

## **CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS. PARTE 2: CONSIDERAÇÃO DA TAXA METABÓLICA E DO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ROUPA**

**Leonardo Marques Monteiro (1); Marcia Peinado Alucci (2)**

Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil, tel: 55 11 3091-4538 r.214, fax: 55 11 3091-4539  
e-mail: (1) leo4mm@gmail.com (2) marcialu@usp.br

### **RESUMO**

O artigo “Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais” apresentou os levantamentos empíricos de situações microclimáticas e de aplicação dos questionários, os procedimentos para correlações entre as variáveis microclimáticas e a subjetivas e, finalmente, a proposição do índice de temperatura equivalente percebida (TEP). Considerando que o objetivo desta pesquisa, “Conforto térmico em espaços abertos”, foi quantificar as correlações entre variáveis microclimáticas (temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação térmica) e variáveis subjetivas (percepção de sensações térmicas), mediadas por variáveis individuais (vestimentas e atividade física), possibilitando a predição do grau de adequação térmica de espaços abertos para uma população adaptada às condições climáticas em que se encontra, este segundo artigo tem o objetivo específico de verificar a influência de diferentes taxas metabólicas (por meio de atividades físicas comumente praticadas em espaços urbanos) e de diferentes isolamentos térmicos de roupas (também comumente utilizados em espaços urbanos abertos), na sensação térmica dos usuários. Para tanto, foram considerados métodos indutivo experimental (levantamento em campo de variáveis microclimáticas, individuais e subjetivas), estatístico (regressão numérica), analítico (balanço termo-fisiológico) e comparativo (temperatura equivalente). Os resultados apresentam as correlações obtidas para cada variável em questão, concluindo com a incorporação dos resultados no modelo de temperatura equivalente percebida (TEP), proposto no artigo anterior.

Palavras-chave: conforto térmico, espaços abertos, modelo preditivo, temperatura equivalente.

### **ABSTRACT**

The paper “Outdoor thermal comfort. Part 1: consideration of microclimatic variables” presented the empirical research of microclimatic situations and application of questionnaires, the procedures for the correlations between the microclimatic and subjective variables and, finally, the proposition of the index of temperature of equivalent perception (TEP). Considering that the objective of this research, “Outdoor thermal comfort” was to quantify the correlations between the urban microclimatic variables (air temperature, humidity and velocity and thermal radiation) and subjectivity variables (perception of thermal sensation variables), mediated by means of individual variables (clothing insulation and metabolic rate), allowing the prediction of the outdoor thermal environment adequacy to a population adapted to a given climatic condition, this second paper has the objective of verify the influence of different metabolic rates (by means of commonly practiced physical activities in the open urban space) and of different clothing thermal insulation (also by means of commonly used clothing in urban open spaces) in the perception of thermal sensation. In order to do so, the methods considered were: experimental inductive (field research of microclimatic, individual and subjective variables), statistic (numeric regression), analytic (thermo-physiological model) and comparative (equivalent temperature). The results presents the obtained correlations for each variable in question, concluding with the incorporation of the results in the model of temperature of equivalent perception (TEP), proposed in the previous paper.

Keywords: thermal comfort, outdoor spaces, predictive model, equivalent temperature.

## 1 INTRODUÇÃO

São aqui consideradas as variáveis individuais atividade física, que implica em diferentes taxas metabólicas (ISO 8996, 2004) e vestimenta, que caracteriza diferentes valores de isolamento térmico (ISO 9920, 2007). Os próximos itens apresentam respectivamente os procedimentos realizados para a adaptação do modelo de temperatura equivalente percebida (TEP) para sua utilização com diferentes taxas metabólicas, referentes às atividades comumente realizadas em espaços abertos e os conseqüentes resultados obtidos. Os itens subseqüentes consideram o isolamento da roupa, propondo um modelo para sua predição, possibilitando assim a verificação de um modelo para as vestimentas comumente utilizadas nos espaços abertos urbanos e os seus respectivos resultados.

Nos levantamentos empíricos realizados, apresentados no artigo anterior, “*Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais.*”, as pessoas estavam em pé e paradas, tendo aguardado entre vinte e trinta minutos nessa posição, para estabilização da taxa metabólica e adaptação ao ambiente em questão. Desta forma, considerando-se que se tratava de grupos de pessoas em pé e paradas, que se comunicavam expansivamente entre si, adotou-se uma taxa metabólica equivalente a 1,3 Met para simulação computacional dos modelos.

Os modelos preditivos que apresentaram as maiores correlações com os resultados dos levantamentos de campo (Monteiro e Alucci, 2007a e 2007b) foram utilizados, por meio de estudos analíticos, para a predição das sensações térmicas em situações com outras taxas metabólicas. Contudo, sem os levantamentos empíricos, não se poderia afirmar se tais modelos forneceriam resultados satisfatórios. Com relação ao isolamento da roupa, foram utilizadas as variações verificadas em relação aos valores médios deste nas diversas situações ambientais observadas nos levantamentos de campo realizados. Os detalhes dos métodos e resultados a serem apresentados podem ser encontrados em Monteiro (2008).

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a verificação da influência específica de diferentes taxas metabólicas (por meio de atividades físicas comumente praticadas em espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo) e de diferentes isolamentos térmicos de roupas (comumente utilizados em espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo), na sensação térmica dos usuários, considerando para tanto o índice de temperatura equivalente percebida proposto no artigo anterior “*Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais.*”.

## 3 MÉTODOS PARA CONSIDERAÇÃO DA TAXA METABÓLICA

São considerados a seguir os modelos para realização do balanço termofisiológico e da predição da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo. Na seqüência, são apresentados os procedimentos para simulação.

### 3.1 Modelos de balanço termofisiológico

Considerando-se o conjunto mais abrangente de dados, com setenta e duas situações microclimáticas e 1750 questionários aplicados, verificou-se em Monteiro e Alucci (2007a e 2007b) que os modelos que apresentaram melhores resultados correlativos com a base empírica foram o MENEX (Blazejczyk, 1996; *apud* Blazejczyk, 2002a, 2002b), com a utilização do índice de carga térmica (Blazejczyk *et al.*, 2000), e o de Sevilha (Dominguez *et al.* 1992), com a utilização da taxa de suor requerida.

Esse último baseia-se no modelo de Vogt *et al.* (1981; *apud* Parsons, 1993), que também considera a taxa de suor requerida. Esse modelo apresentou resultados satisfatórios, com correlações apenas um pouco inferiores às dos dois modelos citados. Deve-se observar que o modelo de Sevilha destina-se apenas, a princípio, à verificação de situações térmicas de calor.

Desta forma, é utilizado aqui o modelo de balanço termofisiológico MENEX, proposto por Blazejczyk (1996), mas com algumas alterações. Devido às características próprias desse modelo, que considera a radiação solar independentemente por meio de correlações empíricas, optou-se por considerar as trocas térmicas radiativas de onda longa de acordo com Vogt *et al.* (1981), utilizando-se ainda para os ganhos de radiação solar o proposto por Dominguez *et al.* (1992). O trabalho desses autores foi apresentado em Monteiro e Alucci (2005a e 2005b). É aqui utilizado um modelo híbrido baseado nos autores citados, considerando-se como critério de interpretação o índice de carga térmica proposto por Blazejczyk *et al.* (2000), por ser, dentre os derivados de modelos analíticos que consideram situações térmicas de calor e de frio, o que apresentou as melhores correlações com a base empírica em utilização.

### 3.2 Modelos de predição da velocidade relativa

Considerando-se as atividades em espaços abertos, parte delas envolve deslocamentos. Em certos casos o deslocamento é o que caracteriza a atividade, como ocorre nos locais de passagem. Assim, nesses casos, é necessária a consideração não apenas da velocidade do ar, mas sim da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, uma vez que em muitos casos a velocidade do indivíduo é mais significativa do que a do ar. São então aqui descritos alguns modelos para predição da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo.

A norma ISO 7933 (1989) propõe a utilização de velocidade do ar corrigida em função da taxa metabólica, utilizando-se o menor valor resultante das equações seguintes.

$$v_r = v_{ar} + 0,0052 \cdot (M-58) \quad \text{Equação 1}$$

e

$$v_r = v_{ar} + 0,7 \quad \text{Equação 2}$$

onde:  $v_r$  é a velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, em m/s;

$v_{ar}$  é a velocidade do ar, em m/s

$M$  é a taxa metabólica, em  $W/m^2$

Essa modelagem foi gerada por meio da regressão de dados obtidos em estudos com trabalhadores braçais em situações térmicas de calor. Por não envolver necessariamente deslocamentos, mas sim atividades físicas mais pesadas, acredita-se não ser um modelo adequado para a consideração da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo em espaços abertos.

Blazejczyk (2001), para a consideração da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, propõe a equação seguinte.

$$v_r = (v_{ar} + v_i)^{0,4} \quad \text{Equação 3}$$

onde:  $v_i$  = velocidade do indivíduo, em m/s

Contudo, considerando-se resultados da referida equação, verifica-se um achatamento nos valores resultantes de velocidade relativa do indivíduo. Assumindo-se valores de 0,1m/s a 3,6m/s para a velocidade do ar e de 0,9m/s a 1,7m/s para a velocidade do indivíduo, verifica-se que o limite inferior da velocidade relativa é de 1,0m/s, sendo portanto o equivalente à soma numérica das velocidades mínimas. Por outro lado, o limite superior é de 1,9m/s, sendo assim exatamente igual à diferença numérica das velocidades máximas.

Deste modo, considerando-se os limites a serem utilizados neste trabalho, o modelo em questão, coincidentemente, acaba por fornecer resultados que, por um extremo caracterizam a concordância da direção e sentido dos vetores das velocidades e, por outro, a oposição de sentidos em uma mesma direção dos mesmos referidos vetores. Não é claro o objetivo do achatamento dos valores, sendo que para velocidades do ar ainda maiores, devido ao expoente da equação, o achatamento se acentua. Por esse motivo, esse modelo não parece adequado ao caso em questão, por aparentemente subestimar a ação conjunta das velocidades do ar e do indivíduo exatamente quando essas assumem valores mais significativos.

Jendritzky (1991; *apud* Jendritzky, 2003) propõe a utilização da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, considerando-se a soma vetorial das mesmas.

$$\vec{v}_r = \vec{v}_{ar} + \vec{v}_i \quad \text{Equação 4}$$

Para tanto, é necessário conhecer não apenas a magnitude da velocidade do ar, mas também sua direção e seu sentido. Nos trabalhos de campo foram levantados os dados de direção do vento. Contudo, a consideração da soma vetorial implica em saber também a direção e sentido em que as pessoas se locomovem. Mesmo em casos específicos, a determinação do fluxo nem sempre é precisa. Em locais de passagem, comumente tem-se o fluxo em uma direção, mas nos dois sentidos possíveis. Desta forma, para se avaliar um caso específico, por vezes tem-se mais de uma resposta, em função da direção e sentido do deslocamento do indivíduo, ou se chega a um valor representativo médio. Como o objetivo aqui é a determinação de uma equação geral, prefere-se chegar a um valor representativo médio. A problemática aqui levantada apontou para a solução a ser utilizada.

Considera-se, então, a soma vetorial da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, mas admitindo-se que o vento incide sempre lateralmente ao deslocamento do indivíduo. Ou seja, os vetores estão sempre perpendiculares. Deste modo, tem-se por simplificação a relação seguinte.

$$v_r = (v_{ar}^2 + v_i^2)^{1/2} \quad \text{Equação 5}$$

Assim sendo, não é necessário conhecer a direção e sentido do deslocamento do ar, tampouco do indivíduo. Imaginando-se uma situação típica em local de passagem, em que as pessoas se deslocam em uma mesma direção e sentidos opostos, tem-se que a soma vetorial a noventa graus acaba por causar possível subestimação da velocidade relativa para um sentido, mas com conseqüente superestimação no outro sentido. Acredita-se, desta forma, que se chega a um valor médio representativo.

De modo análogo, em um local de permanência, em que os fluxos de pessoas não são bem delimitados, caso se admita que as pessoas estejam caminhando em direções e sentidos aleatórios, a incidência lateral do vento gera, mais uma vez, uma situação média representativa da realidade em questão.

Portanto, é aqui adotada a soma vetorial a noventa graus para a consideração da velocidade relativa entre ar e indivíduo.

### 3.3 Procedimentos para simulação

Para a verificação da alteração das taxas metabólicas na temperatura equivalente percebida (TEP), foram realizadas simulações por meio da modelagem anteriormente descrita, adaptando-se o proposto por Blazejczyk (1996), Vogt *et al.* (1981) e Dominguez *et al.* (1992).

Foi considerada toda a faixa de aplicação do índice TEP compreendida entre os seus valores-limite de temperatura do ar ( $t_{ar}=15\sim 33^{\circ}\text{C}$ ), temperatura radiante média ( $t_{rm}=15\sim 66^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (UR=30~95%), velocidade do ar ( $v_{ar}=0,1\sim 3,6\text{m/s}$ ) e isolamento térmico da roupa ( $I_{cl}=0,3\text{-}1,2\text{clo}$ ).

Foram feitas simulações com incrementos de  $t_{ar}=3^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{rm}=6^{\circ}\text{C}$ ; UR=15%;  $v_{ar}=0,5\text{m/s}$  e  $I_{cl}=0,25\text{clo}$ . Os seguintes ajustes foram feitos: para  $t_{rm}$  considerou-se até o valor de  $69^{\circ}\text{C}$ ; para UR iniciou-se em 35%; e para  $I_{cl}$  iniciou-se em 0,25 clo e finalizou-se em 1,25 clo; garantindo-se assim a integridade dos intervalos. Garante-se ainda a coincidência com os valores da  $t_{ar}$ , no caso da  $t_{rm}$ , e com os valores comumente empregados, no caso da UR e do  $I_{cl}$ .

Realizando-se todas as possibilidades combinatórias dessas variáveis (7 valores de  $t_{ar}$ , 10 de  $t_{rm}$ , 5 de UR, 8 de  $v_{ar}$  e 5 de  $I_{cl}$ ), totalizaram-se 14.000 simulações para cada taxa metabólica, possibilitando a determinação adequada de valores de TEP que proporcionam a mesma sensação térmica em diferentes atividades. A Tabela 1 traz de maneira esquemática as informações recém apresentadas.

**Tabela 1:** Valores simulados para determinação da variação da TEP em função da taxa metabólica.

Variável	Intervalo testado	Incremento utilizado	Quantidade de valores
$t_{ar}$	15~33°C	3°C	7
$t_{rm}$	15~69°C	6°C	10
UR	35~95%	15%	5
$v_{ar}$	0,1~3,6m/s	0,5m/s	8
$I_{cl}$	0,25-1,25clo	0,25clo	5

## 4 RESULTADOS EM FUNÇÃO DA TAXA METABÓLICA

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam os valores médios dos resultados das simulações realizadas, agrupados de acordo com a TEP de referência. Os valores do índice de carga térmica (HL) foram utilizados para a determinação da TEP', que é o novo valor da temperatura equivalente percebida encontrada para as diversas taxas metabólicas testadas. O delta apresentado é a diferença entre os valores de TEP' e TEP. A Tabela 4 apresenta a correção a ser aplicada na equação de TEP originalmente proposta para  $M=1,3\text{met}$ . Constam, ainda, os limites em que as correções foram obtidas e o erro estimado para cada valor.

**Tabela 2:** Resultados das simulações para determinação da TEP em função de taxas metabólicas (1 Met, 2 Met e 2,4 Met).

TEP	1,0 Met			2,0 Met			2,4 Met		
	HL	TEP'	$\Delta$	HL	TEP'	$\Delta$	HL	TEP'	$\Delta$
12	0,55	10,5	-1,5	0,67	15,5	3,5	0,77	18,2	6,2
15	0,62	13,5	-1,5	0,76	18,5	3,5	0,84	21,1	6,1
18	0,70	16,5	-1,5	0,85	21,5	3,5	0,92	23,6	5,6
21	0,79	19,5	-1,5	0,95	24,5	3,5	1,02	26,2	5,2
24	0,88	22,5	-1,5	1,06	27,5	3,5	1,13	29,4	5,4
27	0,98	25,5	-1,5	1,17	30,5	3,5	1,25	32,8	5,8
30	1,09	28,5	-1,5	1,29	33,5	3,5	1,48	36,0	6,0
33	1,20	31,5	-1,5	1,33	36,6	3,6	1,56	39,1	6,1
36	1,41	34,5	-1,5	1,65	39,6	3,6	1,75	42,3	6,3
39	1,48	37,5	-1,5	1,75	42,6	3,6	1,87	45,2	6,2
42	1,59	39,5	-1,5	1,89	46,2	4,2	2,01	49,5	7,5
45	1,71	43,4	-1,6	2,03	49,9	4,9	2,16	51,5	6,5

**Tabela 3:** Resultados das simulações para determinação da TEP em função de taxas metabólicas (2,6 Met, 3,0 Met e 3,5 Met).

TEP	2,6 Met			3,0 Met			3,5 Met		
	HL	TEP'	Δ	HL	TEP'	Δ	HL	TEP'	Δ
12	0,86	21,7	9,7	1,08	28,0	16,0	1,37	36,0	24,0
15	0,95	24,5	9,5	1,18	30,7	15,7	1,51	38,7	23,7
18	1,04	26,5	8,5	1,29	33,5	15,5	1,65	41,6	23,6
21	1,12	29,0	8,0	1,40	36,0	15,0	1,78	44,5	23,5
24	1,18	31,4	7,4	1,49	37,0	13,0	1,91	47,3	23,3
27	1,21	34,0	7,0	1,56	39,0	12,0	2,01	49,5	22,5
30	1,52	37,1	7,1	1,59	41,7	11,7	2,15	51,3	21,3
33	1,61	40,2	7,2	2,16	44,6	11,6	2,31	52,9	19,9
36	1,80	43,9	7,9	1,91	47,4	11,4	2,50	53,1	17,1
39	1,93	47,5	8,5	2,04	50,0	11,0	2,68	53,8	14,8
42	2,07	50,7	8,7	2,20	51,7	9,7	2,89	54,7	12,7
45	2,24	51,9	6,9	2,37	52,5	7,5	2,96	54,6	9,6

**Tabela 4:** Resumo dos resultados das simulações para determinação da TEP em função de diferentes taxas metabólicas

Atividade	sentado	em pé	andando					
velocidade da pessoa (m/s)	-	-	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	
velocidade da pessoa (km/h)	-	-	3,2	4	4,7	5,4	6,1	
taxa metabólica (Met)	1	1,3	2,0	2,4	2,6	3,0	3,5	
TEP consideradas (°C)	12~45	12~45	12~39	12~39	15~36	15~36	15~36	
correção (°C)	-1,5	0,0	3,5	5,7	7,7	13,5	20,4	
erro estimado (°C)	± 0,0	± 0,0	± 0,1	± 0,5	± 0,8	± 2,0	± 3,3	

#### 4.1 Discussão dos resultados

Conforme pode ser observado, para taxas metabólicas de 1,0 e 2,0 Met, os resultados são bastante precisos. Para 2,4 Met, o erro estimado é da ordem de 0,5 °C. Nos casos de taxas metabólicas mais elevadas, verifica-se que os erros estimados são crescentes, mesmo em faixas de aplicabilidade mais restritas.

Segundo vários autores, como Jendritzky (1979, *apud* Jendritzky & Nübler, 1981) e Blazejczyk (2003), a velocidade média do caminhar pela rua é de 1,1 m/s. Desta forma, as atividades metabólicas de maior interesse para avaliação de espaços abertos podem ser resumidas a três: 1,0 Met (pessoa sentada), 1,3 Met (pessoa em pé com pouca atividade) e 2,4 Met (pessoa caminhando a uma velocidade média de 1,1 m/s). Assim, as correções a serem aplicadas são de -1,5 °C para pessoas sentadas e 5,7 °C para pessoas caminhando.

Considerando-se que para a atividade metabólica de 2,4 Met o erro estimado de 0,5 °C seja aceitável, propõe-se a seguir uma linearização dos valores encontrados para atividade entre 0,0 e 2,4 Met, fornecendo-se assim uma equação para aplicação nas atividades comumente encontradas em espaços abertos.

$$\Delta TEP = -6,648 + 5,118 \cdot M$$

Equação 6

onde:  $\Delta TEP$  = variação na temperatura equivalente percebida, em °C

A equação anterior, para a faixa de valores proposta, apresenta correlação de 1, portanto com  $r^2$  também igual 1, e  $r^2$  ajustado de 0,999. O erro padrão é 0,080 e a significância de  $p < 0,001$ . Em termos práticos, a linearização proposta mantém a correção dos valores compreendidos entre 1,0 e 2,0 Met. Para o valor de 2,4 Met, a equação prediz um valor de 5,6°C, quando o correto seria 5,7°C. Como o erro estimado para os resultados dessa taxa metabólica já era de 0,5°C, no pior dos casos, ainda que improvável, o erro acumulado seria de 0,6°C.

É importante mencionar que para valores superiores a 2,4 Met, observa-se que o crescimento da variação na temperatura equivalente não é mais linear. Assim, se a mesma for empregada para esses casos, haverá uma subestimação da variação. Portanto, para  $M=2,6$  Met, a predição seria de 6,5°C, enquanto o valor encontrado foi de 7,5°C; para  $M=3,0$  Met e 3,5 Met, têm-se respectivamente 8,5°C e 11,5°C contra 13,5 °C e 20,5°C originalmente encontrados.

Deste modo, a utilização da equação deve ser restrita às taxas metabólicas especificadas. Seria possível a determinação de um modelo não linear que abarcasse a totalidade das taxas consideradas. Contudo, conforme visto na Tabela 4, esses casos recém mencionados apresentam erros estimados consideráveis e ainda crescentes (respectivamente 0,8; 2,0 e 3,3). Portanto, como a equação linear abarca as atividades comumente praticadas em espaços abertos, optou-se por mantê-la.

Ressalta-se que as correções apresentadas na Tabela 4 são passíveis de utilização, desde que reconhecidas as faixas a que se aplicam e os respectivos erros estimados. Por outro lado, acredita-se que a

equação recém proposta seja justificável pela possibilidade de poder ser adicionada à equação de TEP originalmente proposta. No item seguinte, é considerada essa questão.

## 4.2 Aplicação dos resultados da taxa metabólica

Com base nos resultados obtidos no item anterior, a nova equação de TEP é a que se segue.

$$TEP = -10,425 + 0,4828 \cdot t_{ar} + 0,5172 \cdot t_{rm} + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot v_{ar} + 5,118 M \quad \text{Equação 7}$$

A Tabela 5 reinterpreta os limites das variáveis ambientais, trazendo agora também os limites da variável taxa metabólica.

**Tabela 5:** Valores-limite das variáveis envolvidas na TEP

variável	valor mínimo	valor máximo
$t_{ar}$	15,1	33,1
UR	30,9	94,7
$v_{ar}$	0,1	3,6
$t_{rm}$	15,5	65,5
M	1,0	2,4
TEP	13,7	45,3

A taxa metabólica de 2,4 Met foi considerada tendo-se como base valores de TEP entre 12°C e 39°C. Contudo, como nesse caso têm-se acréscimos de  $\Delta TEP=5,7^\circ C$ , verifica-se um valor teórico máximo de validade de  $TEP=44,7^\circ C$  para a taxa metabólica máxima de 2,4Met. Por simplificação, extrapolou-se esse valor em 0,6°C, adotando-se o valor-limite anteriormente verificado de 45,3°C.

Desta forma, passa-se a considerar também diferentes taxas metabólicas referentes às atividades comumente realizadas em espaços abertos. A Tabela 6 traz sucintamente essas atividades e respectivas taxas metabólicas.

**Tabela 6:** Valores referenciais de taxas metabólicas para utilização no cálculo de TEP

atividade	taxa metabólica (Met)	$\Delta TEP$ (°C)
Sentado	1,0	-1,5
Em pé, com pouca atividade	1,3	0,0
Locomovendo-se lentamente	1,6	1,5
Andando relaxadamente (3,2 km/h)	2,0	3,5
Caminhando normalmente (4,0 km/h)	2,4	5,7

Em locais de passagem, adota-se  $M=2,0$  Met para situações de passeio e  $M=2,4$  Met para situações em que haja deslocamento com objetivo específico. Para casos gerais, em locais de passagem, sugere-se adotar  $M=2,4$ Met, pois, conforme anteriormente mencionado, é o valor referente ao caminhar médio (1,1m/s - 4,0km/h) comumente utilizado por vários autores.

Em locais de permanência, adota-se  $M=1,0$  Met para pessoas sentadas;  $M=1,3$  Met para pessoas em pé, paradas e com pouca atividade física; e  $M=1,6$  Met para pessoas que estejam se locomovendo lentamente ou que estejam paradas com maior atividade física. Para casos gerais, em locais de permanência, nos quais as pessoas comumente exercem essas atividades, adota-se  $M=1,3$ Met, retornando-se assim à equação originalmente proposta.

## 5 MÉTODOS PARA CONSIDERAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ROUPA

São apresentados aqui os procedimentos para a determinação de um modelo para estimativa do isolamento da roupa, com base nos dados empíricos levantados.

### 5.1 Estimativa restrita do isolamento da roupa

Apresentam-se aqui as regressões realizadas para o conjunto mais restrito de situações microclimáticas. Conforme se verificou no artigo anterior, há alta correlação entre as variáveis temperatura do ar e umidade relativa. Assim, não se considerou aqui essa última. A regressão de dados levou à equação seguinte, com caracterização estatística apresentada nas tabelas subseqüentes.

$$I_{cl} = 0,980 - (0,0196 \cdot t_{ar}) + (0,0467 \cdot v_{ar}) + (0,00168 \cdot t_{rm}) \quad \text{Equação 8}$$

com:  $r = 0,609$ ;  $r^2 = 0,370$ ;  $r^2_{aj} = 0,323$ ;  $ep = 0,052$ ;  $p < 0,001$

**Tabela 7:** Resumo estatístico da constante e das três variáveis independentes

	<b>c</b>	<b>ep</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>VIF</b>
Constante	0,980	0,120	8,146	<0,001	
$t_{ar}$	-0,0196	0,00579	-3,381	<0,001	2,562
$v_{ar}$	0,0467	0,0251	1,860	0,172	1,152
$t_{rm}$	0,00168	0,00134	1,253	0,219	2,348

**Tabela 8:** Análise de variância para a regressão com três variáveis independentes

	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Regressão	3	0,0736	0,0245	9,106	<0,001
Resíduo	32	0,0863	0,00270		
Total	35	0,160	0,00457		

Conforme pode se verificar, o valor de p, para o teste t, para as variáveis  $v_{ar}$  e  $t_{rm}$  é bastante elevado, indicando que possivelmente não contribuam significativamente para a predição da variável dependente  $I_{cl}$ . Como a temperatura do ar apresenta valor de p muito reduzido ( $p < 0,001$ ) possivelmente ela é capaz de, individualmente, prever a variável independente em questão. Essa suposição é testada a seguir. Os resultados para a regressão linear simples da variável temperatura do ar são apresentados na seqüência.

$$I_{cl} = 0,989 - 0,0166 \cdot t_{ar} \quad \text{Equação 9}$$

com:  $r = 0,595$ ;  $r^2 = 0,354$ ;  $r^2_{aj} = 0,335$ ;  $ep = 0,055$ ;  $p < 0,001$

**Tabela 9:** Resumo estatístico da constante e da variável independente.

	<b>c</b>	<b>ep</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>VIF</b>
Constante	0,989	0,0941	10,513	<0,001	
$t_{ar}$	-0,0166	0,00384	-4,318	<0,001	-

**Tabela 10:** Análise de variância para a regressão linear da variável independente.

	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Regressão	1	0,0566	0,0566	18,642	<0,001
Resíduo	34	0,103	0,00304		
Total	35	0,160	0,00457		

Os resultados apresentados confirmam a hipótese levantada no item anterior. A correlação apresentada apenas pela variável temperatura do ar (0,595) é bastante significativa se comparada com a correlação com três variáveis dependentes (0,609). Inclusive, o valor de r quadrado ajustado é maior: 0,335 contra 0,323. Por fim, considerando-se o teste estatístico F, observa-se um valor bem maior para a regressão apenas com a variável  $t_{ar}$  (18,642 contra 9,106), indicando que essa variável independente sozinha prediz mais significativamente a variável dependente do que quando considerada conjuntamente com as duas outras variáveis independentes. Contudo, deve-se observar que as correlações obtidas são relativamente baixas, permanecendo em torno de 0,6. A seguir, é realizado o mesmo estudo, considerando-se a totalidade dos dados levantados. É verificado que, com um maior número de dados e maior abrangência de situações microclimáticas, obtêm-se melhores correlações.

## 5.2 Estimativa abrangente do isolamento da roupa

A seguir são apresentadas as regressões realizadas para o conjunto mais abrangente de dados, considerando-se as setenta e duas situações microclimáticas e os 1750 levantamentos individuais realizados. Apenas por uniformidade de raciocínio, partiu-se da suposição de que o isolamento da roupa apresenta correlação com uma ou mais variáveis microclimáticas, ainda que o estudo anterior já aponte para a necessidade de regressão apenas da variável temperatura do ar.

Conforme já argumentado anteriormente, também não é considerada aqui a umidade relativa do ar. A regressão de dados levou à equação a seguir, com caracterização estatística apresentada nas tabelas seguintes.

$$I_{cl} = 1,237 - 0,0312 \cdot t_{ar} - 0,0179 \cdot v_{ar} + 0,00308 \cdot t_{rm} \quad \text{Equação 10}$$

com:  $r = 0,844$ ;  $r^2 = 0,712$ ;  $r^2_{aj} = 0,707$ ;  $ep = 0,064$ ;  $p < 0,001$

**Tabela 11:** Resumo estatístico da constante e das três variáveis independentes (variável dependente:  $I_{cl}$ )

	<b>c</b>	<b>ep</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>VIF</b>
Constante	1,237	0,0504	24,527	<0,001	
$t_{ar}$	-0,031	0,0029	-10,77	<0,001	2,1
$v_{ar}$	-0,018	0,022	-0,814	0,418	1,135
$t_{rm}$	0,0031	0,0011	2,854	0,006	1,915

**Tabela 12:** Análise de variância para a regressão com três variáveis independentes (variável dependente:  $I_{cl}$ )

	DF	SS	MS	F	p
Regressão	3	0,75	0,25	61,01	<0,001
Resíduo	68	0,279	0,0041		
Total	71	1,028	0,0145		

Assim como verificado anteriormente, a temperatura do ar é a única a apresentar valor de p muito reduzido ( $p < 0,001$ ), podendo assim possivelmente ser capaz de, individualmente, prever a variável independente em questão. A regressão linear simples é testada a seguir. Os resultados para a regressão linear simples da variável temperatura do ar são apresentados na seqüência.

$$I_{cl} = 1,203 - 0,0263 \cdot t_{ar} \quad \text{Equação 11}$$

com:  $r = 0,832$ ;  $r^2 = 0,691$ ;  $r^2_{aj} = 0,687$ ;  $ep = 0,067$ ;  $p < 0,001$

**Tabela 13:** Resumo estatístico da constante e da variável independente.

	c	ep	t	p	VIF
Constante	1,203	0,0515	23,373	<0,001	
$t_{ar}$	-0,026	0,0021	-12,53	<0,001	-

**Tabela 14:** Análise de variância para a regressão linear da variável independente.

	DF	SS	MS	F	p
Regressão	1	0,711	0,711	156,87	<0,001
Resíduo	70	0,317	0,0045		
Total	71	1,028	0,0145		

Conforme pode ser depreendido dos resultados encontrados, a correlação apresentada apenas pela variável temperatura do ar (0,83) é bastante significativa se comparada com a correlação com três variáveis dependentes (0,84).

Considerando-se o teste estatístico F, observa-se um valor bem maior para a regressão apenas com a variável  $t_{ar}$  no conjunto de dados mais abrangentes (156,87 contra 61,01), reiterando que essa regressão apresenta melhores resultados.

## 6 RESULTADOS EM FUNÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO DA ROUPA

Ressaltam-se, na Tabela 15, os valores máximos e mínimos observados na média dos valores das setenta e duas situações consideradas e dos 1750 levantamentos individuais realizados.

**Tabela 15:** Valores-limite das variáveis isolamento da roupa e temperatura do ar, considerando-se os dados observados e os valores médios adotados.

variável	valor mínimo observado	valor máximo observado
$I_{cl}$ absoluto	0,26	1,17
$I_{cl}$ médio	0,39	0,86
$t_{ar}$	15,1	33,1

Esses valores são aqui apresentados para reafirmar os limites dentro dos quais as considerações anteriores são válidas. Para além desses valores, os resultados encontrados são extrapolações passíveis de verificação.

Para aplicações práticas do modelo proposto, sugere-se o estabelecimento de valores de referência para se limitar o valor mínimo de isolamento da roupa, uma vez que por questões físicas esse isolamento nunca será menor que zero e por questões culturais verificam-se valores mínimos de isolamento ainda maiores. A Tabela 16 apresenta esquematicamente esses limites.

**Tabela 16:** Valores-limite da variável isolamento da roupa, segundo critérios físicos e culturais.

limite	$t_{ar}$	$I_{cl}$
físico teórico	> 45,5 °C	0,00
para trajes de banho	> 44,0 °C	0,05
para vestimentas usadas em espaços urbanos	> 30,0 °C	0,40
para vestimentas usadas em escritório	> 26,5 °C	0,50

Assim, caso não houvesse restrições culturais, poderia ser adotado o limite, ainda que teórico, de 45,5 °C, no qual se teria  $I_{cl} = 0,00$  clo. Considerando-se trajes de banho, para  $t_{ar} > 44,0$  °C, tem-se  $I_{cl} = 0,05$  clo. Contudo, grosso modo, pode-se colocar que, em situações gerais nos espaços abertos, para  $t_{ar} > 30,0$  °C, tem-se  $I_{cl} = 0,40$  clo. Caso se considere a limitação de vestimentas comumente utilizadas em atividades de



escritório (calça social, camisa de manga curta, sapatos, meias e roupa íntima), verifica-se que para  $t_{ar} > 26,5^{\circ}\text{C}$ , tem-se  $I_{cl} = 0,50$  clo.

## 6.1 Aplicação dos resultados em função do isolamento térmico da roupa

Considerando-se o mesmo raciocínio aplicado para a atividade metabólica, pode-se adotar o valor de isolamento da roupa de  $TEP_n$  como de referência para se propor uma equação para aplicação em possíveis situações em que haja um isolamento de roupa pré-definido para o uso em espaços abertos.

$$\Delta TEP = -22,814 + 38,023 I_{cl} \quad \text{Equação 12}$$

Considerando-se os resultados obtidos no artigo anterior, a nova equação de temperatura equivalente percebida é a que se segue.

$$TEP = -26,591 + 0,4828 \cdot t_{ar} + 0,5172 \cdot t_{rm} + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot v_{ar} + 38,023 I_{cl} \quad \text{Equação 13}$$

As equações foram geradas, para maior facilidade de aplicação prática, admitindo-se isolamento de roupa de 0,6 clo (de acordo com os dados empíricos,  $I_{cl} = 0,59$  clo para  $TEP_n = 23,4^{\circ}\text{C}$ ), uma vez que a aproximação não causa perda de precisão, dado que a utilização da temperatura equivalente percebida de neutralidade é arbitrária (em verdade, a utilização do isolamento de roupa de 0,6 clo equivale a uma temperatura equivalente percebida de  $23^{\circ}\text{C}$ ).

## 6.2 Aplicação dos resultados em conjunto

Considerando conjuntamente as variáveis atividade metabólica e isolamento da roupa, tem-se a equação seguinte.

$$TEP = -33,239 + 0,4828 \cdot t_{ar} + 0,5172 \cdot t_{rm} + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot v_{ar} + 5,118 M + 38,023 I_{cl} \quad \text{Equação 14}$$

A Tabela 17 reapresenta os limites das variáveis ambientais, trazendo também os limites das variáveis taxa metabólica e isolamento da roupa. A Tabela 18 reapresenta as faixas para interpretação do índice de temperatura equivalente percebida (TEP), em função dos valores médios de sensação térmica.

**Tabela 17:** Valores-limite das variáveis envolvidas na TEP, considerando-se os dados observados.

variável	valor mínimo	valor máximo
$t_{ar}$	15,1	33,1
UR	30,9	94,7
$v_{ar}$	0,1	3,6
$t_{rm}$	15,5	65,5
M	1,0	2,4
$I_{cl}$	0,3	1,2
TEP	13,7	45,3

**Tabela 18:** Faixas interpretativas para a temperatura equivalente percebida (TEP).

TEP	Sensação
$> 42,4$	muito calor
$34,9 \sim 42,4$	calor
$27,3 \sim 34,8$	pouco calor
$19,6 \sim 27,2$	neutralidade
$12,0 \sim 19,5$	pouco frio
$4,4 \sim 11,9$	frio
$< 4,4$	muito frio

Ressalta-se que para a eliminação das variáveis atividade metabólica ou isolamento térmico da roupa da equação, deve-se utilizar respectivamente os valores de referência 1,3 Met e 0,6 clo, conforme explicitado anteriormente.

## 7 CONCLUSÕES

No artigo anterior, “*Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais*”, apresentou-se um método e os resultados de quantificação das correlações entre variáveis microclimáticas urbanas e a variável subjetiva de percepção de sensação térmica, tendo-se as variáveis individuais taxa metabólica e isolamento térmico da roupa como mediadoras do processo. No presente artigo, foram estabelecidas as correlações dessas variáveis com o modelo originalmente proposto, possibilitando que elas sejam estimadas em situações urbanas particulares, em que se tenha a execução de alguma atividade física específica ou em que não se tenha a possibilidade das pessoas utilizarem as vestimentas que melhor lhes aprouverem. Assim, passa-se a apresentar um modelo ampliado, considerando-se não apenas as quatro variáveis microclimáticas, mas também essas duas variáveis individuais, que são passíveis de exclusão por meio de valores de referência, quando a situação urbana for típica. Em suma, coloca-se que no primeiro artigo essas variáveis eram apenas mediadoras, e não foram então correlacionadas,

mas a inclusão das mesmas aqui leva à adequação, por meio de recursos teóricos e empíricos, do modelo geral proposto para a sua utilização em condições específicas, cumprindo o objetivo deste artigo.

Ressalta-se que, assim como no caso das variáveis ambientais, os resultados foram obtidos em situações específicas conforme descritas ao longo dos artigos e, pesquisas são necessárias para a verificação dos resultados encontrados e exploração de possíveis extrapolações para outras condições de aclimação ou de aculturação. No próximo, e final, artigo, “*Conforto térmico em espaços abertos. Parte 3: consideração do sexo, aclimação e adaptação*”, será apresentada uma verificação comparativa de diferentes fatores, considerando ainda a questão mais específica da adaptação em função da exposição às condições climáticas prévias, levando à correção dos valores do índice de temperatura equivalente percebida (TEP), propiciando previsões mais satisfatórias por meio de um modelo adaptativo, apresentando-se assim a modelagem final da pesquisa.

## 8 REFERÊNCIAS

- BLAZEJCZYK, Krzysztof. MENEX 2002. In: THE DEVELOPMENT OF HEAT STRESS WATCH WARNING SYSTEMS FOR EUROPEAN CITIES. Freiburg May 3, 2003. **Proceedings of Conference...**, Friburgo, 2003. Disponível em <http://www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg/>. Visita realizada em 09/10/2004.
- \_\_\_\_\_. **MENEX 2002**. <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/menex.htm>. 2002a. Acesso realizado em 24/04/2004.
- \_\_\_\_\_. **Man-environment heat exchange model**. <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/menex.ppt>. 2002b. Acesso realizado em 24/04/2004.
- \_\_\_\_\_. Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CLIMATE, TOURISM AND RECREATION, 1, 2001, Halkidiki, Greece. **Proceedings...** Halkidiki, International Society of Biometeorology, p. 133-152, 2001.
- \_\_\_\_\_. Climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor and its applications in bioclimatological studies in different scales. **Zeszyty IGIPZ PAN**, v.28, p.27-58, 1996.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof; BARANOWSKI, J.; PISARCZYK, S.; SMETANKA, M. Influence of the human heat balance on respiratory and circulatory diseases. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY & INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY, 15, 1999, Sydney. **Selected Papers from the Conference...** Geneva: World Meteorological Organization, p. 107-112, 2000.
- DOMINGUEZ *et al.* **Control climático en espacios abiertos**: el proyecto Expo'92. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1992.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION). **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.
- \_\_\_\_\_. **ISO 7933**. Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Genève: ISO, 1989.
- \_\_\_\_\_. **ISO 8996**. Ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Genève: ISO, 2004.
- \_\_\_\_\_. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environment: estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.
- JENDRITZKY, Gerd. **Klima-Michel-model**. In: THE DEVELOPMENT OF HEAT STRESS WATCH WARNING SYSTEMS FOR EUROPEAN CITIES. Freiburg May 3, 2003. **Presentations of Conference The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities**, Friburgo, 2003. Disponível em [www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg/](http://www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg/) Visita realizada em 15/11/2005.
- \_\_\_\_\_. Selected questions of topical interest in human bioclimatology. **International Journal of Biometeorology**, 35 (3), p. 139-150, 1991.
- JENDRITZKY, Gerd; NÜBLER, W. A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms. **Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol.** Serial B 29, p. 313-326, 1981.
- JENDRITZKY, Gerd *et al.* **Klimatologische Probleme** – ein einfaches Verfahren zur Vorhersage der Wärmebelastung, in Zeitschrift für angewandte Bäder und Klimaheilkunde. Freiburg, 1979.
- MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Antac, 2007a.
- \_\_\_\_\_. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Antac, 2007b.
- \_\_\_\_\_. Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: revisão histórica. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Antac, 2005a.
- \_\_\_\_\_. Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 2: estado da arte. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Antac, 2005b.
- PARSONS, A. T. **Human Thermal Environments**. Taylor & Francis, 1993.
- VOGT *et al.* A thermal environment in physiologically significant terms. **Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol.** v.29, p. 313-326, 1981.

## 9 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.