INFLUÊNCIA DA CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL NA PERCEPÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS DE ESPAÇOS ABERTOS EM CIDADE COM CLIMA CFA

Luísa Alcantara Rosa (1); Eduardo Krüger (2); Eduardo Cunha (3)
(1) Mestra, Arquiteta e Urbanista, luisa.alcantara.rosa@gmail.com, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Ambiental Urbana da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(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. +55 41 32794521
(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 32845500

RESUMO
O estudo do conforto térmico em áreas externas é importante para a compreensão dos níveis de conforto dos indivíduos e para o planejamento urbano sensível ao clima. A percepção térmica dos usuários dos espaços abertos é influenciada por diversos fatores, sendo a utilização da climatização artificial nos ambientes fechados um desses aspectos. Este estudo busca verificar a percepção térmica dos usuários dos espaços abertos da cidade de Pelotas - RS, sob o aspecto do impacto gerado pelo uso prolongado do ar-condicionado nos ambientes fechados. Foram realizadas 53 campanhas de monitoramento de dados simultaneamente à aplicação de questionários à população entre julho de 2019 a março de 2020. Para o registro das variáveis foi utilizado o medidor de estresse térmico TGD-400 e os questionários foram estruturados conforme as normas ISO 8996 (2004), 7730 (2005), 9920 (2007) e 10551 (2015). O índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) foi utilizado para comparar os resultados obtidos para aqueles que utilizam a climatização artificial e os que usam a ventilação natural. Os resultados apontam que o impacto causado pela utilização da climatização artificial altera a percepção térmica dos indivíduos, influenciando, portanto, nos limites das faixas de conforto térmico.

Palavras-chave: climatização artificial, ventilação natural, índice PET, espaços abertos.

ABSTRACT
The study of thermal comfort in outdoor areas is important for understanding individuals' comfort levels and for climate-sensitive urban planning. The thermal perception of users of open spaces is influenced by several factors, and the use of artificial air conditioning in environments is one of these aspects. This study seeks to verify the thermal perception of users of open spaces in the city of Pelotas - RS, regards to the impact generated by the prolonged use of air conditioning systems in internal environments. 53 data monitoring campaigns were carried out simultaneously with the application of a questionnaire to the population, from July 2019 to March 2020. To record the variables, the TGD-400 thermal stress meter was used and the questionnaires were structured according to ISO 8996 (2004), 7730 (2005), 9920 (2007) and 10551 (2015) regulations. The Physiological Equivalent Temperature (PET) index was used to compare the results obtained for those who use artificial air conditioning and those use natural ventilation. The results show that the impact caused by the use of artificial air conditioning alters the thermal perception of individuals, influencing therefore, on the limits of the thermal comfort ranges.

Keywords: air conditioning, natural ventilation, PET index, open spaces.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas impactam, além do ambiente físico, a saúde pública. Em contrapartida a estas alterações, são crescentes as buscas por ações que visem a mitigação e a redução dos impactos gerados pelas mudanças climáticas. Estudos a respeito do conforto térmico em áreas externas se tornam ferramentas que auxiliam na análise e proposição de soluções de planejamento urbano frente às mudanças que ocorrem no clima urbano. Segundo Barakat et al. (2017), a temperatura do ar é o indicador de conforto térmico humano mais utilizado, mas não consegue expressar a sensação térmica humana e não consiste em um índice preciso para espaços abertos.

O conforto térmico em espaços abertos é influenciado por diversas variáveis, sendo a temperatura radiante média (TRM) considerada uma das mais importantes, nela estão contidos os fluxos de radiação de onda curta e longa na troca de calor radiante entre o corpo humano e o ambiente (HUANG; CEDEÑO-LAURENT; SPENGLER, 2014). A TRM consiste em um dos fatores microclimáticos que mais gera influência no nível de estresse térmico humano (THORSSON et al., 2007). A TRM equivale a uma temperatura uniforme em que é considerado um ambiente imaginário no qual ocorre a transferência de calor por meio da radiação para o corpo, sendo correspondente às trocas que ocorrem em um espaço real que não apresenta uniformidade (ISO 7726, 1998). Para Matzarakis et al. (2007), a relevância da TRM caracteriza-se pela grande influência que os fluxos de radiação exercem no balanço energético do corpo humano.

Diversos estudos discutem as variáveis que influenciam no conforto térmico em espaços abertos, como os realizados por Spagnolo e De Dear (2003), e Lin (2009). Além das variáveis climáticas, aspectos individuais, como vestimentas e taxa metabólica e aspectos psicológicos são fatores que interferem na sensação de conforto térmico de cada indivíduo. A percepção térmica é consequência da troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, sendo as variáveis climáticas essenciais para a ocorrência dessas trocas (HÖPPE, 2002). Johansson (2016) apontou que são crescentes os estudos sobre o conforto térmico em áreas abertas.

Diferentes índices térmicos são empregados nas pesquisas sobre conforto térmico em espaços externos. Os índices térmicos Physiological Equivalent Temperature (PET), Perceived Temperature (PT) e Universal Thermal Climate Index (UTCI) são utilizados para auxiliar na compreensão da percepção térmica dos usuários em espaços abertos. O índice térmico PET é indicado como variável de análise de conforto térmico em espaços abertos, sendo importante no planejamento urbano e regional sensíveis ao clima, também é recomendado pela Associação Alemã de Engenheiros (Verein Deutscher Ingenieure) (KRÜGER et al., 2017).

Neste estudo é empregado o índice térmico PET, que utiliza como referência quanto aos fatores termofisiológicos o Modelo de Balanço Energético de Munique para Indivíduos - Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI) -, em que a termorregulação humana é considerada em regime estacionário (MAYER; HÖPPE, 1987). O índice PET corresponde à uma temperatura fisiológica para qualquer ambiente considerado, sendo equivalente à temperatura do ar para um ambiente interno típico, de modo que o balanço térmico entre o corpo e o ambiente é observado conforme as condições do ambiente externo real que está em avaliação (MAYER; HÖPPE, 1987). Os valores de PET equivalem aos valores da temperatura do ar de um ambiente interno de referência, em que se é esperado o mesmo estresse térmico.

O índice PET já foi calibrado e o nível de estresse/conforto térmico dos indivíduos dos espaços abertos foi avaliado para diversas localidades do Brasil, que apresentam climas distintos, como observado nos estudos desenvolvidos por Gobo et al. (2018), Krüger et al. (2018), Rossi et al. (2017), Hirashima (2016), Lucchese et al. (2016), Andrade, Nery et al. (2016) e Monteiro e Alucci (2006), respectivamente para as cidades de Santa Maria - RS (Cfa), Curitiba - PR (Cfb), Rio de Janeiro - RJ (Aw/Am), Belo Horizonte - MG (Cfa), Campo Grande - MS (Aw), Salvador - BA (Af) e São Paulo - SP (Cfb).

Com a densificação das cidades, sendo crescente a construção e a concentração de edifícios, se observa cada vez mais a formação de ilhas de calor. O desconforto ambiental e os impactos financeiros e ambientais, reflexos da formação das ilhas de calor, são causados pelo aumento do consumo de energia em decorrência da utilização da climatização artificial acionada nos ambientes (KRÜGER; DRACH, 2016).

No Rio Grande do Sul, em que há predominância do clima Cfa no litoral e no sul do Estado, observa-se que a utilização da climatização artificial não está restrita ao período de verão, já que o inverno tende a ser mais rigoroso. Dessa forma, os indivíduos que utilizam o ar-condicionado buscam reduzir os desconfortos ocasionados pelo frio e pelo calor.

Para o entendimento e a definição de estratégias urbanísticas que sejam sensíveis ao clima se faz necessário a compreensão das respostas de sensação térmica dos indivíduos que utilizam os espaços abertos e dos impactos gerados pelo uso de climatização artificial, seja no ambiente de trabalho ou no domicílio. Estes hábitos impactam nos níveis de conforto/estresse térmico de cada usuário, mesmo quando eles não estão nos ambientes internos.

A calibração dos níveis de conforto térmico de espaços abertos envolve a percepção dos usuários, na qual é considerada o voto de sensação térmica. Esta resposta individual é influenciada por questões fisiológicas, subjetivas e psicológicas.

A verificação do histórico térmico dos indivíduos consiste em um importante fator que pode influenciar na percepção térmica. Diversos estudos analisaram os históricos térmicos dos usuários, sendo observadas as diferenças reportadas pelos indivíduos habituados aos ambientes ventilados naturalmente e aqueles acostumados com a climatização artificial.

Os estudos desenvolvidos por Ramos et al. (2020), De Vecchi et al. (2016), Yu et al. (2013) e Chun et al. (2008) avaliam o histórico térmico e o impacto causado pela utilização da climatização artificial no conforto térmico. Ramos et al. (2020) e De Vecchi et al. (2016) conduziram pesquisas na cidade de Florianópolis - SC (Cfa) e abordaram, respectivamente, os impactos causados na percepção térmica pelo uso do ar-condicionado no ambiente residencial e sobre os efeitos na percepção e preferência térmica causados pela exposição prolongada aos ambientes que são condicionados de maneira mista, sendo os resultados influenciados pelo histórico térmico dos indivíduos.

Yu et al. (2013) verificaram na China as diferenças entre habitantes de localidades que apresentam climas frios, Pequim (Dfa) e Xangai (Cfa) que, respectivamente, têm acesso ao aquecimento durante o inverno e o grupo que não dispõe deste recurso. Foi observado que os indivíduos acostumados ao aquecimento demonstram maior desconforto causado pelo frio.

Em Seul (Dwa), na Coréia do Sul e em Yokohama (Cfa), no Japão, no estudo desenvolvido por Chun et al. (2008), a pesquisa foi conduzida com 52 indivíduos durante o período de calor, na qual foram coletadas informações sobre o histórico térmico dos participantes e a avaliação da percepção térmica ocorreu com a utilização de câmara climática. Os resultados apontaram que os usuários que estão acostumados ao uso do ar-condicionado demonstram um leve aumento na sensação térmica, em comparação ao grupo que não utiliza o dispositivo.

O estudo realizado por Krüger e Drach (2016) para a cidade do Rio de Janeiro - RJ aponta impactos na percepção térmica dos usuários dos espaços abertos, considerando a zona central da cidade, ocasionados pela utilização da climatização artificial. No estudo realizado no Rio de Janeiro foram considerados os dados do período de verão e os resultados apontaram que a utilização da climatização artificial influencia na percepção térmica dos usuários dos espaços abertos (KRÜGER; DRACH, 2016).

2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva verificar e analisar a influência que a utilização da climatização artificial nos ambientes pode gerar na percepção térmica dos usuários dos espaços abertos de Pelotas, Rio Grande do Sul e os impactos nos limites das faixas de conforto térmico calibradas para o município com o índice PET.

3. MÉTODO

O método utilizado neste estudo envolve trabalho de campo, em que há o registro dos dados climáticos concomitantemente a aplicação de questionários acerca da percepção térmica dos usuários nos espaços abertos. O método empregado é apresentado a seguir.

3.1. Caracterização do clima local

Ao sul do Rio Grande do Sul está localizada a cidade de Pelotas (31°46’34”S, 52°21’34”W), situada na mesorregião sudeste e na microrregião de Pelotas. O município, conforme a classificação Köppen-Geiger, apresenta o clima Cfa (subtropical úmido) e está compreendido na zona bioclimática 2 (ABNT, 2005).

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. 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 pontos (Figura 1) estão localizados em diferentes áreas da cidade, sendo que três estão situados na região central de Pelotas, o quarto local está localizado na zona norte da cidade e o último foi definido na orla da Praia do Laranjal.



Figura 1 – Cidade de Pelotas – RS 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 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

Para a formulação dos questionários aplicados aos transeuntes foram consideradas as normas ISO 8996 (2004), ISO 7730 (2005), ISO 9920 (2007) e ISO 10551 (2015), além do estudo elaborado por Johansson et al. (2014). Por meio das questões contidas no questionário é possível verificar a percepção térmica dos usuários nos espaços abertos. A Tabela 1 apresenta a questão sobre percepção térmica dos usuários e as respostas possíveis.

Tabela 1 – Sensação térmica.

Como tu te sentes neste exato momento?						
Muito frio	Frio	Pouco frio	Sem frio nem calor	Pouco calor	Calor	Muito calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Os questionários abordam questões relacionadas a aclimatação de curto e longo prazo, uso do espaço aberto, percepção e preferência de ventilação. As características biométricas, a taxa metabólica da atividade exercida e o isolamento térmico da vestimenta de cada participante também são registradas.

A amostra deste estudo (Tabela 2) é composta pelos indivíduos que residem, no mínimo, há seis menos no município de Pelotas e que estejam, pelo menos, 15 minutos no ambiente aberto. Essas delimitações quanto ao período de residência e de permanência no espaço aberto visam assegurar que os participantes estejam adequadamente aclimatados às condições microclimáticas presentes no momento da realização da entrevista.

O tempo mínimo de 15 minutos de permanência no espaço aberto é recomendado por estudos realizados por Krüger et al. (2013, 2015) a fim de garantir a aclimatação do indivíduo.

Tabela 2 – Dados da amostra.

		Ventilação natural		**Climatização artificial**		**Totalidade**	
Variável pessoal	Categoria	N	%	N	%	N	%
Sexo biológico	Feminino	534	64	515	61	1049	63
	Masculino	298	36	332	39	630	37
Idade	Até 25 anos	312	38	233	27	545	32
	Entre 25 e 64 anos	502	60	549	65	1051	63
	Acima de 64 anos	18	2	65	8	83	5
Massa Corporal	Abaixo do peso	18	2	9	1	27	2
	Normal	341	41	331	39	672	40
	Acima do peso	324	39	346	41	670	40
	Obeso	149	18	161	19	310	18
Cor da pele	Branca	567	68	683	81	1250	74
	Parda	142	17	91	11	233	14
	Preta	111	13	66	8	177	10
	Amarela	6	1	4	0	10	1
	Indígena	6	1	3	0	9	1

3.4. Registro dos dados climáticos e aplicação dos questionários

O medidor de estresse térmico TGD-400 (Figura 3) foi utilizado para o registro dos dados microclimáticos, sendo que é constituído por um conjunto de sensores e dispõe da função de console digital. As especificações técnicas são apresentadas na Tabela 3. As variáveis temperatura de globo (TG), temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU) e velocidade do vento (v) foram registradas a cada 5 segundos. Este estudo utilizou um globo, pintado na coloração cinza médio, com diâmetro de 5 cm, para o qual foi adotada emissividade de 0,95 (ISO 7726, 1998). A opção de diâmetro e cor do globo utilizado é recomendada por diferentes estudos (THORSSON et al., 2007; JOHANSSON et al., 2014) e buscou obter efeitos de absorção solar mais parecidos ao de um indivíduo vestido e exposto ao ambiente externo.



Figura 3 – Equipamento TGD-400.

Tabela 3 – Especificações técnicas do equipamento TGD-400.

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

Os trabalhos de campo desenvolvidos neste estudo foram realizados no período diurno, entre 09:00h e 17:00h, no período compreendido entre julho de 2019 a março de 2020 (interrompidos pela pandemia). O registro das variáveis climáticas ocorreu simultaneamente à aplicação dos questionários com os transeuntes. Cada campanha de monitoramento, que compreende as atividades realizadas no trabalho de campo, foi desenvolvida em um dos pontos de coleta de dados. Ao todo, o estudo realizou 53 campanhas de monitoramento e obteve 1679 questionários validados.

3.5. Determinação dos valores de PET

Os valores de PET referentes a cada entrevista realizada foram obtidos por meio do software Rayman, desenvolvido por Matzarakis et al. (2007). As variáveis temperatura do ar (°C), temperatura radiante média (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento foram utilizados como dados de entrada para a obtenção dos valores de PET. Para a determinação dos valores de TRM foi adotada a equação estabelecida para convecção forçada (ISO 7726, 1998). Para todas as entrevistas realizadas foi estabelecida a taxa metabólica correspondente a um indivíduo caminhando a 4 km/h, equivalente a 300 W/m².

Os valores de referência estabelecidos pela normatização (ISO 8996, 2004) para um homem padrão (30 anos, 70 kg e 1,75 m) e uma mulher padrão (30 anos, 60 kg e 1,65 m) foram considerados para os dados biométricos, conforme a resposta do entrevistado quanto ao sexo biológico. Os dados de isolamento térmico da vestimenta correspondem ao somatório apontado por cada respondente no momento da entrevista. Na tabela 4 são apresentadas informações sobre os valores de PET obtidos para cada situação verificada no estudo.

Tabela 4 – Valores de PET obtidos.

	Ventilação natural	**Climatização artificial**	**Totalidade**
N	832	847	1679
Mínima	9,7	9,7	9,7
Média	27,7296875	27,98323495	27,85759381
Máxima	50,7	51,2	51,2
Mediana	27,7	28,2	27,9

4. RESULTADOS

A análise descritiva considera as informações registradas quanto à percepção térmica dos usuários para cada situação analisada (Figura 4). Ao todo, os dados referem-se à percepção térmica de 1679 indivíduos entrevistados. A resposta “sem frio nem calor” foi a mais frequente para os dois casos, sendo que na ventilação natural esta categoria apresenta cerca de 3% a mais do que o constatado na climatização artificial. Observa-se que essa opção de resposta é a que apresenta maior diferença percentual entre as situações analisadas.

As respostas relacionadas à percepção de calor são mais expressivas do que às relacionadas à percepção de frio. A resposta menos frequente foi “muito frio”, seguida por “frio”, sendo que os percentuais somados dessas categorias correspondem a cerca de 5%. A resposta “pouco frio” foi a mais expressiva em relação àquelas relacionadas à percepção de frio, observa-se que a situação de uso de climatização artificial apresenta um percentual maior do que a ventilação natural. Nas opções “calor” e “pouco calor”, aqueles que utilizam o ar-condicionado apresentam percentuais maiores. Entre as categorias relacionadas ao calor, a percepção de “calor” apresenta uma diferença maior entre as situações analisadas, sendo que o maior percentual é observado no uso de climatização artificial. Verifica-se que na opção “muito calor”, é mais representativa a resposta daqueles que utilizam a ventilação natural. Nas duas situações analisadas, mais de 50% dos entrevistados apontaram uma resposta relacionada a percepção térmica de calor. Observa-se que menos de 15% dos participantes optaram por uma resposta relacionada ao frio.

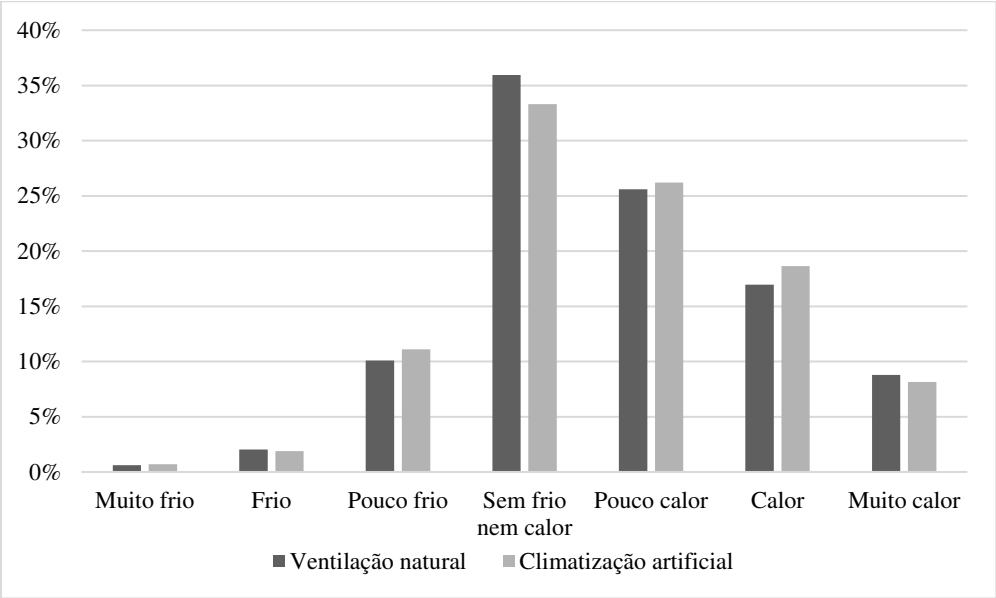


Figura 4 – Percepção térmica: respostas descritivas.

Na Figura 5 estão apresentados os votos médios de sensação térmica e os valores de PET para as duas situações analisadas, na qual também está plotada os valores de PET calibrados para a cidade de Pelotas – RS. Os votos de sensação térmica registrados para cada caso foram agrupados para uma variação de 1°C PET. Observa-se que há forte correlação entre os votos médios de sensação térmica e os valores de PET obtidos.

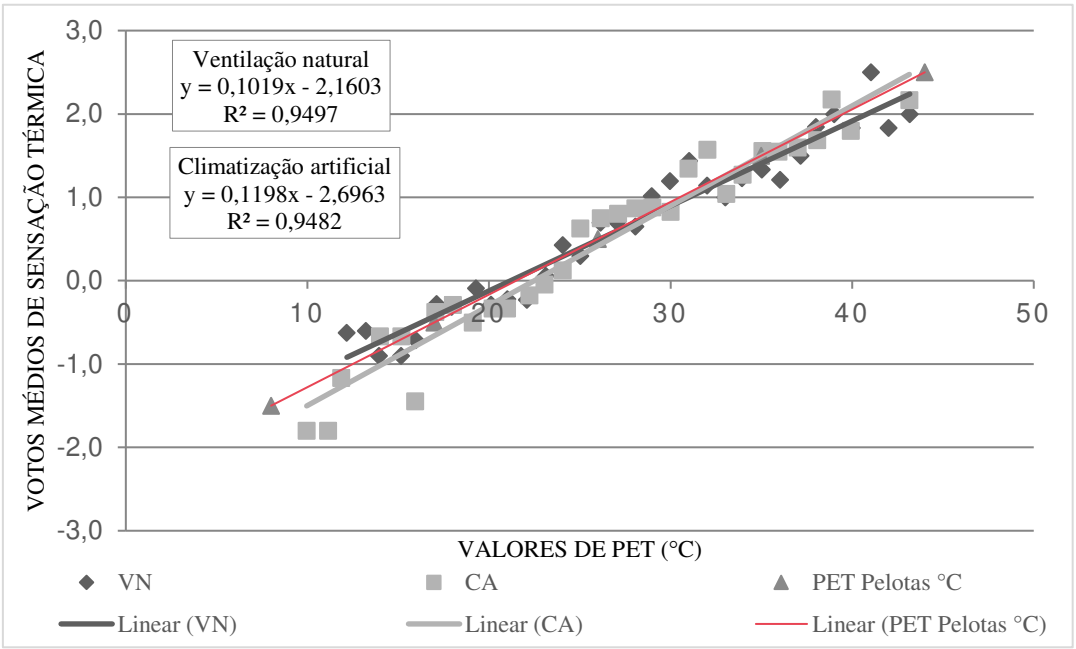


Figura 5 – Gráfico gerado pelas respostas das situações analisadas.

As calibrações apresentadas neste estudo foram obtidas por meio das equações de regressão verificadas para cada situação analisada. Na Tabela 5 constam as calibrações obtidas para ventilação natural e para climatização artificial, as faixas do índice PET para Pelotas, as faixas originais previstas para os índices PET e PMV e a relação com a sensação térmica. A faixa de conforto térmico calibrada para Pelotas apresenta amplitude térmica de 9°C PET, mesma amplitude verificada para a situação de climatização artificial, mas com limites diferentes. A faixa de conforto térmico calibrada para ventilação natural apresenta amplitude térmica de 10°C PET, sendo que os limites inferior e superior correspondem, respectivamente, a 16°C PET e 26°C PET. Para a situação de climatização artificial, o limite inferior da faixa de conforto térmico é 18°C PET, mesmo limite da faixa original prevista para o índice PET, enquanto o limite superior corresponde a 27°C PET.

Tabela 5 – Calibração do índice PET em °C para os espaços abertos para as situações de ventilação natural e climatização artificial para a cidade de Pelotas – RS.

Níveis de conforto térmico					
PMV	PET °C	PET Pelotas °C	PET Pelotas Ventilação Natural °C	PET Pelotas Climatização Artificial °C	Sensação térmica
-1,5	13	8	6	10	
					Levemente frio
-0,5	18	17	16	18	
					Confortável
0,5	23	26	26	27	
					Levemente calor
1,5	29	35	36	35	
					Calor
2,5	35	44	46	43	

As faixas de conforto térmico obtidas apresentam limites semelhantes. Pode-se afirmar que a população habituada a ventilação natural é mais tolerante ao frio, enquanto aqueles que utilizam a climatização artificial apresentam maior tolerância a temperaturas mais altas. Ao observar a faixa de conforto térmico prevista pelo índice PET, verifica-se que os dois casos discutidos nesse estudo apresentam maior tolerância térmica para temperaturas mais altas. A temperatura neutra verificada para ventilação natural e para climatização artificial correspondem, respectivamente, a 21,2°C PET e 22,5°C PET. Para cada situação analisada foi possível calibrar as categorias apresentadas na Tabela 5, as demais não puderam ser determinadas em função da faixa circunscrita de variação em °C PET obtida pela amostra.

Para cada caso foram geradas as porcentagens de insatisfeitos (PD). A partir dos percentuais agrupados dos votos -3, -2, -1, 1, 2 e 3 versus votos médios de sensação térmica foi possível a determinação do valor de PD. Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os votos agrupados e seus respectivos percentuais, os votos de PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) gerados de acordo com ISO 7730 (2005) e os votos ajustados conforme os valores obtidos para PD. O valor médio de PD para a situação de ventilação natural corresponde a 16% para a faixa de conforto térmico prevista de -0,5 a +0,5. Para essa mesma faixa, o valor médio de PD para a população que utiliza a climatização artificial consiste em 14%. Observa-se essa diferença de 2% entre os valores médios de PD observados para as duas situações analisadas, sendo que o maior valor de PD refere-se a população que utiliza a ventilação natural. Na Tabela 6 estão apresentadas as equações originadas a partir da curva de tendência polinomial e o ajuste na equação de PPD para cada situação discutida.

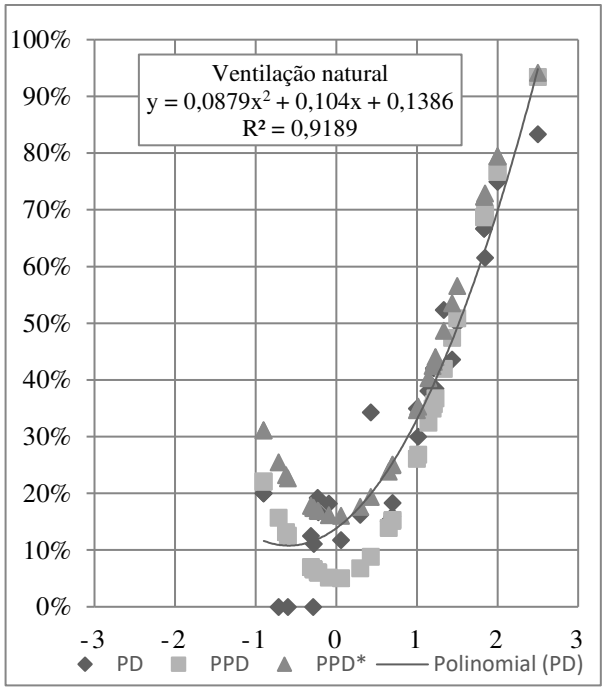


Figura 6 – Percentual de insatisfeitos versus votos médios de sensação térmica (ventilação natural).

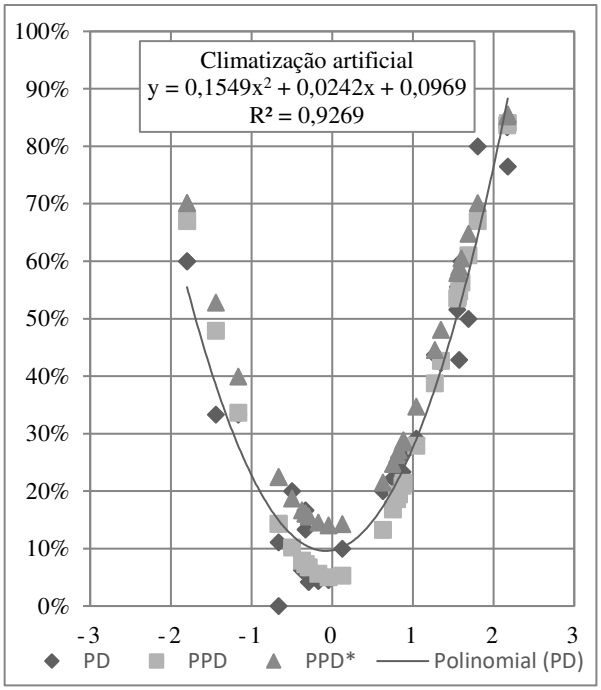


Figura 7 – Percentual de insatisfeitos versus votos médios de sensação térmica (climatização artificial).

Tabela 6 – Equações obtidas pela regressão para PD e equação de PPD ajustadas para as situações analisadas.

Situação	Equação gerada pela polinomial	Equação ajustada de PPD (PPD*)
Ventilação natural	y = 0,0879x2 + 0,104x + 0,1386	PPDajustado = 100 - 86 . e- (0,03353 . PMV^4 + 0,2179 . PMV^2)
Climatização artificial	y = 0,1549x2 + 0,0242x + 0,0969	PPDajustado = 100 - 86 . e- (0,03353 . PMV^4 + 0,2179 . PMV^2)

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para cada situação analisada demonstram que há semelhanças entres as faixas de conforto térmico calibradas, sendo que apresentam maior semelhança quanto ao limite superior (1°C PET de diferença) e são mais distantes em relação ao limite inferior, que corresponde a 2°C PET de diferença. A situação de ventilação natural apresenta o limite superior da faixa de conforto térmico – 26°C PET – igual ao da faixa calibrada para o índice PET para Pelotas-RS. Já o limite superior da faixa de neutralidade térmica para a situação de utilização da climatização artificial corresponde a 27°C PET e situa-se 1°C PET acima dos limites das faixas de conforto térmico verificadas para situação de ventilação natural e a calibrada para os espaços abertos de Pelotas. O limite inferior da zona de conforto térmico calibrada para os espaços abertos de Pelotas corresponde a 17°C PET, sendo que este valor se situa entre os limites inferiores das faixas verificadas para as situações de ventilação natural e climatização artificial que correspondem, respectivamente a 16°C PET e 18°C PET.

Pode-se observar que as delimitações inferior e superior da faixa de conforto térmico verificada para a situação de climatização artificial têm seus limites deslocados para cima, quando em comparação com a ventilação natural e com o índice PET calibrado para Pelotas. Esse deslocamento para cima denota que a população que utiliza o ar condicionado apresenta menor resistência a percepção de frio e maior resistência a percepção de calor. Ao observar a faixa original prevista para o índice PET, que apresenta variação entre 18° e 23°C PET, verifica-se que o limite inferior da zona de conforto térmico constada para a situação de climatização artificial corresponde a 18°C PET, mesmo valor verificado para faixa original do índice PET.

Para a situação de ventilação natural, o deslocamento para baixo nos limites inferior e superior da faixa de conforto térmico em relação ao verificado para climatização artificial, demonstra que a população apresenta maior tolerância quanto a percepção de frio e menor tolerância para o calor. Ao comparar essa situação com a faixa original prevista para o índice PET, verifica-se que a população local é mais tolerante ao frio e ao calor.

Ao considerar as duas situações analisadas nesse estudo, observa-se que a há uma discreta diferença quanto a tolerância térmica entre os grupos. Para as duas amostras averiguadas foi possível determinar os valores de quatros faixas de sensação térmica, sendo elas: “levemente frio”, “confortável”, “levemente calor” e “Calor”. Observa-se que os dois casos apresentam maior tolerância para o calor do que a faixa original prevista para o índice PET. Salienta-se que os trabalhos de campo foram interrompidos pela pandemia causada pela Sars-Cov-2, o que impactou na coleta de dados nos períodos de outono e inverno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

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, v. 56, n. 4, p. 533-543, 2017.

CHUN, Chungyoon et al. Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort. Building and Environment, v. 43, n. 5, p. 877-885, 2008.

DE VECCHI, Renata; CÂNDIDO, Christhina Maria; LAMBERTS, Roberto. Thermal history and comfort in a Brazilian subtropical climate: a 'cool' addiction hypothesis. Ambiente Construído, v. 16, p. 7-20, 2016.

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.

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, 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, 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, v.57, n.4, p.521–533, 2013.
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, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 133-148, abr./jun. 2016.
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. et al. Short-term acclimatization effects in an outdoor comfort study. In: ICUC9-9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 2015, 2015. Anais..., 2015.
LIN, T.-P.Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. Building and environment, 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, 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.
RAMOS, G.; DE VECCHI, R.; LAMBERTS, R. Air conditioning use in residential buildings: how does it impact on thermal perception ? Windsor 2020 Resilient Comfort – Proceedings... of 11th Windsor Conference, 16th–19th April 2020, pp.682-691. ISBN 978-1-9161876-3-4. London, UK, 2020.
ROSSATO, MAÍRA SUERTEGARAY. Os climas no Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2011.
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.
SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoorand semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment, 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.
YU, J. et al. People who live in a cold climate: thermal adaptation differences based on availability of heating. Indoor air, v. 23, n. 4, p. 303-310, 2013.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).