

CALIBRAÇÃO DO ÍNDICE PET PARA CURITIBA E RIO DE JANEIRO

Francine Aidie Rossi (1); Eduardo Krüger (2); Patricia Drach (3)

- (1) PhD, Professora do Departamento de Expressão Gráfica, rossi@ufpr.br Universidade Federal do Paraná, Rua Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná
(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, krueger@utfpr.br Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná
(3) PhD, Professora da Escola Superior de Desenho Industrial, patricia.drach@uerj.br Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

RESUMO

A análise da relação entre conforto térmico e as condições climáticas de uma determinada localidade pode ser uma importante ferramenta de planejamento urbano. Uma das formas de avaliação é a utilização de índices de conforto, como por exemplo, o PET (*Physiological Equivalent Temperature*), índice amplamente utilizado em estudos de conforto térmico em espaços abertos. Esse trabalho tem como objetivo a calibração do índice PET para duas cidades brasileiras: Curitiba, com clima temperado de altitude (Cfb) e Rio de Janeiro, com clima tropical (Aw/Am). Os dados climáticos e subjetivos foram obtidos em Curitiba em 2009/2010, abrangendo verão, outono e inverno e, no Rio de Janeiro, entre 2012 e 2015, no verão e primavera. Para a calibração, foi utilizado o método que consiste em agrupar os dados reais de conforto a cada variação de 1°C na escala PET. Foram calibradas as faixas de leve estresse para o frio, sem estresse térmico e leve estresse para o calor para Curitiba e as faixas de leve, moderado e forte estresse térmico para o calor para o Rio de Janeiro. A partir da análise do percentual de pessoas insatisfeitas (*percentage of dissatisfied* "PD"), foi possível estabelecer as PDs para cada faixa calibrada, para as duas cidades. Os resultados mostram que as populações estudadas têm percepções térmicas distintas entre si e em relação a faixas pré-definidas de sensação térmica para o índice PET.

Palavras-chave: PET, calibração, índice de conforto em espaços abertos.

ABSTRACT

The analysis of the relationship between thermal comfort and the climatic conditions of a given location can be an important tool for urban planning. A possible way to perform such evaluation is by means of comfort indices, such as PET (*Physiological Equivalent Temperature*), which is widely used in thermal studies in open-air environments. This study aims to calibrate the PET index for two Brazilian cities: Curitiba, with a temperate climate (Cfb) and Rio de Janeiro, with a tropical climate (Aw/Am). Climatic and subjective data were obtained in Curitiba in 2009/2010, covering summer, autumn and winter and, in Rio de Janeiro, between 2012 and 2015, in summer and spring. To calibrate PET a binning method was used, which consists in averaging subjective thermal responses for each 1°C variation in PET units, thereby obtaining PET ranges. It was possible to calibrate the ranges of slight cold stress, no thermal stress and slight heat stress for Curitiba and the ranges of slight, moderate and strong heat stress for Rio de Janeiro. From the analysis of the percentage of dissatisfied (PD) it was possible to establish feasible PDs for each calibrated range, for the two cities. Results show that the populations analyzed have a distinct thermal perceptions between themselves and as regards original ranges proposed for the PET index.

Keywords: PET, calibration, outdoor comfort index.

1. INTRODUÇÃO

O uso de índices de conforto térmico auxilia no entendimento da percepção térmica dos usuários de espaços abertos. O PET (*Physiological Equivalent Temperature*) é um índice baseado no balanço térmico do corpo e indica os efeitos do ambiente térmico em termos de estresse térmico para o calor/frio e conforto. O desenvolvimento de índices com base no balanço térmico, que considerem fatores climáticos e fisiológicos permite uma análise mais detalhada da interação entre a percepção térmica e as condições climáticas do ambiente analisado (MATZARAKIS et al., 2007; VDI, 2008).

Uma das vantagens do PET é que as variáveis climáticas são as mesmas utilizadas em outros índices de conforto, o que torna possíveis análises comparativas. Assim como o PMV (*Predicted Mean Vote*) (Fanger 1970), o PET utiliza as variáveis climáticas: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V_a) e a temperatura radiante média (T_{rm}) para estimar a sensação térmica.

O PET é um índice baseado no modelo MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*), que tem como base o balanço de energia de um indivíduo. O PET é “um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não só a temperatura, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade” (MAYER; HÖPPE, 1987¹, apud LOIS; LABAKI, 2001). Os valores estimados são expressos em graus Celsius e são definidos como a temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação (HÖPPE, 1999). Esse índice é um dos recomendados pela associação alemã de engenheiros (*Verein Deutscher Ingenieure* - VDI, 2008) como parte da regulamentação para o planejamento urbano e regional.

Várias pesquisas utilizam o PET para analisar a relação entre a influência do desenho urbano na sensação térmica, tais como as de Ali-Toudert e Mayer (2006), Johansson (2006), Johansson e Emmanuel (2006), Thorsson et al. (2007), Makaremi et al. (2011), Rossi, Krüger e Bröde (2011) e Rossi, Krüger e Nikolopoulou (2011).

De acordo com Salata et al. (2016) há uma grande diversidade climática, de latitude e de continentes nos quais estudos de conforto térmico foram conduzidos na última década, variando de 1,3°N (Manado, Indonésia) à 55,9°N (Glasgow, UK). Assim, a calibração de índices de conforto térmico em espaços abertos deve ser considerada como relevante para refletir de fato as preferências térmicas locais. Como exemplos de calibração do índice PET têm-se os trabalhos de Monteiro e Alucci (2006) que calibraram o PET para a cidade de São Paulo; Lin and Matzarakis (2008) para Sun Moon Lake em Taiwan; Lai et al. (2014) para Tianjin, China; Hirashima et al. (2015) que calibraram o PET para 2 diferentes regiões climáticas: Belo Horizonte (clima tropical) e Kassel e Freiburg na Alemanha (clima temperado); de Silva e Alvarez (2015) para Vitória/ES; Salata et al. (2016) para Roma, Itália; Lucchese et al. (2016) para Campo Grande/MS.

As pesquisas citadas utilizam diferentes métodos de calibração, o que indica que não há um consenso sobre qual estratégia utilizar. Assim, não só devido ao fato de que diferentes populações, provenientes de diferentes contextos climáticos e culturais apresentam diferentes exigências térmicas, mas também porque as temperaturas neutras, intervalos preferidos e as faixas de conforto/estresse térmico resultam de diferentes metodologias, é dificultada uma comparação direta entre os estudos. A revisão de estudos feita por Salata et al. (2016) mostra que dentre os estudos analisados há diferenças de métodos de análise, números de situações urbanas analisadas, número de medições, épocas do ano, horas do dia, características da população analisada, dentre outros. Essa diversidade reforça o argumento de Johansson et al. (2014) sobre a necessidade de padronização dos protocolos e métodos para pesquisas de conforto em espaços abertos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar resultados de um procedimento de calibração do índice PET para as cidades de Curitiba, PR e do Rio de Janeiro, RJ.

3. MÉTODO

A calibração foi realizada a partir de dados obtidos em estudos de campo. Em Curitiba os monitoramentos ocorreram no período de janeiro de 2009 a agosto de 2010, abrangendo verão, outono e inverno (ROSSI,

¹ MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. In: *Theoretical and Applied Climatology*, v. 38, p. 43-49, 1987.

2012). Os dados do Rio de Janeiro foram coletados na primavera e verão entre 2012 e 2015 (KRÜGER; DRACH, 2016). A seguir, será detalhado o procedimento utilizado nas medições e na calibração.

3.1. Levantamento de campo das variáveis climáticas e pessoais

Os levantamentos de campo, nas duas cidades, ocorreram entre 10h e 15h, em ruas de pedestre e/ou de acesso motorizado limitado, na região central de cada cidade (Figura 1). O horário foi padronizado de forma a evitar períodos de trânsito de pessoas intraurbano, compreendendo uma faixa horária durante a qual os transeuntes já estariam aclimatados à região estudada. Em Curitiba, foram realizados 15 levantamentos de campo entre janeiro e agosto de 2009/2010, tendo sido monitorados dois pontos por campanha. No Rio de Janeiro, sete pontos foram monitorados. Nas duas cidades, os pontos foram escolhidos em função das características morfológicas. Durante as campanhas, foram monitorados dados climáticos de acordo com a ISO 7726 (1998). Em Curitiba, foi utilizada uma estação meteorológica HOBO (Onset Computer), equipada com um anemômetro de 3 copos a aproximadamente 2,1 m de altura; sensores de temperatura do ar, umidade relativa e um termômetro de globo na cor cinza a 1,1 m de altura; e um piranômetro a 1,6 m de altura. No Rio de Janeiro, foi utilizada uma estação meteorológica Davis Vantage Pro2, equipada com sensores de temperatura do ar, umidade relativa, piranômetro e termômetro de globo na cor cinza, todos a 1,5 m de altura e um anemômetro posicionado a 2 m de altura. Além das variáveis de conforto, tais como temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V_a) e radiação solar (RS), foi obtida posteriormente a temperatura radiante média, T_{rm} , calculada a partir da fórmula para convecção forçada, conforme apresentada no Anexo B da ISO 7726 (1998, p.14). As características dos sensores usados nas campanhas nas duas cidades estão representadas na Tabela 1.



a) b)
Figura 1 – Pontos monitorados em Curitiba (a) e no Rio de Janeiro (b).

Tabela 1 – Características dos sensores utilizados nas medições

Sensor	Resolução por unidade de medida	Intervalo de medição	Precisão
Curitiba			
Temperatura do ar	0,02°C	-40° a +75°C	+/- 0.21°C entre 0° e 50°C
Umidade do ar	0,1%	0 a 100%	±2,5% (0-90%), ±3,5% (90-100%)
Velocidade do ar	0,4 m/s	1 a 80 m/s	± 0.5 m/s ± 3% entre 17 e 30 m/s ± 4% entre 30 e 44 m/s
Direção do vento	0.19 m/s	0 – 44 m/s	±3°
Radiação solar	1.25 W/m ²	0 a 1280 W/m ²	±10 W/m ² ou ±5%
Rio de Janeiro			
Temperatura do ar	0,1°C	-40° a +65°C	±0,5°C acima de 20°F (-7°C)
Umidade do ar	1%	1 a 100%	±3% (0-90%), ±4% (90-100%)
Velocidade do ar	0,4 m/s	1 a 80 m/s	±1 m/s
Radiação solar	1 W/m ²	0 a 1800 W/m ²	±5%

A classificação climática de Köppen-Geiger para Curitiba é Cfb (temperado de altitude) e para o Rio de Janeiro Aw/Am (clima tropical).

Paralelamente ao monitoramento das variáveis climáticas, foram aplicados questionários de conforto, conforme a ISO 10551 (1995), envolvendo questões relativas à sensação térmica dos transeuntes. Foram levantados dados pessoais de (1) gênero, (2) idade, (3) altura, (4) peso, (5) local e tempo de moradia (aclimatação), (6) vestimenta e (7) tempo de exposição ao ambiente externo. Além de dados referentes à percepção térmica, avaliação e preferências térmicas, aceitação pessoal e tolerância. Para cada questão foi aplicada uma escala de intensidade, de acordo com as definidas pela ISO 10551 (1995).

Em Curitiba, a amostra final resultou em 1685 questionários válidos e, no Rio de Janeiro, 985 questionários. Em relação aos dados pessoais, tem-se uma amostra bem diversificada, abrangendo várias faixas etárias, características físicas e diferentes condições de isolamento térmico da vestimenta. Na Tabela 2, apresentam-se alguns dados biométricos das duas amostras, com classificação de idade e IMC segundo a OMS.

Tabela 2 – Dados antropométricos das amostras de Curitiba e Rio de Janeiro.

<i>Critério</i>	<i>Categorias</i>	<i>Curitiba (N)</i>	<i>Curitiba (%)</i>	<i>Rio de Janeiro (N)</i>	<i>Rio de Janeiro (%)</i>
<i>Gênero</i>	Masculino	967	57%	605	61%
	Feminino	718	43%	380	39%
<i>Idade</i>	Até 25 anos ('jovem')	501	30%	151	15%
	Entre 25 e 64 anos ('adulto')	1032	61%	748	76%
	Acima de 64 anos ('idoso')	152	9%	86	9%
<i>Índice de Massa Corporal</i>	Abaixo do peso (IMC < 18.5 kg/m ²)	62	4%	23	2%
	Normal (18.5 kg/m ² ≤ IMC ≤ 24.5 kg/m ²)	891	53%	434	44%
	Acima do peso (IMC ≥ 25 kg/m ²)	544	32%	355	36%
	Obeso (IMC ≥ 30 kg/m ²)	188	11%	173	18%

Os valores de PET foram obtidos pelo software RayMan (MATZARAKIS et al., 2010). Os dados de entrada são as variáveis climáticas, temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média e velocidade do ar, a taxa metabólica foi fixada em 165 W/m² (ISO 8669, 2004). Os dados pessoais utilizados para o cálculo do índice foram os valores de altura, peso e idade, referentes ao homem médio e à mulher média estabelecidos pela norma ISO 8996 (2004).

3.2. Procedimento para a calibração do índice PET

O procedimento de calibração utiliza exclusivamente as respostas dos entrevistados quanto à sensação térmica e os dados microclimáticos obtidos durante as campanhas de campo. O mesmo procedimento foi realizado para os dados de Curitiba e do Rio de Janeiro. As respostas de sensação térmica (ST) foram agrupadas da seguinte forma (ROSSI, 2012):

- a) desconforto para o frio: votos -3 e -2;
- b) conforto: votos -1, 0 e +1;
- c) desconforto para o calor: +2 e +3.

Foram comparados os votos agrupados às faixas de estresse térmico do PET, conforme apresentadas por Matzarakis e Mayer (1996) (Tabela 3). Para a calibração, os votos de conforto foram agrupados de acordo com o método proposto por Dear e Brager (1998), gerando-se a média para cada 1°C de variação na escala PET, ou seja, para cada intervalo, foi obtida uma média dos votos de sensação e preferência térmicas. Com o intuito de se reduzir a probabilidade de ocorrerem valores de sensação tendenciosos, adotou-se como critério para cada média agrupada de votos de sensação térmica um número mínimo de cinco respondentes, resultante para cada faixa de 1°C (PET). A calibração das categorias de conforto/estresse térmico (Tabela 3) foi feita de acordo com a relação direta entre os valores médios de PET resultantes e o voto médio agrupado, por regressão linear. Pantavou et al. (2014) compararam o método de regressão linear a outros dois métodos na calibração de índices de conforto (incluindo o índice PET) para ambientes externos monitorados em zonas climáticas mediterrâneas, quais sejam: análise Probit e regressão cúbica. Na comparação, a análise Probit, adotada com alguma frequência na geração de modelos calibrados, não apresentou resultados significativamente mais precisos que por regressão linear. No presente estudo, tratando da calibração do índice PET, adotou-se a regressão linear por sua simplicidade de execução.

Tabela 3 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET.

PMV	PET	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
-3,5	4°C	muito frio	extremo estresse para o frio
-2,5	8°C	frio	forte estresse para o frio
-1,5	13°C	pouco frio	moderado estresse para o frio
-0,5	18°C	levemente frio	leve estresse para o frio
0,5	23°C	confortável	sem estresse térmico
1,5	29°C	levemente calor	leve estresse para o calor
2,5	35°C	pouco calor	moderado estresse para o calor
3,5	41°C	calor	forte estresse para o calor
		muito calor	extremo estresse para o calor

Fonte: adaptado de Matzarakis, Mayer, 1996 (tradução livre).

Para cada categoria de estresse térmico, novas faixas foram definidas, então, a partir da Tabela 1, que também apresenta a correspondência de faixas/PET por variações do PMV, na escala de sete pontos usada para o levantamento dos votos de sensação térmica.

Também foi calculada a porcentagem de insatisfeitos (*percentage of dissatisfied*, “PD”) a partir dos votos de sensação térmica, agrupada nas categorias listadas acima, por intervalo de 1°C PET. O PD foi comparado à equação sugerida por Fanger (1970) para a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), conforme ISO 7730 (2005).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Análise das variáveis climáticas e pessoais

A Tabela 4 apresenta a análise descritiva dos dados climáticos monitorados em Curitiba e a Tabela 5 para o Rio de Janeiro. Os levantamentos abrangeram uma grande variedade de condições climáticas, para todas as variáveis. Em Curitiba, por exemplo, em relação à temperatura do ar, a mais baixa temperatura registrada foi de 6,4°C e a mais alta, de 32,6°C. Já para o Rio de Janeiro a mais baixa temperatura registrada foi de 24,9°C e a mais alta, de 36,8°C.

Tabela 4 – Análise descritiva das variáveis climáticas para Curitiba.

Curitiba	Va (m/s)	RS (W/m ²)	Ta (°C)	UR (%)	Trm (°C)
Média	1,0	298	19,4	57	30,1
Mínimo	0,0	0	6,4	23	8,6
Máximo	3,5	1249	32,6	93	74,7

Tabela 5 – Análise descritiva das variáveis climáticas para o Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro	Va (m/s)	RS (W/m ²)	Ta (°C)	UR (%)	Trm (°C)
Média	0,9	449	29,0	68	41,6
Mínimo	0,0	21	24,9	37	13,1
Máximo	2,7	1218	36,8	82	76,4

A amostra de dados pessoais pode ser caracterizada por gênero, idade, altura, peso e vestimenta (clo). Também se observa uma grande diversidade na amostra, com diferentes características físicas, condições de isolamento térmico, conforme dados apresentados na Tabela 6 para Curitiba e Tabela 7 para o Rio de Janeiro. Os valores mínimos e máximos das variáveis pessoais são similares nas duas cidades, com variâncias na mesma ordem de grandeza, com exceção do isolamento térmico. Em Curitiba, o maior valor foi de 2,6 clo enquanto que no Rio de Janeiro esse foi de 0,7 clo.

Tabela 6 - Análise descritiva dos dados pessoais para Curitiba.

Curitiba	Idade	Altura (cm)	Peso (Kg)	Peso (IMC)	clo
Média	38	169	71	25	0,7
Mínimo	13	130	40	16	0,2
Máximo	91	202	180	56	2,6

Tabela 7 - Análise descritiva dos dados pessoais para o Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro	Idade	Altura (cm)	Peso (Kg)	Peso (IMC)	clo
Média	42	169	74	26	0,4
Mínimo	13	130	38	12	0,2
Máximo	87	198	140	55	0,7

4.2. Análise da calibração

Optou-se por realizar a calibração somente para as faixas desconforto/estresse do índice PET que apresentaram a maior porcentagem de respostas, em ambas as cidades. No caso do Rio de Janeiro, foram calibradas as faixas de leve estresse para o calor (22% do total de respostas), moderado estresse para o calor (39%) e forte estresse para o calor (18%), perfazendo juntas a maior parte dos votos (79%) levantados. Para Curitiba, foram calibradas as faixas de leve estresse térmico para o frio (22% do total de respostas), sem estresse térmico (21%) e leve estresse para o calor (20%), ou seja, 63% do total. A Figura 2 mostra o gráfico de dispersão com as curvas de tendência e equações de regressão, para os dados agrupados por intervalos de 1°C na escala PET, para Curitiba e Rio de Janeiro, respectivamente. Os valores referenciais de mudança de faixa de conforto/estresse térmico do PET (conforme Tabela 3) também foram plotados (linha tracejada).

Verifica-se que a inclinação das curvas de tendência é levemente diversa entre as cidades, porém ambas diferem visivelmente das faixas originais do índice PET. A neutralidade térmica para Curitiba (ST = 0) ocorre em 19,2°C, havendo uma diferença de 0,6°C em relação ao valor PET referencial para essa situação que é de 18,6°C. Para o Rio de Janeiro, a linha de tendência na faixa monitorada não atinge a neutralidade térmica. A partir da Figura 2, é possível traçar faixas calibradas de estresse térmico (Tabela 8), aplicando-se as equações de regressão para as duas cidades.

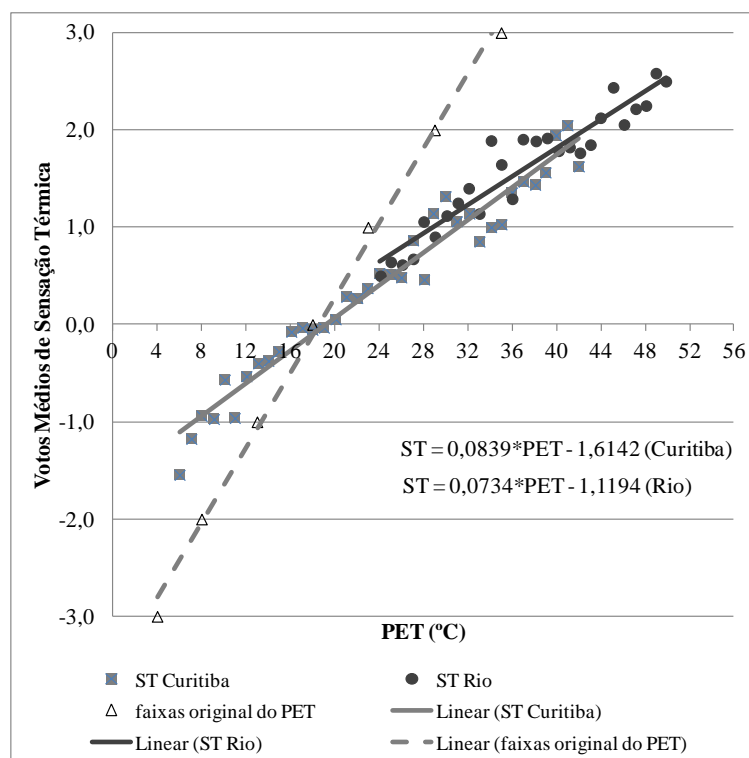


Figura 2 – Votos médios de sensação térmica agrupada (ST) e curvas de regressão.

A Tabela 8 apresenta os dados calibrados para Curitiba e Rio de Janeiro, as faixas originais do PET e a sua correspondência com a escala de sete pontos proposta por Fanger (1970). A análise de Curitiba mostra

que a população tem uma tolerância térmica maior para baixas temperaturas do que a proposta para o PET, visto que a temperatura equivalente para “leve desconforto para o frio” reduziu-se em 5°C em relação à faixa original. Da mesma forma, parece haver uma maior tolerância para estresse térmico por calor/faixa de “leve estresse térmico para o calor”, a qual teve uma diferença de 8°C em relação à proposta para o PET. A categoria “sem estresse térmico” também sofreu alteração, passando para 25°C.

Tabela 8– Calibração da sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PET, para Curitiba e Rio de Janeiro.

escala de 7 pontos	PET (°C) original	PET/PD (Curitiba)	PET/PD (Rio)	Categoria de estresse térmico
-1,5	13°C	-	-	leve estresse para o frio
-0,5	18°C /10%	13 °C/15%	-	sem estresse térmico
0,5	23°C /10%	25 °C/17%	22 °C/12%	leve estresse para o calor
1,5	29°C /51%	37 °C/50%	36 °C/51%	moderado estresse para o calor
2,5	35°C /93%	-	49 °C/94%	forte estresse para o calor
3,5	41°C	-	-	extremo estresse para o calor

A calibração para o Rio de Janeiro também mostra que para as categorias de leve e moderado estresse térmico houve ampliação da escala de sensação térmica, de 29°C para 36°C para “leve estresse térmico” e de 35°C para 49°C para “moderado estresse térmico”. Não foi possível calibrar a categoria “sem estresse térmico” para o Rio de Janeiro, pois não houve quantidade significativa de votos levantados nessa faixa.

Para as duas cidades, as faixas originais do índice sofreram alterações (Tabela 6), confirmando que as populações estudadas têm diferentes exigências térmicas entre si, visto que as características climáticas são bem diferentes.

As porcentagens de insatisfeitos (PD) para Curitiba e Rio estão apresentadas nas Figuras 3 e 4, sobre as quais também se plotaram resultados da equação original para PPD (‘Predicted Percentage of Dissatisfied’, conforme a ISO 7730, 2005) para a faixa de sensação térmica analisada em cada caso. O mínimo valor para PD, em Curitiba, foi de aproximadamente 12% (ou 11,64%, obtido a partir da equação apresentada na Figura 3, ao atribuir-se $x=0$ para o ‘Voto médio de sensação térmica’). A partir disso, a equação original para PPD foi ajustada para um mínimo de 12% PD (ou invés de 5%, para ambientes internos com ar condicionado), considerando que em espaços abertos divergências em termos de sensação térmica são maiores que em espaços fechados. Para Rio de Janeiro, seguindo o mesmo procedimento, encontrou-se a equação constante da Figura 4, para a qual se obtém um mínimo de PD de 7%, para $x=0$. Ambas as equações e o ajuste na equação de PPD são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8– Equações de regressão para PD e equação ajustada de PPD para Curitiba e Rio de Janeiro.

Amostra	Equação obtida a partir de curva de tendência (polinomial)	Equação ajustada de PPD para a amostra
Curitiba	$y = 15,54x^2 + 2,0231x + 11,637$	$PPD_{ajustado} = 10 - 88 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$
Rio de Janeiro	$y = 1,8134x^2 + 35,683x - 6,7343$	$PPD_{ajustado} = 10 - 93 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$

As porcentagens obtidas pela equação ajustada apresentam maiores diferenças de valores na categoria “sem estresse térmico” (entre -0,5 e 0,5). A partir das equações polinomiais, as porcentagens de insatisfeitos (PD) puderam ser obtidas para cada categoria de estresse térmico, conforme mostrado na Tabela 8. Para as categorias de “estresse térmico para o calor”, os valores ajustados se aproximam dos valores originais propostos por Fanger (1970), com diferença de apenas 1% (Tabela 8). As equações polinomiais obtidas para Curitiba (Figura 3) e Rio de Janeiro (Figura 4) são diferentes, sugerindo que ambas as amostras têm distintas percepções térmicas com seus próprios níveis de tolerância térmica para frio ou calor, corroborando o observado nas diferentes inclinações das curvas de tendência apresentadas na Figura 2.

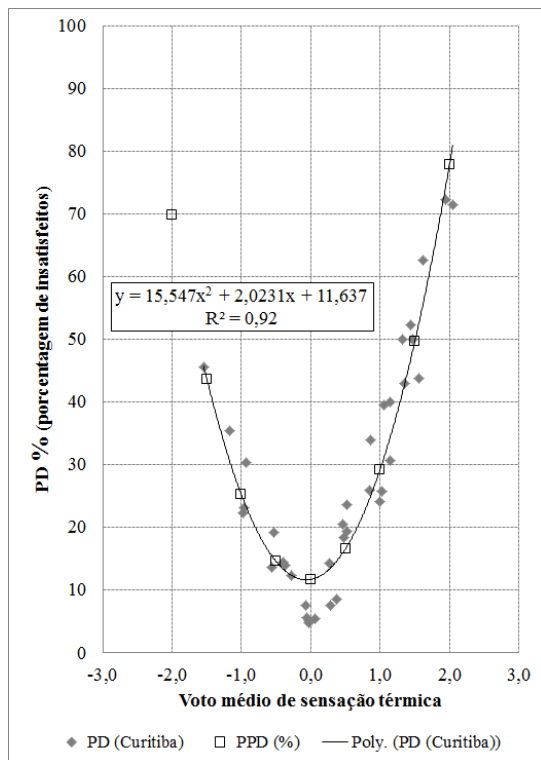


Figura 3 – Porcentagem de insatisfeitos (PD) versus votos de sensação térmica médios agrupados, para Curitiba.

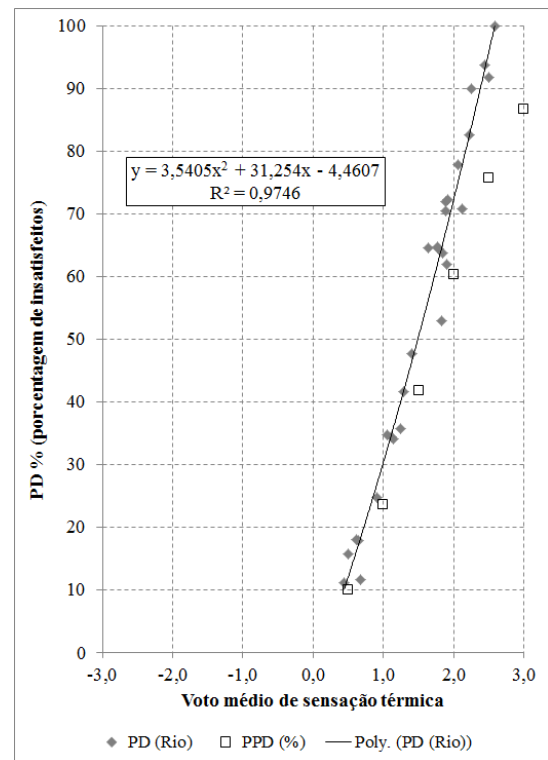


Figura 4 – Porcentagem de insatisfeitos (PD) versus votos de sensação térmica médios agrupados, para Rio de Janeiro.

5. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi utilizado o mesmo método de calibração do índice PET para duas cidades com diferentes tipos de clima. O levantamento de dados climáticos e questionários de conforto em Curitiba e Rio de Janeiro foram similares. Para Curitiba foi possível calibrar três categorias do índice PET, leve estresse térmico para o frio, sem estresse térmico e leve estresse térmico para o calor; para o Rio de Janeiro, em função do período de monitoramento (primavera e verão) foi possível calibrar as categorias de leve, moderado e forte estresse térmico para o calor. Para as duas cidades a percepção térmica da população estudada é diferente daquela definida pelo índice PET. Os resultados apresentados reforçam a necessidade de calibração do índice PET para outras localidades, com realidades climáticas diferentes e populações com diferentes percepções térmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of street design on outdoor thermal comfort. In: Kiss, A., Mezösi, G., Sümeghy, Z. (eds.). Landscape, Environment and Society. Studies in Honour of Professor Ilona Bárány-Kevei on the Occasion of Her Birthday. SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, p.45-55, 2006.
- da SILVA, F. T.; de ALVAREZ, C. E. An integrated approach for ventilation's assessment on outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 87, p.59-71, 2015.
- de DEAR, R. J.; FOUNTAIN, M.E. Thermal comfort in air conditioned office buildings in the tropics. **Journal of the Australian Institute of Refrigerating, Air-Conditioning and Heating**, v. 48, n.9, p. 14-30, 1994.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering**. McGraw Book Company, New York, 1970.
- HIRASHIMA, S.; KATZSCHNER, A.; FERREIRA, D.; ASSIS E. S.; KATZSCHNER, L. Thermal comfort comparison and evaluation in different climates Toulouse, França. **Proceedings...** In.: ICUC 9–The 9th International Conference on Urban Climate. Toulouse, France, 2015.
- HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: an index for the biometeorological assessment of the thermal environment. In: **International Journal of Biometeorology**. n.43. p. 71-75, 1999.
- 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 8896. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate**. Genève: ISO, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.

- 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.
- JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p.1326–1338, 2006.
- JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, p. 119-133, 2006.
- JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R. KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies- the need for standardization. **Urban Climate** v.10, p.346–366, 2014.
- KRÜGER, E.L.; DRACH, P.R.C. Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 133-148, 2016.
- LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y.; LIN, C.; CHEN, Q. Studies of outdoor thermal comfort in northern China. **Build Environment**, v.77, p.110-118, 2014.
- LIN, T. P.; MATZARAKIS, A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. **International Journal of Biometeorology**, v.52, p.281-290, 2008. doi:10.1007/s00484-007-0122-7
- LOIS, E.; LABAKI, L.C. Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.
- LUCCHESI, J. R.; MIKURI L. P.; de FREITAS, N. V.; ANDREASIWA. Application of selected indices on outdoor thermal comfort assessment in Midwest Brazil. Journal homepage: www.IJEE.IEEFoundation.org, v.7, n. 4, p.291-302, 2016.
- MAKAREMI, N.; SALLEH, E.;JAAFARMZ, GHAFARIANHOSEINI, A. H. Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. **Building and Environment**, v.48, p.7- 14, 2011.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Another kind of environmental stress: thermal stress. **WHO newsletter**, v.18, p.7-10, 1996.
- MATZARAKIS, A.; BLAZEJCZYK, K.; AMELUNG, B. Climate change and tourism assessment and coping strategies. Maastricht- Warsaw- Freiburg. ISBN, 978-900. http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Book_Nato.pdf, 2007.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **Int J Biometeorology**, v.54, p.131-139, 2010. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Calibration of outdoor thermal comfort models. **Proceedings...** PLEA2006–The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 2006.
- PANTAVOU, K., SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., THEOHARATOS, G. Empirical calibration of thermal indices in an urban outdoor Mediterranean environment. **Building and Environment**, v.8, p.283-292, 2014.
- ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. 2012, 188f. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012
- ROSSI, F.A.; KRÜGER, E.L.; BRÔDE, P. Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- ROSSI, F.A.; KRÜGER, E.L.; NIKOLOPOULOU, M. A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- SALATA, F.; GOLASI, I.; de LIETO VOLLARO, R.; de LIETO VOLLARO, A. Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. **Building and Environment**, v.96, p.46-61, 2016.
- THORSSON, S.; HONJO, T.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; LIM, E. M. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public and places. **Environmental Behavior**, v.39, p.660-684, 2007. doi: 10.1177/0013916506294937
- VDI: VDI 3787. **Environmental meteorology.Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level**. Part I: Climate, Blatt 2/ Part 2, 2008.