CALIBRAÇÃO DE FAIXAS DE CONFORTO TÉRMICO PARA ÁREAS EXTERNAS PARA SEXO BIOLÓGICO EM CLIMA CFA COM O ÍNDICE TÉRMICO PET

Luísa Alcantara (1); Eduardo Krüger (2), Eduardo Cunha (3)
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, luisa.alcantara.rosa@gmail.com
(2) Doutor, Engenheiro Civil, ekruger@utfpr.edu.br, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Curitiba - Sede Ecoville, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900, 81280-340, Curitiba, Paraná, Tel. +554132794521
(3) Doutor, Arquiteto e Urbanista, eduardogralacunha@yahoo.com.br, Departamento de Tecnologia da Construção, Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, Campus Porto - Rua Benjamin Constant, 1359, Centro, 96010-020, Pelotas, Rio Grande do Sul, Tel. +55 53 3284-5500

RESUMO
O cenário urbano, cada vez mais adensado, e as variações que ocorrem nos espaços externos afetam o microclima local, interferindo na satisfação dos usuários com o ambiente térmico. Para a verificação de níveis de conforto nas áreas externas são empregados métodos de levantamento. A calibração de faixas de conforto térmico ocorre através da utilização de um índice de conforto térmico para áreas externas em conjunto a levantamentos denominados como "*survey*". Neste estudo, com a utilização do índice térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), se tem como objetivo a caracterização de faixas de conforto térmico para espaços abertos para o sexo biológico em uma cidade com clima Cfa (Pelotas - RS). A amostra obtida de 1644 votos de percepção térmica, sendo 1029 referentes a mulheres e 615 a homens, foi obtida ao longo de 53 campanhas de monitoramento, realizadas em cinco locais distintos da cidade, entre julho de 2019 e março de 2020. O equipamento TGD-400 foi utilizado para a coleta dos dados climáticos e foram monitoradas as seguintes variáveis: temperatura de globo; temperatura de bulbo seco; temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. A partir dos dados coletados foram obtidos os valores de temperatura radiante média (TRM) e de temperatura fisiológica equivalente (PET) para cada questionário considerado válido. A faixa de conforto térmico para o sexo feminino para espaços abertos em Pelotas tem como limites inferior e superior, respectivamente, 17,1°C e 26,2°C, na escala PET. Para o sexo masculino, a zona de conforto térmica obtida tem como limite inferior 16,9°C PET, limite superior 26,5°C PET. As faixas de conforto calibradas são semelhantes quanto aos valores dos limites inferior e superior e apresentam disparidades em relação à originalmente proposta para o PET.

Palavras-chave: clima urbano, conforto térmico, índice de conforto térmico, índice PET.

ABSTRACT
Urban environments, increasingly densified, and the variations that occur in external spaces affect local microclimate, interfering in the users' satisfaction with the thermal environment. Survey methods for checking comfort levels in external areas are used. Calibration of thermal comfort ranges occurs through the use of a thermal comfort index for external areas together with surveys. In this study, using the Physiological Equivalent Temperature (PET) thermal index, the objective is to characterize thermal comfort bands for open spaces for female and male subjects in a city with a Cfa climate (Pelotas - RS). The sample obtained from 1644 votes of thermal perception, 1029 referring to females and 615 to males, was obtained during 53 monitoring campaigns, carried out in five different locations between July 2019 and March 2020. The TGD-400 equipment was used for the collection of climatic data and the following variables were monitored: globe temperature; dry bulb temperature; wet bulb temperature and air speed. From the collected data, the values of mean radiant temperature (TRM) and equivalent physiological temperature (PET) were obtained for each validated questionnaire. The thermal comfort range for females in open spaces in Pelotas has lower and upper limits, respectively, 17.1°C and 26.2°C, on the PET scale. For the males, the thermal comfort zone

obtained has a lower limit of 16.9°C, an upper limit of 26.5°C PET. The calibrated comfort ranges are similar in relation to the lower and upper limit values and show disparities in relation to the original band.

Keywords: Urban climate, thermal comfort, thermal comfort index, PET index.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito global e local, a degradação do meio ambiente é crescente e progressiva. Estão cada vez mais evidentes as ações que procuram atenuar as mudanças climáticas, impactando, dessa forma, do ambiente físico até a saúde pública. Os estudos realizados sobre conforto térmico em áreas externas visam auxiliar na análise e proposição de resoluções a essas alterações climatológicas, seja no contexto do planejamento urbano ou regional. A temperatura do ar consiste em um indicador de conforto térmico humano mais empregado, mas por si só não expressa a sensação térmica humana, sendo assim, não é um índice preciso (BARAKAT et al., 2017).

As variáveis que influenciam na definição de conforto térmico em ambientes externos são de maior complexidade quando comparadas com o conforto térmico em espaços internos. A temperatura radiante média (TRM) é uma das variáveis mais importantes que influenciam no conforto térmico em áreas externas. Nesta variável, são considerados os fluxos de radiação de onda curta e longa na troca de calor radiante que ocorre entre o corpo humano e o ambiente em que se está inserido, por meio da radiação solar direta, difusa ou refletida, entre outras (HUANG et al., 2014). Conforme Matzarakis et al. (2007), a significância da TRM é devida à grande influência que os fluxos de radiação possuem no balanço energético do corpo humano. Para Thorsson et al. (2007), esta variável consiste em um dos fatores microclimáticos que dispõe de maior influência no conforto térmico humano. A determinação do valor de temperatura radiante média se dá a partir das variáveis temperatura do ar, temperatura do globo e velocidade do ar. Segundo a ISO 7726 (1998), a TRM equivale a uma temperatura uniforme quando considerado um ambiente imaginário, no qual acontece a transferência de calor por meio da radiação para o corpo humano, correspondendo às trocas que ocorrem em um espaço real que é tido como não sendo uniforme.

É apontado por Johansson (2016) que, desde a última década, os estudos voltados ao conforto térmico em áreas externas são crescentes. As variáveis que interferem no conforto térmico em espaços abertos são discutidas em estudos de Spagnolo e De Dear (2003) e Lin (2009). Para Höppe (2002), as variáveis microclimáticas são fundamentais na troca de calor entre o corpo humano e o ambiente e a ação desses elementos têm como consequência a percepção térmica. Além dos fatores climáticos, existem diferentes variáveis que influenciam no conforto térmico, como a biometria, o isolamento térmico da vestimenta, a atividade metabólica e os aspectos psicológicos.

Existem diferentes índices térmicos que são empregados nos estudos de conforto térmico, sendo utilizados para auxiliar a compreensão da percepção térmica dos usuários nos espaços externos. Os índices *Perceived Temperature* (PT), *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) e *Physiological Equivalent Temperature* (PET) são índices térmicos. O PET é um índice que compõe os regulamentos destinados ao planejamento urbano e regional sensíveis ao clima e é recomendado pela Associação Alemã de Engenheiros (Verein Deutscher Ingenieure) (KRÜGER et al., 2017).

O PET, objeto deste estudo, e a referência para a definição deste índice térmico é o Modelo de Balanço Energético de Munique para Indivíduos - *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI). Ao considerar a termorregulação humana no regime estacionário, o índice PET utiliza como referência para cálculo o MEMI, quanto aos aspectos termofisiológicos (MAYER; HÖPPE, 1987). O PET consiste em uma temperatura fisiológica que considera qualquer ambiente, em que o balanço térmico entre o corpo e o local propicia que as temperaturas do corpo e da pele sejam observadas conforme as condições reais da área externa que está em análise (MAYER; HÖPPE, 1987). Os valores de PET correspondem aos valores da temperatura do ar de um ambiente interno de referência, em que é esperado o mesmo estresse térmico.

A avaliação do grau de estresse/conforto térmico dos usuários de áreas abertas em diferentes microclimas e espaços urbanos é possível por meio do uso do índice PET. Diversos estudos abordam a calibração do índice PET para localidades de climas distintos, como Gobo et al. (2018) para a cidade de Santa Maria - RS (Cfa), Krüger et al. (2018) para Curitiba - PR (Cfb), Rossi et al. (2017) para Rio de Janeiro - RJ (Aw/Am), Hirashima (2016) para Belo Horizonte - MG (Cfa), Lucchese et al. (2016) para Campo Grande - MS (Aw), Andrade, Nery et al. (2016) para Salvador - BA (Af), da Silva e Alvarez (2015) para Vitória - ES (Aw) e Monteiro e Alucci (2006) para a São Paulo - SP (Cfb). A calibração de faixas de conforto térmico para ambientes abertos para ambos os sexos em Pelotas - RS possibilita averiguar quais as diferenças observadas em decorrência do sexo feminino e masculino. Este estudo apresenta o método

empregado nas campanhas de monitoramento que foram realizadas entre julho de 2019 e março de 2020 e a demonstração e análise dos resultados obtidos.

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo apresentar as calibrações dos níveis de estresse térmico para ambos os sexos, considerando áreas externas na cidade de Pelotas - RS, com a utilização do índice térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).

3. MÉTODO

Neste estudo, o método envolve trabalho de campo, com o monitoramento e registro de dados microclimáticos, simultaneamente à aplicação de questionários referentes à percepção térmica individual de transeuntes residentes no município de Pelotas - RS. A seguir, apresenta-se o método utilizado para a coleta dos dados e para a calibração das faixas do índice PET.

3.1 Caracterização da localidade de estudo

Ao sul do Estado do Rio Grande do Sul está situado o município de Pelotas (31°46'34"S, 52°21'34"W), pertencente à mesorregião sudeste e à microrregião de Pelotas. Assim como é predominante no Rio Grande do Sul, o clima presente em Pelotas é subtropical (Cfa), segundo a classificação Köppen-Geiger.

Conforme apresentado pelas Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) a temperatura média anual corresponde a 18°C em Pelotas, com uma variação observada na média das mínimas em julho de 8,4°C até 28,5°C na média das máximas em janeiro, a umidade relativa média anual é 81%, sendo a média da intensidade do vento anual é 3,7 m/s, já a insolação anual corresponde a 2328 horas e a precipitação é aproximadamente a 1400 mm ao ano.

3.2 Definição e localização dos pontos de coleta de dados

Foram definidos cinco pontos de observação para a coleta de dados microclimáticos e aplicação de questionários com a população. A seleção desses pontos buscou verificar locais em áreas abertas que são frequentemente utilizados pela população residente no município. Ao mesmo tempo em que os pontos escolhidos são de uso recorrente, apresentam entre si diferenças quanto à presença de vegetação, pavimentação e uso do solo, cobrimento do céu e presença de edificações.

Esses postos estão localizados em diferentes áreas da cidade. Três pontos estão situados na região central de Pelotas, o quarto local está localizado na zona norte da cidade, em um bairro residencial, e o último foi definido na orla da Praia do Laranjal. Na Figura 1 é apresentada uma imagem da cidade de Pelotas com a demarcação dos pontos de coleta de dados.



Figura 1 - Cidade de Pelotas e demarcação dos pontos de coleta de dados. Fonte: Google Earth.

Na Figura 2 são apresentadas as imagens realizadas por uma câmera equipada com a lente olho de peixe e os respectivos valores de fator de visão do céu verificados em cada ponto. Estes registros fotográficos permitiram a determinação de cada FVC por meio do programa Rayman, no qual as imagens foram inseridas e analisadas.



a) 0,717 b) 0,517 c) 0,561 d) 0,671 e) 0,871

Figura 2 - Locais de análise.

3.3 Formulação dos questionários e amostra de estudo

Os questionários aplicados aos transeuntes foram estruturados conforme as normas ISO 8996 (2004), 7730 (2005), 9920 (2007) e 10551 (2015). Também foi considerado na elaboração das questões o estudo desenvolvido por Johansson et al. (2014). São abordados aspectos de aclimatação de curto e longo prazo, utilização do espaço, percepção e preferência térmica e de ventilação. A questão acerca da percepção térmica e as alternativas de resposta constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Sensação térmica.

Como tu te sentes neste exato momento?						
Com muito frio	Com frio	Com pouco frio	Sem frio nem calor	Com pouco calor	Com calor	Com muito calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Os questionários também registram características e aspectos pessoais de cada indivíduo que participa do estudo. As variáveis individuais levantadas são quanto ao sexo biológico (feminino ou masculino), idade (anos), altura (cm), massa corporal (kg), taxa metabólica (W/m), isolamento térmico da vestimenta (clo), cor da pele/raça autodeclarada (segundo classificação cor/raça utilizada pelo IBGE) e se o participante está localizado sob o sol ou à sombra.

Os valores de taxa metabólica seguem as normatizações nacionais e internacionais. A taxa metabólica é referente à atividade exercida pelo entrevistado no momento da aplicação do questionário, expressa em W/m. O isolamento térmico das vestimentas do indivíduo é apontado através do registro das roupas utilizadas por cada participante, expresso na unidade clo. Uma tabela com diferentes vestimentas e seus correspondentes valores de clo possibilitou registrar quais eram utilizadas pelos indivíduos no momento da aplicação do questionário.

A população que compõe a amostra deste estudo é formada por aqueles que são residentes do município de Pelotas há, pelo menos, seis meses e que estejam no ambiente externo há no mínimo 15 minutos. Quanto à faixa etária dos entrevistados, foi adotada a opção de não realizar nenhuma delimitação, mas entrevistados com idade inferior a 18 anos só foram permitidos perante participação autorizada por um responsável.

O período mínimo de residência em Pelotas e a condição de estar no ambiente externo com ao menos 15 minutos, garante que os entrevistados estejam aclimatados no espaço aberto de acordo com as condicionantes microclimáticas presentes no momento em que respondem ao questionário. Estudos realizados por Krügeret al. (2013, 2015) recomendam que o indivíduo esteja no mínimo 15 minutos no espaço externo. A Tabela 2 apresenta informações da amostra do estudo realizado em Pelotas.

Tabela 2 - Dados da amostra.

Variável pessoal	Categoria	N	%
Sexo Biológico	Feminino	1029	63
	Masculino	615	37
Idade	Até 25 anos	531	32
	Entre 25 e 64 anos	1032	63
	Acima de 64 anos	81	5
Massa Corporal	Abaixo do peso (IMC < 18,5 kg/m²)	27	2
	Normal (18,5 kg/m² IMC 24,5 kg/m²)	654	40
	Acima do peso (IMC 25 kg/m²)	656	40
	Obeso (IMC 30 kg/m²)	307	18
Cor da pele	Branca	1220	74
	Parda	231	14
	Preta	174	10
	Amarela	10	1
	Indígena	9	1

3.4 Registro dos dados microclimáticos e aplicação dos questionários

O medidor de estresse térmico TGD-400 (Figura 3) foi utilizado para o registro dos dados microclimáticos, sendo um equipamento que dispõe da função de console digital (*datalogger*) e formado por um conjunto de sensores. Na Tabela 3 são apresentadas as especificações do aparelho utilizado. Foram registradas as variáveis: temperatura do globo (TG), temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU) e velocidade do vento (v). Os valores de umidade relativa foram obtidos a partir dos registros de temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. Neste estudo, o globo utilizado possui 5 cm de diâmetro e foi pintado na cor cinza médio, visando obter efeitos de absorção solar mais próximos ao de uma pessoa vestida e exposta em ambiente externo (THORSSON et al., 2007; JOHANSSON et al., 2014). A emissividade assumida para o globo utilizado corresponde a 0,95 (ISO 7726, 1998).

Tabela 3 - Especificações do medidor de estresse térmico.

Sensor	Faixa	Precisão	Resolução
Termostato NTC (coeficiente negativo de temperatura)	-10~150°C	±0,5°C	0,1°C
Fio quente	0 - 20m/s	±4% +0,1m/s	0,1m/s



Figura 3 - Medidor de estresse térmico TGD-400 em uso.

O registro das variáveis climáticas concomitantemente à aplicação dos questionários constitui o trabalho de campo deste estudo e foi realizado entre julho de 2019 até março de 2020, ao longo do período diurno, entre 09:00h e 17:00h. Existia a intenção de realizar campanhas de monitoramento ao longo de um ano, abrangendo as quatro estações, porém as atividades externas foram interrompidas em decorrência da pandemia gerada pela Sars-Cov-2 a partir de março de 2020.

Em cada dia de monitoramento o trabalho de campo era realizado em um dos pontos de coleta. Antes do início da aplicação do questionário era necessário o posicionamento do medidor de estresse térmico a 1,10 m do solo e, após o acionamento do equipamento, aguardar 20 minutos para que o termômetro do globo atingisse o equilíbrio térmico. O registro dos dados microclimáticos ocorreu a cada 5 segundos. Foram realizadas 53 campanhas de monitoramento e obtidas 1644 respostas validadas.

3.5 Obtenção dos valores de temperatura fisiológica equivalente

Os valores de temperatura fisiológica equivalente referentes a cada entrevista realizada foram obtidos através do software Rayman, desenvolvido por Matzarakis et al. (2007). Os dados utilizados como entrada são as variáveis registradas de temperatura do ar (°C), temperatura radiante média (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s). Os valores de temperatura radiante média foram calculados pela equação para convecção forçada estabelecida pela ISO 7726 (1998).

Para os dados biométricos, foram utilizados os valores de referência estabelecidos pela ISO 8996 (2004) para um homem padrão (30 anos, 70 kg e 1,75 m) e uma mulher padrão (30 anos, 60 kg e 1,60 m), conforme o sexo do respondente. O isolamento térmico da vestimenta utilizada por cada participante corresponde ao que foi registrado no momento da entrevista. A taxa metabólica considerada para todas as entrevistas equivale à de um indivíduo caminhando a velocidade de 4 km/h, o que corresponde a 300 W. Na Tabela 4 são apresentadas as amplitudes dos dados microclimáticos registrados e dos valores de PET obtidos.

Tabela 4 - Amplitude das variáveis registradas e dos valores de PET obtidos.

	Vel. Vento (m/s)	Umid. Rel. (%)	Temp. Ar (°C)	Temp. Globo (°C)	TRM (°C)	PET (°C)
			Totalidade (1644)			
Máximo	9,69	93,06	35,73	41,46	71,97	43,40
Média	0,65	62,85	24,40	27,50	32,77	27,87
Mínimo	0,00	33,25	10,83	11,57	11,57	11,60

3.6 Determinação das faixas/níveis de estresse térmico

A determinação da faixa de conforto térmico ocorreu através do método de agrupamento dos votos de sensação térmica, considerando a variação discreta dos valores de índice PET obtidos, no qual foi adotada a variação de 1°C na escala do índice PET. A classificação das categorias de estresse térmico para as faixas de PET proposta por Matzarakis e Mayer (1996) foi considerada no agrupamento dos votos de sensação térmica. As calibrações das faixas foram determinadas a partir da linha de tendência gerada pela função dos votos agrupados de sensação térmica e dos valores de PET. A faixa considerada confortável, que não apresenta estresse térmico, é delimitada pela variação da sensação térmica entre -0,5 e +0,5, desse modo, os valores de PET que compõem a faixa de conforto térmico estão compreendidos neste intervalo. A temperatura de neutralidade térmica é determinada pelo voto de sensação térmica nulo. O desconforto por calor ocorre quando o valor de PET está acima do limite superior da faixa de conforto térmico e, por frio, se dá quando o valor de PET está situado abaixo da delimitação mínima desta categoria. A fim de evitar *outliers*, foi delimitado o agrupamento mínimo de cinco votos de sensação térmica.

Foram definidas faixas para cada categoria de estresse térmico para cada sexo biológico, utilizando-se as equações de tendência obtidas para os votos agrupados de sensação térmica dos grupos feminino e masculino, respectivamente, segundo a mesma escala de 7 pontos do PMV, de modo a se determinar os valores em PET. A partir dos votos agrupados de sensação térmica, também foi verificada a porcentagem de indivíduos insatisfeitos (PD - *percentage of dissatisfied*). A análise do percentual de insatisfeitos foi observada conforme a ISO 7730 (2005), que considera a equação prevista por Fanger (1970).

4. RESULTADOS

Foram calibrados os níveis de estresse térmico para áreas externas para o sexo feminino e para o sexo masculino. O intervalo de sensação térmica entre os valores -0,5 e +0,5 delimita a faixa em que não há

estresse térmico e compreende os valores de PET que estão inseridos neste intervalo. O índice térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) apresenta como faixa original de conforto os valores entre 18° a 23°C PET sendo as demais faixas de estresse térmico comparadas ao índice PMV (MATZARAKIS; MAYER, 1996).

A partir de 1029 respostas, foi obtida a faixa sem estresse térmico considerando o sexo biológico feminino. Os resultados apontam para uma forte correlação entre dados de sensação térmica agrupados e valores em PET. A faixa de neutralidade térmica apresenta como limites inferior e superior, respectivamente, 17,1°C e 26,2°C, em unidades PET. A faixa de conforto térmico verificada apresenta amplitude de 9,1°C. A Figura 4 mostra a relação entre os votos médios de sensação térmica agrupados e os valores de PET obtidos e a linha de tendência gerada.

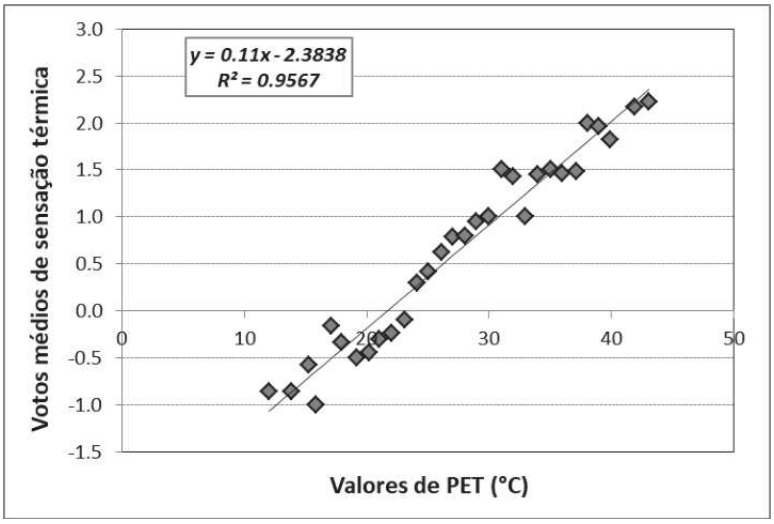


Figura 4 - Gráfico gerado pelas respostas do sexo biológico feminino.

A amostra de respostas do sexo biológico masculino consiste em 615 votos de conforto térmico. Com os resultados obtidos, é também observada alta correlação entre os dados médios de sensação térmica e na escala PET. São apresentados como limites inferior e superior da faixa de conforto térmico, respectivamente, os valores 16,9°C e 26,5°C, na escala PET. A zona de conforto térmico determinada para espaços abertos, considerando indivíduos do sexo masculino apresenta amplitude de 9,7°C PET. Na Figura 5, é apresentada a relação entre os votos médios de sensação térmica agrupados e os valores de PET obtidos e a linha de tendência gerada.

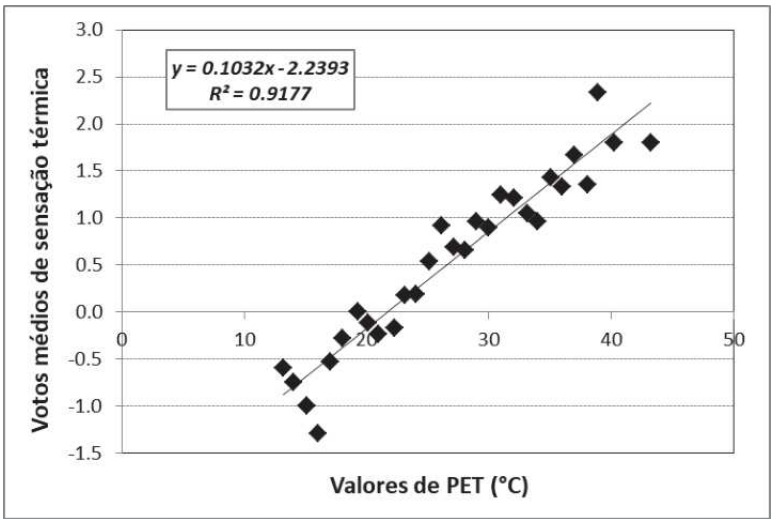


Figura 5 - Gráfico gerado pelas respostas do sexo biológico masculino.

Na Tabela 5 são apresentadas as calibrações (via aplicação das respectivas equações de regressão) obtidas para cada categoria de estresse térmico, as faixas originais previstas para os índices PET e PMV e a relação com a sensação térmica e o nível de estresse térmico. Os resultados obtidos para cada sexo biológico apresentam resultados semelhantes, sendo que ambos possuem amplitude maior que a faixa original proposta

para o índice PET. Foi observado que, para ambos os casos, os usuários apresentam maior tolerância térmica para temperaturas mais baixas e mais altas do que o sugerido pelo índice. Não foi possível calibrar as demais categorias de estresse térmico devido à faixa circunscrita de variação em PET da amostra.

Tabela 5 - Calibração das faixas de estresse térmico para o índice PET em °C para áreas externas para sexo biológico para a cidade de Pelotas - RS.

PMV	PET	PET Pel. Fem.	PET Pel. Masc.	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
				Muito frio	Extremo estresse para o frio
-3,5	4				
				Frio	Forte estresse para o frio
-2,5	8				
				Pouco frio	Moderado estresse para o frio
-1,5	13	8,0	7,2		
				Levemente frio	Leve estresse para o frio
-0,5	18	17,1	16,9		
				Confortável	Sem estresse térmico
0,5	23	26,2	26,5		
				Levemente calor	Leve estresse para o calor
1,5	29	35,3	36,2		
				Pouco calor	Moderado estresse para o calor
2,5	35	44,4	45,9		
				Calor	Forte estresse para o calor
3,5	41				
				Muito calor	Extremo estresse para o calor

A comparação entre as duas populações de sexos opostos mostrou que a sensibilidade térmica entre ambos é diferente: o grupo feminino necessita de uma variação de 9,1°C (PET) para alterar em uma unidade o grau de sensação térmica, sendo que o grupo masculino tem menor sensibilidade térmica, necessitando cerca de meio grau PET a mais (9,7°C PET) para alterar sua sensação térmica. A mesma relação de sensibilidade térmica para variações das condições ambientais, expressas por meio de um modelo empírico para uma amostra de 1654 votos de sensação térmica em Curitiba – PR, foi encontrada por Krüger e Rossi (2011), com homens mostrando menor sensibilidade térmica que as mulheres.

Foram geradas as porcentagens de insatisfeitos (PD) para cada sexo biológico, a partir dos percentuais agrupados de votos -3, -2, -1, 1, 2 e 3, versus votos médios de sensação térmica, para cada caso (Figuras 6 e 7). A partir das equações geradas, o valor médio de PD para a população feminina foi de 14%, para a faixa de conforto estipulada de -0.5 a +0.5, enquanto para a população masculina este foi de 15%. A equação original para PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), prevista na ISO 7730 (2005), foi ajustada conforme os valores obtidos para PD. As equações originadas a partir da curva de tendência polinomial e o ajuste na equação de PPD para cada caso estão apresentados na tabela 6. As Figuras 6 e 7 apresentam também os valores obtidos pela equação original do PPD e a partir da equação ajustada.

Tabela 6 - Equações obtidas da regressão para PD e equação de PPD ajustada para o feminino e o masculino.

Categoria	Equação gerada pela polinomial	Equação ajustada de PPD (PPD*)
Feminino	$y = 0,1051x^2 + 0,0893x + 0,1181$	$PPD_{ajustado} = 100 - 86 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$
Masculino	$y = 0,1196x^2 + 0,0667x + 0,1181$	$PPD_{ajustado} = 100 - 85 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$

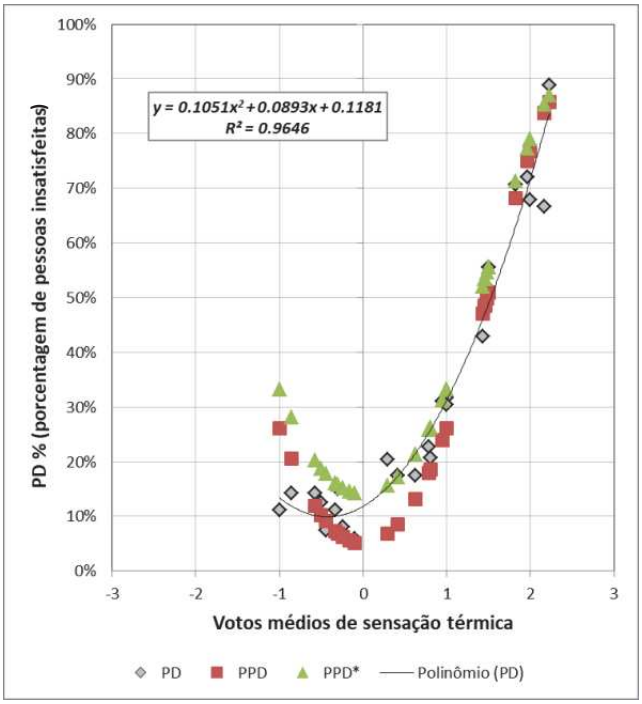


Figura 6 - Porcentagem de insatisfeitos versus votos médios de sensação térmica (grupo feminino).

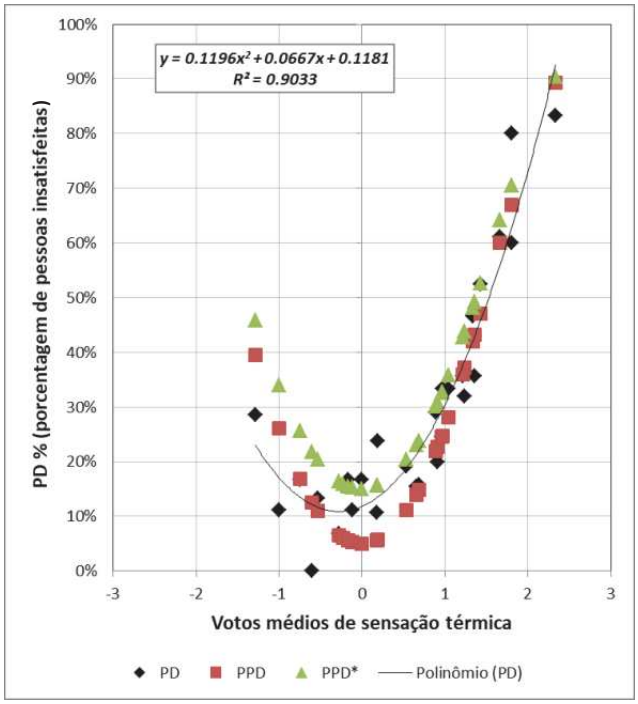


Figura 7 - Porcentagem de insatisfeitos versus votos médios de sensação térmica (grupo masculino).

5. CONCLUSÕES

As faixas de conforto térmico para áreas externas calibradas para cada sexo biológico para Pelotas - RS demonstram semelhanças, principalmente quanto aos limites inferior e superior da categoria "sem estresse térmico". A faixa de conforto térmico determinada para ambos os sexos apresenta amplitude térmica de quase o dobro da amplitude da faixa original do PET que é 5°C PET.

Com relação à faixa original do índice PET, a categoria sem estresse térmico para indivíduos de ambos os sexos apresenta tolerâncias maiores quanto aos limites superior e inferior. Há um aumento no limite máximo, com uma ampliação da faixa superior a 3°C PET, considerando a faixa original. Quanto ao limite inferior, também há uma ampliação da faixa que não apresenta estresse térmico, com o limite sendo deslocado para aproximadamente 1°C PET para baixo. Observando os dois grupos de sexo biológico residentes em Pelotas, é possível afirmar que há maior tolerância ao calor e ao frio do que o sugerido pelos desenvolvedores do índice PET.

Há uma discreta diferença em termos de tolerância e sensibilidade térmica entre indivíduos dos dois sexos. Para as duas amostras foi possível também calibrar quatro categorias do índice PET, sendo elas: "leve estresse para o frio", "sem estresse térmico", "leve estresse para o calor" e "moderado estresse para o calor". A percepção térmica dos indivíduos do sexo masculino denota maior tolerância para o frio e para o calor do que o verificado para o sexo feminino.

Já que os trabalhos de campo foram interrompidos pela pandemia ocasionada pela Sars-Cov-2, não há dados coletados para o período de outono, assim como, as coletas de inverno foram afetadas, como era previsto que ocorressem mais monitoramentos nessa estação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Telma Côrtes et al. Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto pet usando a técnica árvore de decisão. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 278-296, 2016.

BARAKAT, A.; AYAD, H.; EL-SAYED, Z. Urban design in favor of human thermal comfort for hot arid climate using advanced simulation methods. **Alexandria Engineering Journal**, [s. l.], v. 56, n. 4, p. 533-543, 2017.

DA SILVEIRA HIRASHIMA, Simone Queiroz; DE ASSIS, Eleonora Sad; NIKOLOPOULOU, Marialena. Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. **Building and Environment**, v. 107, p. 245-253, 2016.

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.

FANGER, P. O. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering**. McGraw Book Company, New York, 1970.
GOBO, João Paulo Assis; GALVANI, Emerson; WOLLMANN, Cássio Arthur. Subjective Human Perception of Open Urban Spaces in the Brazilian Subtropical Climate: A First Approach. **Climate,** v. 6, n. 2, p. 24, 2018.
HÖPPE, P. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and buildings**, [S.l.], v.34, n.6, p.661–665, 2002.
HUANG, J.; CEDEÑO-LAURENT, J. G.; SPENGLER, J. D. CityComfort+: A simulation-based method for predicting men radiant temperature in dense urban areas. **Building and Environment**, [s. l.], v. 80, p. 84-95, 2014.
INSTITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA. **Normais Climatológicas 1981-2010**. INMET, BRASIL, 2018.
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, 2015.
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 environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genève, 2005.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8996. **Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate**. Genève: ISO, 2004.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.ISO 9920. **Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble**. Genève: ISO, 2007.
JOHANSSON, E. Urban thermal comfort in the tropics. In: EMMANUEL, R. **Urban Climate in the tropics:** Rethinking Planning and Design Opportunities. London: Imperial College Press, 2016. p. 163-204.
JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - The need for standardization. **Urban Climate**, Vol. 10, p. 346-366, 2014.
KRÜGER, E.; DRACH, P.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. Assessment of daytime outdoor comfort levels in and outside the urban area of Glasgow, UK. **International journal of biometeorology**, [S.l.], v.57, n.4, p.521–533, 2013.
KRÜGER, E. et al. Short-term acclimatization effects in an outdoor comfort study. In: ICUC9-9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 2015, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015.
KRÜGER, E.; ROSSI, F.; DRACH, P. Calibration of the physiological equivalent temperature index for three different climatic regions. **International journal of biometeorology**, [S.l.], v.61, n.7, p.1323–1336, 2017.
KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; CRISTELI, P. S.; SOUZA, H. A. de.Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 135-148, jul./set. 2018.
KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A. Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. **Building and environment**, v. 46, n.3, p.690-697, 2011.
LIN, T.-P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. **Building and environment**, [S.l.], v.44, n.10, p.2017–2026, 2009.
LUCCHESE, J. R.; MIKURI, L. P.; FREITAS, V. S. de; ANDREASI, W. A. Application of Selected Indices on Outdoor Thermal Comfort Assessment in Midwest Brazil. **International Journal of Energy and Environment**, v. 7, n. 4, p. 291-302, 2016.
MATZARAKIS, A.; BLAZEJCZYK, K.; AMELUNG, B. **Climate Change and Tourism Assessment and Coping Strategies**. Freiburg: Maastricht-Warsaw, 2007.
MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Another Kind of Environmental Stress: thermal stress. **WHO Newsletter**, v. 18, p. 7-10, 1996.
MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modeling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54,n. 2, p. 131-139, 2007.
MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 43-49, 1987.
MONTEIRO, L. M..; ALUCCI, M. P. Calibration of outdoor thermal comfort models. **Proceedings..**. PLEA 2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 2006.
ROSSI, F. A.; KRÜGER, E.; DRACH, P. Calibração do índice PET para Curitiba e Rio de Janeiro. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú, SC: ENCAC, 2017, V. 1. p. 185-193.
SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E. de. An Integrated Approach For Ventilation's Assessment on Outdoor Thermal Comfort. **Building and Environment**, v. 87, p. 59-71, 2015.
SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoorand semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, [S.l.], v.38, n.5, p.721–738, 2003.
THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology,** v.27, p.1983-1993, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).