



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VII ELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

## **DEFINIÇÃO DE FAIXAS DE ESTRESSE TÉRMICO PARA ESPAÇOS ABERTOS EM CURITIBA, PARANÁ**

**Francine Aidie Rossi (1); Eduardo Krüger (2); Peter Bröde (3)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Av. Sete de Setembro, 3165 CEP. 80230-901 Curitiba PR, francinea.rossi@hotmail.com

(2) Professor Doutor, PPGTE-UTFPR, ekruger@utfpr.edu.br

(3) Dipl. Math., Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors (IfADo), Ardeystr. 67, 44139, Dortmund, Alemanha, broede@ifado.de

### **RESUMO**

Reconhecendo que o planejamento e/ou a readequação urbana de espaços abertos são capazes de promover a melhoria das condições térmicas exteriores, e assim, influenciar positivamente o uso de espaços abertos, foi realizada uma pesquisa para analisar o conforto térmico de transeuntes em ruas pedestres em Curitiba, Paraná. Este artigo tem como objetivo definir faixas de estresse térmico para a cidade de Curitiba, propondo a calibração das faixas de estresse térmico do índice UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) para as condições térmicas de Curitiba, e verificando a porcentagem aceitável de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico de espaços abertos. Para tal, foram analisados dados climáticos e dados pessoais obtidos por meio de monitoramentos de campo realizados em Curitiba em 2009 e 2010. Os resultados mostram que é possível definir as faixas de estresse térmico a partir das respostas reais de sensação térmica. Também indicam a necessidade de calibração do índice UTCI e que 20% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico seria um possível limiar para PPD em espaços abertos.

Palavras-chave: conforto térmico em espaços abertos, índices de conforto, UTCI.

### **ABSTRACT**

Recognizing that urban planning and modifications in open spaces are able to promote the improvement of outdoor thermal conditions and thus positively influence the use of open spaces, a survey was conducted to analyze the thermal comfort of passers-by in pedestrian streets in Curitiba, Paraná. This article aims to define ranges of heat stress to Curitiba, proposing the calibration of the limits of heat stress index UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) for Curitiba's thermal conditions, and verifying the acceptable percentage of dissatisfied people with open spaces thermal environment. Thus, we analyzed weather and personal data obtained by field monitoring carried out in Curitiba in 2009 and 2010. The results show that it is possible to define ranges of thermal stress from the actual responses of thermal sensation. Also indicate the need to calibrate the index UTCI and that 20% of dissatisfied people with the thermal environment would be a possible threshold for PPD in open spaces.

Keywords: thermal comfort in open spaces, comfort indexes, UTCI.

## 1. INTRODUÇÃO

O Universal Thermal Climate Index (UTCI) tem como objetivo avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano. Foi elaborado com base no modelo termo-regulatório multi-nodal desenvolvido por Fiala et al. (1999; 2001; 2003; 2007; 2011) que considera: (1) o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa; (2) a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e (3) a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa, andando a 4km/h em superfície plana. O UTCI segue o conceito da temperatura equivalente, assim como os índices CET\* (Temperatura Efetiva Corrigida), MEMI (Modelo de Munique), SET\* (Nova Temperatura Efetiva Padrão) e PET (Temperatura Equivalente Fisiológica), sendo que o índice PET é muito utilizado em estudos de conforto térmico em espaços abertos (OLIVEIRA, ANDRADE, 2007; KATZSCHNER, MULDER, 2008; MINELLA, 2009; HIRASHIMA, 2010). O UTCI tem para o ambiente de referência as seguintes definições: (1) 50% de umidade relativa (com vapor de pressão não excedendo 20 hPa); (2) temperatura do ar ( $T_a$ ) igual a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e (3) velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10 metros de altura. A igualdade das condições fisiológicas é baseada na equivalência da resposta fisiológica dinâmica prevista pelo modelo para o ambiente real e para o ambiente de referência. Como essa resposta dinâmica é multidimensional (temperatura corporal, taxa de sudorese, temperatura da pele, etc. em diferentes tempos de exposição), um índice unidimensional foi calculado pelo método dos componentes principais. Assim, a temperatura UTCI equivalente para uma dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse térmico.

O UTCI abrange as seguintes faixas climáticas:  $-50^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 50^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C} \leq T_{rm}-T_a \leq 70^{\circ}\text{C}$ , velocidade de vento entre 0,5 e 30,3 m/s e umidade relativa de 5 a 100% (pressão de vapor máxima 5 kPa). E apresenta as seguintes faixas de estresse térmico (Tabela 1):

Tabela 1 – Faixas de estresse térmico do UTCI

Faixas do UTCI	Categorias de Estresse
acima de $46^{\circ}\text{C}$	extremo estresse para o calor
entre $38^{\circ}\text{C}$ e $46^{\circ}\text{C}$	muito forte estresse para o calor
entre $32^{\circ}\text{C}$ e $38^{\circ}\text{C}$	forte estresse para o calor
entre $26^{\circ}\text{C}$ e $32^{\circ}\text{C}$	moderado estresse para o calor
entre $18^{\circ}\text{C}$ e $26^{\circ}\text{C}$	conforto térmico
entre $9^{\circ}\text{C}$ e $18^{\circ}\text{C}$	sem estresse térmico
entre $0^{\circ}\text{C}$ e $9^{\circ}\text{C}$	pouco estresse para o frio
entre $0^{\circ}\text{C}$ e $-13^{\circ}\text{C}$	moderado estresse para o frio
entre $-13^{\circ}\text{C}$ e $-27^{\circ}\text{C}$	forte estresse para o frio
entre $-27^{\circ}\text{C}$ e $-40^{\circ}\text{C}$	muito forte estresse para o frio
abaixo de $-40^{\circ}\text{C}$	extremo estresse para o frio

Considerando que o índice UTCI foi desenvolvido tendo como base estudos de campo europeus, dados coletados por meio de questionários e monitoramentos de variáveis climáticas em Curitiba (ROSSI et al., 2009; KRÜGER, GIVONI, ROSSI, 2010; KRÜGER, ROSSI, 2010) foram inseridos no UTCI com o objetivo de testar a capacidade preditiva deste índice considerando a avaliação do conforto térmico na área de planejamento urbano de uma cidade subtropical e verificar algumas das hipóteses do UTCI, tais como as definições do ambiente de referência e do comportamento individual, por exemplo, adaptação da vestimenta à temperatura ambiente (BRÖDE et al., 2010). De modo geral, os resultados mostraram que o UTCI pode ser utilizado como ferramenta de planejamento urbano para regiões subtropicais no que diz respeito ao conforto térmico, indicando que existem diferenças entre as respostas obtidas no verão e no inverno.

Os monitoramentos das variáveis climáticas e a obtenção dos questionários em Curitiba foram realizados em pares de pontos com características urbanas diferentes em diferentes vias de pedestre no centro da cidade. Utilizaram-se duas estações meteorológicas (marca HOBO) equipadas com sensores de temperatura e umidade, piranômetro, anemômetro e termômetros de globo (ISO 7726, 1998). Os questionários de conforto seguiram as recomendações da ISO 10551 (1995), envolvendo questões relativas à sensação, avaliação e preferência térmicas dos transeuntes.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo comparar as respostas reais de conforto térmico obtidas por meio de questionários com as respostas obtidas pelo índice UTCI para, a partir dessa comparação, definir as faixas de estresse térmico para as respostas reais verificando a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD – *predicted percentage dissatisfied*) aceitável para o ambiente analisado.

## 3. MÉTODO

Este estudo analisa as respostas de conforto térmico divididas em estresse para o frio, conforto e estresse para o calor, para as respostas reais e as previstas pelo UTCI. As análises são realizadas em duas etapas: (1) análises das respostas de percepção térmica, de satisfação térmica e das respostas previstas pelo UTCI; e (2) análise da porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente analisado para as respostas reais e para o UTCI. A seguir estão apresentados a área de estudo e os procedimentos utilizados.

### 3.1. Caracterização climática da área de estudo

Curitiba está situada na região Sul do Brasil, latitude 25°31' Sul, longitude 49°11' Oeste e altitude média de 917 metros. O clima de Curitiba é classificado como clima mesotérmico controlado por Massas de Ar Tropicais e Polares, sendo do tipo Cfb com verão fresco (MONTEIRO, 1968<sup>1</sup> citado por MENDONÇA, 2001), apresentando as seguintes características climáticas: (1) clima úmido, temperado e sem estação seca definida; (2) maior incidência pluviométrica, em média, no verão, podendo ocorrer inversão desta sazonalidade; (3) velocidade do vento moderada, com direção predominante NE; (4) a evapotranspiração real apresenta 71 % da precipitação e 82% quando a superfície é líquida; (5) no inverno, é comum a ocorrência de geadas (temperatura inferior ou igual a 0°), podendo ocorrer entre abril a setembro (FILL, SUGAI e HILU, 1999).

Fevereiro é o mês mais quente, com temperatura média de 22°C, podendo ocorrer temperaturas superiores a 35°C, e junho é comumente o mês mais frio, com temperatura média de 18°C, podendo ocorrer temperaturas de até -5°C, a temperatura média anual é de 16,5°C. A cidade apresenta grande amplitude térmica diária e sazonal, com média anual de 16°C, e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com maior concentração no verão. Entretanto, devido à frente polar atlântica, o inverno pode tornar-se chuvoso. Agosto é o mês mais seco e julho o mês com menos dias de chuva (DANNI-OLIVEIRA, 1999; MENDONÇA, 2001).

### 3.2. Obtenção das variáveis climáticas e pessoais

Os monitoramentos climáticos foram realizados em 2009 e 2010 na Rua XV de Novembro ou Rua das Flores (Figura 1), importante “calçadão” de pedestres (primeiro a ser criado no país em 1972) e importante eixo comercial da cidade, transitando ali cerca de 140 mil pessoas por dia (ACP, 2007). A orientação solar do eixo da rua é aproximadamente SW-NE, de modo que ambas as fachadas apresentam diferentes ganhos solares num mesmo horário, recebendo o lado voltado para noroeste maior quantidade de horas de sol durante o inverno.



Figura 1 – Fotos da Rua XV de Novembro.

Foram realizadas medições das condições microclimáticas para pares de pontos com características urbanas diferentes na via de pedestres. Concomitantemente às medições objetivas, foram aplicados

<sup>1</sup> MONTEIRO, Carlos A. F. **Clima**. In: A grande região sul. Rio de Janeiro: IBGE, tomo 1, v.4, p.14-166, 1968.

questionários de conforto (conforme ISO 10551, 1995), envolvendo questões relativas à sensação e satisfação térmicas dos transeuntes. A Figura 2 mostra a localização dos pontos monitorados.

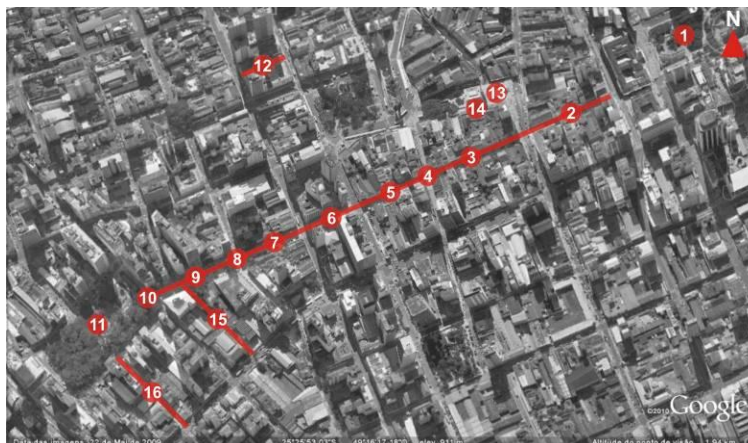


Figura 2 – Fotos da Rua XV de Novembro.

Foram monitorados 14 dias entre os meses de janeiro e agosto de 2009 e um dia de monitoramento em junho de 2010, sendo monitorados dois pontos simultaneamente em cada dia, perfazendo 28 situações urbanas diferentes. A Tabela 2 mostra a descrição estatística dos dados climáticos. No total (N) foram monitorados 8128 minutos e obteve-se uma variação climática bastante considerável. Observa-se que em relação à temperatura, tem-se uma variação de 6,4°C a 32,6°C.

Tabela 2 – Descrição estatística dos dados climáticos

	Va (m/s)	RS (W/m <sup>2</sup> )	Ta (°C)	UR (%)	Tg (°C)	Trm (°C)
N	8.128	8.128	8.128	8.128	8.128	8.128
Média	1,0	298,2	19,4	57	21,9	30,1
Mínimo	0,0	0,6	6,4	23	7,6	8,6
Máximo	3,5	1.249,2	32,6	93	38,0	74,7
Desvio padrão	0,50	308,95	5,42	13,13	6,56	13,49
Variância	0,25	95.451,39	29,38	172,34	43,04	181,99

Para a obtenção das variáveis pessoais e de sensação térmica, foram aplicados questionários desenvolvidos tendo como base a norma internacional ISO 10551 (1995).

As variáveis pessoais levantadas foram: (1) sexo, (2) idade, (3) altura, (4) peso, (5) tempo de moradia na cidade (aclimatação) e (6) vestimenta, além das variáveis sobre percepção térmica. Somente os dados de moradores de Curitiba e Região Metropolitana que declararam estar residindo há pelo menos seis meses foram considerados como válidos. Dentre estes dados foram consideradas as pessoas que declararam estar a pelo menos 15 minutos ao ar livre. Perfazendo assim, um total de 1658 questionários válidos.

Para obter os resultados referentes à percepção térmica (sensação térmica), "Como você se sente neste exato momento?", utilizou-se a escala simétrica de sete graus e dois pólos: de -3 (muito frio) a +3 (muito calor), sendo 0 (nem frio nem calor) o ponto neutro. Para a satisfação térmica, "Como você está se sentindo neste exato momento?", foi utilizada a escala de quatro graus e um pólo: 0 (confortável), 1 (pouco desconfortável), 2 (desconfortável) e 3 (muito desconfortável).

### 3.3. Análise das respostas de percepção, avaliação e preditas pelo UTCI

As respostas de sensação térmica foram agrupadas de duas formas: (A) desconforto para o frio (votos -3 e -2), conforto (votos -1, 0 e +1) e desconforto para o calor (+2 e +3) e (B) desconforto para o frio (votos -3, -2 e -1), conforto (votos 0) e desconforto para o calor (+1, +2 e +3). As respostas de satisfação térmica foram agrupadas em conforto (votos 0) e desconforto (votos 1, 2 e 3).

Os votos preditos pelo UTCI foram calculados utilizando o programa Bioklima versão 2.6 (BLAZEJCZYK, 2001) e agrupados de duas maneiras, conforme faixas de estresse definidas pelo índice (Tabela 1): (A) desconforto para o frio (UTCI<18°C), conforto (18°C≤UTCI≤26°C) e desconforto para o calor (UTCI> 26°C), nesta situação utilizou-se a faixa de conforto térmico definida pelo índice e (B) desconforto para o frio (UTCI<9°C), conforto (9°C≤UTCI≤26°C) e desconforto para o calor (UTCI> 26°C), nesta situação, a definição de conforto engloba a faixa de conforto térmico e a faixa sem estresse térmico (definidas pelo índice), obtendo assim uma faixa mais ampla.

Para todas as situações acima, foram gerados gráficos de dispersão em função da temperatura do ar (Ta) e da diferença entre temperatura radiante média e da temperatura do ar (Trm-Ta). A partir dos gráficos, foi possível analisar as nuvens de pontos para cada uma das situações (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor) e visualizar a faixa de temperatura do ar na qual está concentrada a maior parte das respostas. A partir desta análise foi possível definir as faixas de estresse térmico.

### 3.4. Análise da porcentagem de pessoas insatisfeitas

Tendo como base o conceito de porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) com o ambiente térmico proposto por Fanger (1982), deu-se continuidade à análise de conforto térmico. Os votos de sensação térmica (de -3 a 3) foram agrupados para cada variação de um grau de temperatura do ar e temperatura equivalente UTCI, e divididos em conforto e desconforto. Utilizou-se a definição de conforto definida na etapa anterior.

Para se obter o voto médio para a sensação térmica, para cada grau de temperatura do ar, foram ponderados os resultados de acordo com a quantidade de votos obtidos para cada voto de conforto, obtendo-se um voto equivalente para a amostra obtida em cada faixa de temperatura do ar. Por exemplo, para o valor de temperatura do ar entre 6,0°C e 6,9°C têm-se duas pessoas com moderado estresse para o frio (voto -2), uma pessoa em conforto (voto 0) e um total de 3 pessoas com algum grau de estresse, assim, multiplicou-se o número de pessoas pelo voto, somou-se os dois resultados e dividiu-se pelo número total de pessoas:  $[(2 * -2) + (1 * 0)] / 3 = -1.3$ .

Para o cálculo da porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente foi utilizada a fórmula proposta por Fanger (ISO 7730, 2005).

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad \text{Equação 1}$$

Os dados obtidos foram comparados com os votos médios para cada grau de temperatura e traçado o gráfico de dispersão para analisar o nível de correlação entre os dados.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de pessoas em conforto e desconforto para cada grau de temperatura do ar, os votos médios de sensação térmica e a porcentagem de pessoas insatisfeitas.

Tabela 3 – Porcentagem de pessoas em conforto e desconforto por grau de temperatura do ar

Ta	Conforto (%)	Desconforto (%)	Total (%)	Voto equivalente de Sensação térmica	PPD (%)
6.0 a 6.9°C	33	67	100	-1.3	42
7.0 a 7.9°C	35	65	100	-1.8	68
8.0 a 8.9°C	68	32	100	-1.1	28
9.0 a 9.9°C	70	30	100	-1.1	29
10.0 a 10.9°C	68	32	100	-0.9	24
11.0 a 11.9°C	79	21	100	-0.9	22
12.0 a 12.9°C	84	16	100	-0.5	11
13.0 a 13.9°C	85	15	100	-0.6	13
14.0 a 14.9°C	91	9	100	-0.4	8
15.0 a 15.9°C	86	14	100	-0.5	11
16.0 a 16.9°C	88	13	100	-0.4	8
17.0 a 17.9°C	95	5	100	-0.1	5
18.0 a 18.9°C	92	8	100	0.1	5
19.0 a 19.9°C	91	9	100	-0.1	5
20.0 a 20.9°C	92	8	100	0.0	5
21.0 a 21.9°C	96	4	100	0.3	8
22.0 a 22.9°C	89	11	100	0.4	8
23.0 a 23.9°C	81	19	100	0.6	14
24.0 a 24.9°C	70	30	100	0.9	23
25.0 a 25.9°C	73	27	100	1.0	28
26.0 a 26.9°C	57	43	100	1.2	38
27.0 a 27.9°C	52	48	100	1.5	50
28.0 a 28.9°C	47	53	100	1.5	49
29.0 a 29.9°C	47	53	100	1.6	55
30.0 a 30.9°C	17	83	100	2.2	84

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análise das respostas de percepção, satisfação e preditas pelo UTCI

A partir do agrupamento das respostas de sensação térmica foram traçados gráficos de dispersão para análise do estresse térmico. O primeiro agrupamento considerou os votos -3 e -2 como desconforto para o frio, os votos -1, 0 e +1 como conforto e os votos +2 e +3 como desconforto para o calor. O segundo agrupamento considera como desconforto para o frio os votos -1, -2 e -3, como conforto o voto 0 e como desconforto os votos +1, +2 e +3.

A Figura 3 apresenta os dois agrupamentos, sendo o gráfico A referente à primeira situação e o gráfico B referente à segunda. Nota-se no gráfico A, que os votos de desconforto para o calor estão concentrados em grande parte (59,3%) nos valores de temperatura do ar acima de 23°C e com efeito da radiação, ou seja, a maior concentração dos votos ocorre com a diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar acima de 10°C. A maior parte dos votos de conforto (51,8%) está entre os valores aproximados de temperatura do ar de 10°C a 23°C com a diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar entre 0°C a 10°C, e os votos de desconforto para o frio concentram-se em sua maior parte (50%) em temperaturas inferiores a 13°C, e com diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar entre 0°C a 10°C. Nesta situação têm-se poucas pessoas em desconforto para o frio.

Considerando somente os votos 0 como conforto, têm-se os votos de conforto concentrados entre os valores aproximados de temperatura do ar entre 10°C e 29°C (60,3% do total em conforto), com predominância de valores de temperatura radiante média até 10°C acima da temperatura do ar. Os votos de desconforto para o frio estão concentrados entre os valores aproximados de 6°C e 20°C de temperatura do ar (68,4% do total em desconforto para frio), com diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar de no máximo 10°C. O desconforto para o calor ocorre com temperaturas acima de aproximadamente 22°C e temperatura radiante média maior que a temperatura do ar (72% do total em desconforto para calor). Para as três situações, conforto e desconforto para o frio e para o calor, ocorreu sobreposição das faixas entre os valores aproximados de temperatura do ar de 12°C e 25°C, não sendo possível ter uma definição clara das faixas.

Ressalta-se que as análises foram feitas para todo o período de monitoramento, sem levar em consideração as diferenças térmicas sazonais. Desta forma, a sobreposição das faixas de estresse térmico pode ter ocorrido devido à adaptação térmica sazonal. Nikolopoulou e Steemer (2003) afirmam que as pessoas se adaptam psicologicamente em função da exposição repetida a um mesmo estímulo e constroem esquemas mentais que auxiliam na escolha de ações sob diferentes circunstâncias.

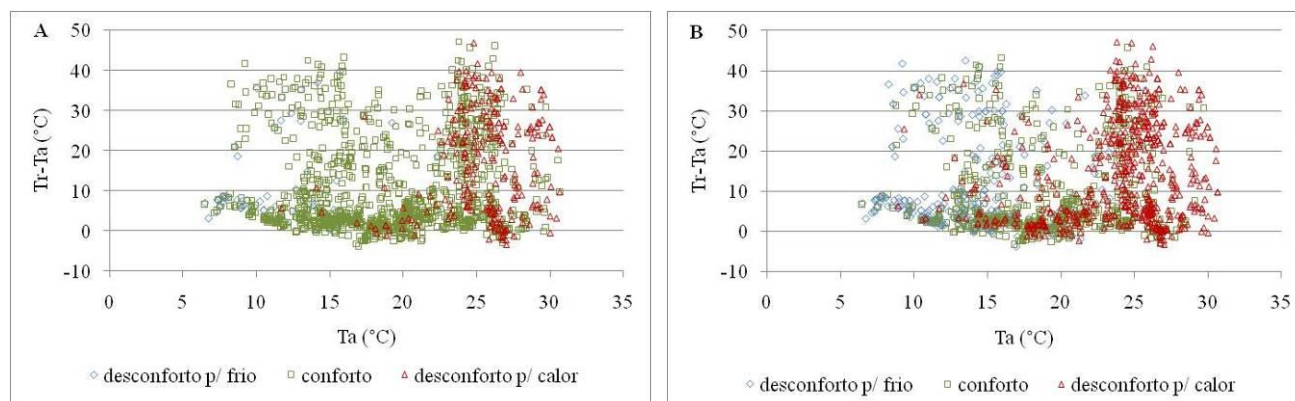


Figura 3 – Votos de sensação térmica: (A) conforto definido pelos votos -1, 0 e +1; (B) conforto definido pelo voto 0.

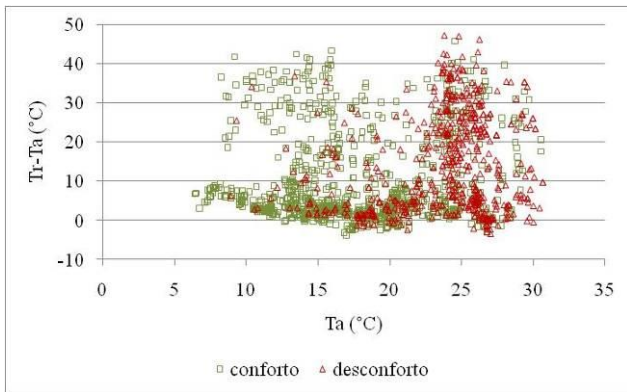


Figura 4 – Votos de satisfação térmica.

Os votos de satisfação térmica foram agrupados em conforto (votos 0) e desconforto (votos 1, 2 e 3).

Percebe-se na Figura 4 que os votos de conforto estão concentrados aproximadamente entre 6°C e 30°C de temperatura do ar e temperatura radiante média até 10°C mais elevada que a temperatura do ar. Os votos de desconforto estão concentrados aproximadamente entre os valores de 15°C e 30°C de temperatura do ar, sendo que grande parte está na área com valores de temperatura radiante média acima da temperatura do ar. Nota-se que há sobreposição dos votos de conforto e desconforto, o que torna difícil a definição da faixa de conforto térmico utilizando os votos de satisfação térmica.

A radiação solar, aqui representada pela temperatura radiante média, parece ter importante papel na sensação de conforto nas três situações analisadas. De modo geral, pode-se perceber que o desconforto para o calor ocorre quando há altas temperaturas do ar associadas a altos valores de temperatura radiante média. O desconforto para o frio ocorre com baixas temperaturas do ar e baixas temperaturas radiantes médias. Isto sugere que, para atingir o conforto, são necessários moderados valores de temperatura do ar e diferença máxima de 10°C entre temperatura radiante média e temperatura do ar.

Considerando as três análises, a primeira – que adota como situação de conforto os votos de sensação térmica entre -1 e +1 (gráfico A) – apresenta resultados mais claros no que diz respeito à determinação da faixa de conforto e desconforto para o frio e para o calor. Desta forma, pode-se sugerir a seguinte definição de faixas: desconforto para frio = temperatura do ar inferior a 10°C, conforto = temperatura do ar entre 10°C e 23°C e desconforto para o calor = temperatura do ar acima de 23°C.

A mesma análise foi realizada para os valores preditos pelo UTCI. A Figura 5 apresenta os dois agrupamentos, sendo apresentado no Gráfico A o conforto térmico definido pela faixa de 18°C a 26°C (conforto térmico, Tabela 1) e no Gráfico B o conforto definido pela faixa de 9°C a 26°C (conforto térmico e sem estresse térmico, Tabela 1). O comportamento para a faixa de 18°C a 26°C (Gráfico A) é similar ao comportamento obtido pelos votos de sensação térmica (Figura 1 - Gráfico A). É possível ver uma clara divisão entre as zonas de conforto e desconforto para o frio e para o calor. Para o desconforto para o frio a predominância ocorre para valores aproximados de temperatura do ar entre 5°C e 21°C e temperatura radiante média até 10°C acima da temperatura do ar. A faixa de conforto pode ser definida para os valores aproximados de temperatura entre 16°C e 27°C e diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar de 10°C. O desconforto para o calor ocorre quando a temperatura radiante média é superior à temperatura do ar, para temperatura do ar acima de 22°C.

Considerando a faixa sem estresse térmico (entre 9°C e 26°C), o UTCI super estima a quantidade de pessoas em conforto, estando esta faixa entre os valores aproximados de 7°C a 27°C de temperatura do ar. Como consequência, poucas pessoas estariam em desconforto para o frio. Já para o desconforto para o calor o comportamento não muda em relação à situação anterior.

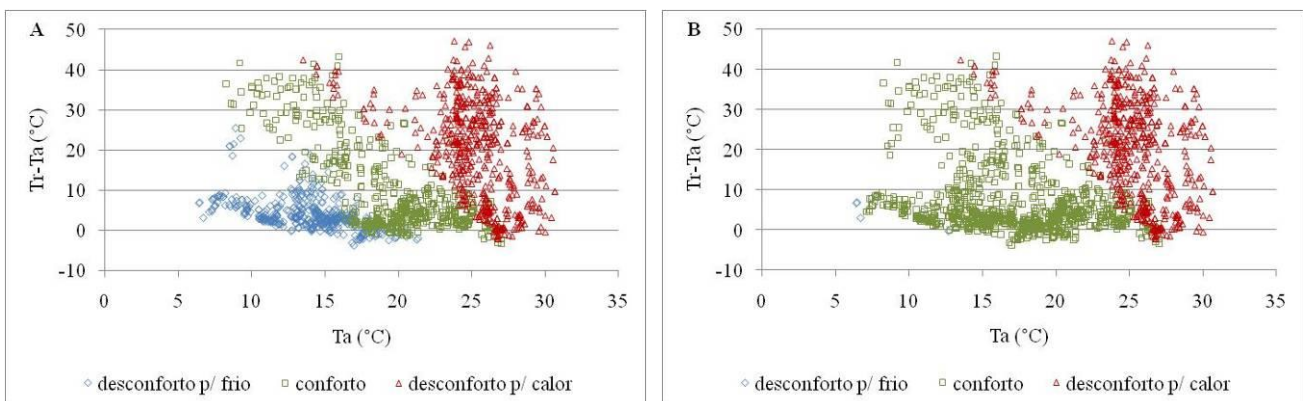


Figura 5 – Votos de preditos pelo UTCI: (A) conforto térmico entre 18°C e 26°C; (B) sem estresse térmico entre 9°C e 26°C.

Entre as duas situações do UTCI, a que considera a faixa de conforto térmico entre 18°C e 26°C tem um comportamento mais semelhante com as respostas reais obtidas por meio de questionário. Entretanto, para os valores reais a faixa de conforto estaria entre os valores aproximados de 10°C e 23°C de temperatura do ar, sendo que os valores da faixa de conforto do UTCI estão aproximadamente entre 18°C e 26°C, sugerindo uma possível necessidade de calibração do UTCI para os dados de Curitiba.

A Tabela 4 apresenta o resumo das faixas de conforto e desconforto obtidos nas análises em função da temperatura do ar e temperatura radiante média. De modo geral, é possível perceber que na ocorrência de baixas temperaturas do ar associadas a baixos valores de temperatura radiante média, ocorre desconforto para o frio, e que, quando ocorrem altas temperaturas do ar associadas à altos valores de temperatura radiante média, ocorre desconforto para o calor. Para o conforto têm-se as seguintes combinações: altas temperaturas do ar com baixos valores de temperatura radiante média e baixas temperaturas do ar com altos valores de temperatura radiante média. Com base nestas análises definiu-se que os votos de sensação térmica que consideram como conforto os votos -1, 0 e 1 seriam mais adequados à definição de uma zona de conforto térmico.

Tabela 4 – Faixas de conforto e desconforto para a sensação térmica real e para o índice UTCI

	desconforto para o frio		conforto		desconforto para o calor	
	Ta (°C)	Trm-Ta (°C)	Ta (°C)	Trm-Ta (°C)	Ta (°C)	Trm-Ta (°C)
sensação térmica (-1, 0 e 1)	<10°C	0°C a 10°C	10°C a 23°C	-5°C a 40°C	>23°C	-5°C a 40°C
sensação térmica (0)	<20°C	0°C a 10°C	10°C a 29°C	-5°C a 40°C	>22°C	-5°C a 40°C
UTCI (9°C e 26°C)	<21°C	0°C a 10°C	7°C a 27°C	-5°C a 40°C	>22°C	-5°C a 40°C
UTCI (18°C e 26°C)	<21°C	-5°C a 10°C	16°C a 27°C	-5°C a 40°C	>22°C	-5°C a 40°C

## 4.2. Análise da porcentagem de pessoas insatisfeitas

Definiu-se que as faixas de estresse térmico podem ser originadas a partir dos votos de sensação térmica, obtidos por meio de questionário, agrupados da seguinte forma: desconforto para o frio (votos -3 e -2), conforto (votos -1, 0 e +1) e desconforto para o calor (votos +2 e +3). A partir destes dados foram contabilizadas as porcentagens de pessoas em conforto e desconforto (Tabela 1) e traçado o gráfico apresentado na Figura 6. Percebe-se que 90% das pessoas em conforto estão na faixa de temperatura do ar entre 17°C e 21°C e que 80% estão na faixa entre 11°C e 23°C.

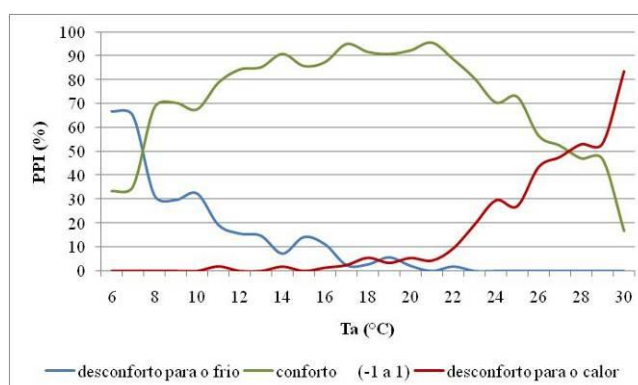


Figura 6 – Votos de satisfação térmica.

Para ambientes internos, se aceita a margem de 10% de insatisfeitos (ISO 7730, 2005). Para ambientes externos, nos quais as condições climáticas são difíceis de controlar, somente as variáveis climáticas não são suficientes para explicar a percepção térmica, pois estas respondem por 50% da avaliação subjetiva de conforto (NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003), sugerindo que a tolerância às condições climáticas em ambientes abertos é maior. Desta forma, é necessário definir a margem de insatisfeitos que se deseja aceitar quando se analisa conforto térmico em ambientes externos. Considerando o caso de Curitiba, a faixa de temperatura do ar para que 90% das pessoas estejam em conforto parece ser muito estreita (17°C a 21°C), não condizendo com a faixa de temperatura entre 10°C e 23°C obtida pelos votos de conforto (Figura 1 - Gráfico B).



Os votos médios de sensação térmica foram calculados para cada grau de temperatura do ar e comparados com os valores de pessoas insatisfeitas obtidos pela equação de Fanger (Tabela 2). A Figura 7, apresenta a relação entre os votos médios de sensação térmica e a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI). Percebe-se que o comportamento dos votos reais é similar aos votos preditos ( $R^2=0,987$ ) e que a linha de tendência segue o padrão que seria o esperado, observa-se uma maior porcentagem de pessoas satisfeitas entre os valores de sensação térmica -1 e +1.

Nota-se que ao assumir o valor de 10% de insatisfeitos, para o ambiente externo, a faixa de sensação térmica se situa entre -0,5 e +0,5, enquanto que, ao aceitar um número maior de insatisfeitos, por exemplo, 20%, a faixa de conforto térmico se situa entre -1 e +1, corroborando a análise anterior e com a afirmação que em ambientes externos a tolerância as condições climáticas é maior, havendo outros fatores que influenciam a percepção do ambiente.

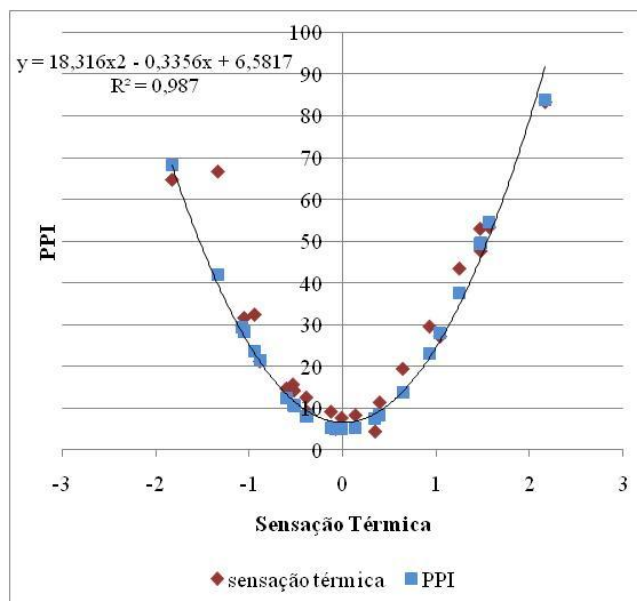


Figura 7 – Relação entre sensação térmica e PPI.

## 5. CONCLUSÕES

A partir das análises das respostas de sensação térmica e satisfação térmica foi possível identificar as faixas de estresse térmico para Curitiba. Por meio da comparação entre os votos de sensação e os de satisfação concluiu-se que as respostas de sensação térmica são mais apropriadas para a definição das faixas de estresse térmico. A definição da faixa de conforto, considerando as respostas de sensação térmica, partiu de duas situações, a primeira considerando os votos -1, 0 e +1 e a segunda considerando somente os votos 0. Concluiu-se que a primeira situação, por apresentar resultados mais claros no que diz respeito à determinação das faixas de conforto e desconforto para o frio e para o calor, é a melhor opção para a determinação das faixas de estresse térmico. Assim, as faixas ficam definidas da seguinte forma: desconforto para frio: temperatura do ar inferior a 10°C, conforto: temperatura do ar entre 10°C e 23°C e desconforto para o calor: temperatura do ar acima de 23°C.

Conclui-se a partir da análise das faixas de estresse térmico definidas pelo UTCI que a faixa de conforto térmico (18°C a 26°C) tem um comportamento semelhante ao comportamento das respostas reais que considera como conforto os votos -1, 0 e +1. A comparação entre as respostas reais de sensação térmica e as repostas preditas pelo UTCI mostram que o índice é adequado para a predição da sensação térmica para Curitiba. Entretanto, os valores de temperatura do ar que definem as faixas de estresse térmico para a sensação real e o índice apresentam pequena diferença, o que sugere a necessidade de calibração do índice UTCI para a população de Curitiba.

Em relação à porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, observa-se que há uma forte relação entre os votos médios reais e os valores obtidos pela equação de Fanger. Ao aceitar 10% de insatisfeitos tem-se a faixa de conforto definida entre -0,5 e +0,5 e ao aceitar 20% de insatisfeitos, a faixa de conforto aumenta ficando entre -1 e +1, concordando com a faixa definida pela análise dos votos de sensação térmica. Desta forma, sugere-se que para ambientes abertos adote-se a porcentagem de 20% insatisfeitos como aceitável.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro (Projeto Universal 474358/2007-0, Universal 2007 Faixa B), CAPES pela concessão das bolsas de Mestrado e Doutorado e ao CNPq pela concessão da bolsa de Doutorado Sanduíche, a qual proporcionou o trabalho conjunto com o Peter Bröde no IfADo. Também agradecem aos pesquisadores do IfADo e aos transeuntes curitibanos, que nos ajudaram respondendo ao questionário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACP - ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DO PARANÁ. Calçada da XV vai brilhar de novo. 22 de novembro de 2007. Disponível em: <[http://www.acpr.com.br/index.php?a=novembro\\_2007.php](http://www.acpr.com.br/index.php?a=novembro_2007.php)> Acesso em 04 nov. 2009.
- BLAŹEJCZYK, Krzysztof. **Bioklima versão 2.6**. janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.igipz.pan.pl/geoklimat/blaz/BioKlima.htm>> Acesso em: agosto, 2010.
- BRÖDE, Peter; KRÜGER, Eduardo L., ROSSI, Francine A., FIALA, Dusan. Predicting Urban Outdoor Thermal Comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI – A Case Study in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, special issue, 2010. (aceito, no prelo).
- DANNI-OLIVEIRA, Inês M. Aspectos climáticos Curitiba-PR. In: **Ra'ega**. Curitiba: Editora da UFPR, n.3, p.229-253, 1999.
- FANGER, Povel O. **Thermal Comfort**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1982.
- FIALA, Dusan; HAVENITH, George; BRÖDE, Peter; KAMPMANN, Bernhard; JENDRITZKY, Gerd. UTCI-Fiala multi-node model of human temperature regulation and thermal comfort. **International Journal of Biometeorology** special issue, 2011.
- FIALA, Dusan. LOMAS, K.J.; STOHRER, M. (2007) Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort. In: MEKJAVIC, I.B.; KOUNALAKIS, S.N.; TAYLOR, N.A.S. (eds.) **Proceedings** of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics, Portoroz, Slovenia, p.513-515, 2007.
- FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M. First principles modeling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions. **ASHRAE Transactions** v.109, p.179-186, 2003.
- FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.45, n.3, p.143-159, 2001. doi: 10.1007/s004840100099.
- FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. **Journal of Applied Physiology**, v.87, p.1957-1972, 1999. doi: 10.1007/s004840100099.
- FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; HILU, A. Caracterização climatológica da região metropolitana de Curitiba. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n.28, p.17-21, jan.1999.
- HIRASHIMA, Simone Q. S. Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG, 2010. 225f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730. Ergonomics of the thermal environments – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genève: ISO, 1995.
- KATZSCHNER, Lutz; MÜLDER, Jochen. Regional climatic mapping as a tool for the sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 262-267, 2008. Doi:10.1016/j.jenvman.2006.06.026.
- KRÜGER, E.L.; GIVONI, Baruch; ROSSI, Francine . Outdoor comfort study in Curitiba, Brazil: effects of gender, body weight and age on the thermal preference. In: Adapting to Change: New Thinking on Comfort, 2010, Windsor. **Proceedings** of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort. London: London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010. v. 1. p. 1-12.
- KRÜGER, E.L.; ROSSI, Francine . Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. **Building and environment**, v.46, p.690-697, 2011. doi:10.1016/j.buildenv.2010.09.013.
- MENDONÇA, Francisco. Clima e criminalidade. Curitiba: Editora de UFPR, 2001.
- MINELLA, Flavia C. O. Avaliação da influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba. 2009, 163f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- NIKOLOPOULOU, Marialena; STEEMER, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy and Building**, v.35, n.1, p.95-101, 2003. doi:10.1016/S0378-7788(02)00084-1.
- OLIVEIRA, Sandra; ANDRADE, Henrique. An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public spaces in Lisbon. **International Journal of Biometeorology**, v.52, p. 69-84, 2007. doi: 10.1007/s00484-007-0100-0.
- ROSSI, Francine A.; MINELLA, Flavia O.; TAMURA, Cíntia A.; DUMKE, Eliane; KRÜGER, Eduardo L. Conforto térmico em espaços abertos: resultados de um estudo piloto em Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Natal, **Anais... ENTAC**. p. 1-10, 2009.