730(1994) e ISO 9920 (1995) não contêm informações precisas sobre a influência nesse isolamento de fatores como a velocidade do ar, a postura e o movimento do corpo. Uma outra fonte de erros é a subjetividade de enquadrar as peças de uma vestimenta naquelas listadas nas tabelas.

O efeito combinado de erros nas estimativas da taxa de metabolismo e no isolamento térmico das vestimentas pode resultar numa avaliação de conforto térmico irreal, tendo em vista a grande influência dessas variáveis no PMV.

6 Referências Bibliográficas

Fanger, O. (1970): *Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering*. Copenhagen,. 244p.

International Organization for Standardization, (1995): Geneva. *ISO 9920*; ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva,.

International Organization for Standardization, (1994): Geneva. *ISO 7730*; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva.

International Organization for Standardization, (1990): Geneva. *ISO 8996*; ergonomics-determination of metabolic heat production. Geneva.

International Organization for Standardization, Switzerland. (1985): *ISO 7726*; thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 39p.

Kähkönen, E. ; Nykyri, E. ; Ilmarinen, R. ; Ketola, R. ; Lusa, S. ; Nygard, C-H. ; Suurnäkki, T. (1992): The effect of appraisers in estimating metabolic rate with the Edholm scale. In *Applied Ergonomics*, v.23, n.3.

Malchaire, J. ; Wallemacq, M. ; Rogowsky, M. ; Vanderputten. (1984): Validity of oxygen consumption measurement at the workplace: What are we measuring. In: *Annals of Occupational Hygiene*, v. 28, n. 2, p. 189-193.

Mcardle, W. D. ; Katch, F. I. ; Katch, V. L. (1985a): *Fisiologia do exercício - Energia, Nutrição e desempenho humano*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, Cap. 9: Consumo de energia humana durante o repouso e a atividade física. p. 96-107.

Mcardle, W. D. ; Katch, F. I. ; Katch, V. L. (1985b): *Fisiologia do exercício - Energia, Nutrição e desempenho humano*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, Cap. 11: Diferenças individuais e mensurações das capacidades energéticas. p. 122-139.

McIntyre, D.A. (1980): *Indoor Climate*. London: Applied Science Publishers, 443p.

McCullough, E.A. ; Olesen, B.W. ; Hong, S. (1994): Thermal insulation provided by chairs. In: *ASHRAE Transactions*, v. 100, part. 1.

McCullough, E.A. ; Jones, B.W. ; Huck, J. (1985): A comprehensive data base for estimating clothing insulation. In: *ASHRAE Transactions*, v. 91, part. 2A.

Olesen, B.W. (1985): A new simpler method for estimating the thermal insulation of a clothing ensemble. In: *ASHRAE Transactions*, v. 91, part. 2B.

Ruas, A.C., (1999). Avaliação de conforto térmico - contribuição à aplicação prática das normas internacionais. TESE (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.