ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Sensação térmica e índices UTCI e PET em experimento dinâmico com mochila bioclimática

Thermal sensation and UTCI and PET indices through a dynamic experiment with a bioclimatic backpack

Linccon de Carvalho Lima
Univers. Federal da Paraíba|João Pessoa|Brasil|linccon.carvalho@academico.ufpb.br
Solange Leder
Univers. Federal da Paraíba | João Pessoa | Brasil | Solange.leder@academico.ufpb.br
Eduardo Krüger
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br
Walter Ihlenfeld
Univers.Tecn.Federal do Paraná|Curitiba|Brasil| walterihlenfeld@alunos.utfpr.edu.br
Renata Torres Sarmento de Castro
Universidade Federal da Paraíba| João Pessoa | Brasil |renatatorrescastro@gmail.com
Vinicius Gomes de Almeida
Universidade Federal da Paraíba| João Pessoa | Brasil | arch.vinicius@gmail.com

Resumo

A maior parte dos estudos de conforto térmico humano estão concentrados na avaliação de ambientes internos, porém, nos últimos anos, devido às consequências das mudanças climáticas, pesquisadores de vários países vêm desenvolvendo novas estratégias para avaliação do conforto térmico em espaços ao ar livre. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o conforto térmico humano por meio de avaliação subjetiva e dos índices térmicos PET e UTCI. A partir de um experimento longitudinal realizado no Parque Zoobotânico em João Pessoa-PB, registraram-se variáveis microclimáticas utilizando mochila bioclimática e aplicados questionários de avaliação subjetiva da sensação, conforto e preferência térmica em participantes pré-selecionados, cujas respostas subjetivas foram comparadas aos índices PET e UTCI. Constatou-se que, ao longo do transecto, as sensações térmicas estiveram intrinsicamente relacionadas às condições ambientais. Elementos como vegetação, exposição solar e sombreamento influenciaram nas sensações térmicas e no conforto. O UTCI apresentou valor máximo de 31,3°C indicando moderado estresse para o calor. O PET apresentou valor máximo de 29,6°C indicando estresse leve para o calor.

Palavras-chave: Conforto térmico. Mochila bioclimática. Índices de conforto.

Como citar:
LIMA, L. C. et. al. Sensação térmica e índices UTCI e PET em experimento dinâmico com mochila bioclimática. ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Most studies on human thermal comfort are focused on assessing indoor environments; however, in recent years, researchers from various countries have been developing new strategies for assessing thermal comfort in outdoor Spaces due to the consequences arising from climate change. This study evaluates human thermal comfort through subjective assessment and the thermal PET and UTCI data. Through a longitudinal experiment conducted in a Zoobotanical Park in João Pessoa-PB, microclimate variables were recorded using a bioclimatic backpack, and subjective assessment questionnaires of sensation, comfort, and thermal preference were applied to pre-selected participants. The subjective responses were compared with PET and UTCI indexes. It was found that, along the transect, thermal sensations were intrinsically related to environmental conditions. Elements such as vegetation, exposure to solar radiation, and shading influenced thermal sensations and perceived comfort. The UTCI recorded a maximum value of 31.3°C, indicating moderate heat stress. The PET recorded a maximum value of 29.6°C, indicating mild heat stress.

Keywords: Thermal Comfort. Bioclimatic backpack. Comfort index.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e consequentes situações extremas, como as ondas de calor, ampliam os índices de morbidade e mortalidade principalmente nos grandes centros urbanos [1][2]. Identificar as populações e os locais que estão sob alto risco de vulnerabilidade ao calor é fundamental para o planejamento urbano e intervenções de saúde [3]. Para identificar os locais de risco, observações de campo baseadas em medições de superfície e propriedades atmosféricas por meio de sensores, são métodos amplamente aplicados nas últimas décadas, e desempenham um papel central nos estudos sobre o clima urbano [4][5][6].

O monitoramento ambiental em estações fixas e transectos móveis são metodologias frequentemente utilizadas em ambientes urbanos [4]. Estações meteorológicas estacionárias realizam o monitoramento a longo prazo e permite a caracterização das variações temporais em locais específicos. Estações fixas, contudo, possuem limitação espacial, pois, mesmo em rede, se limitam a determinados pontos fixos dentro de uma área urbana, sendo que variações microclimáticas significativas podem ocorrer em função da morfologia urbana [6]. Os transectos móveis, por outro lado, são uma possibilidade para superar as limitações das estações fixas. Os percursos móveis podem ser feitos por veículos motorizados [7][8] bicicleta [9] ou a pé [10] acoplados a equipamentos portáteis que possibilitam percorrer uma área urbana pré-determinada. Ao serem integrados com questionários investigativos, os transectos possibilitam identificar variáveis subjetivas sobre conforto térmico [11][12].

Um dos principais entraves na ampliação do monitoramento microclimático, em estações ou percursos móveis, é o alto custo dos equipamentos. Uma alternativa promissora são os sensores de baixo custo aliados aos microprocessadores [13][14][15]. Neste sentido, protótipos baseados em microcontroladores de baixo custo surgem como uma alternativa aos equipamentos tradicionais empregados para monitorar dados microclimáticos, superando as limitações do alto custo dos sensores profissionais [16].

Diante das novas possibilidades de montagem de equipamentos, os protótipos de mochilas bioclimáticas têm despertado atenção de novas iniciativas de pesquisa

[17][18][14][19][20]. As mochilas bioclimáticas possuem vantagens sobre as estações fixas por utilizarem sensores de baixo custo e por sua capacidade de mobilidade pedonal em diferentes contextos urbanos, diferente do monitoramento dinâmico por meio de veículos e bicicletas que encontram mais dificuldades de acessar determinados setores pedonais da malha urbana.

Para mensurar o conforto e estimar a qualidade térmica dos espaços urbanos, os índices de conforto permitem estabelecer critérios para minimização ou neutralização dos riscos relativos à exposição excessiva ao estresse por calor ou frio [21]. O PMV (*Predicted Mean Vote*) sugerido por [22] é reconhecidamente o modelo mais difundido nos estudos de conforto térmico, contudo, foi desenvolvido para ambientes internos passíveis de condicionamento artificial. Em ambientes externos, é recomendado o uso de índices mais específicos, dentre eles destacam-se o PET e UTCI.

O índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*) foi proposto por Höppe e Mayer em 1987 [23] e tem sido amplamente adotado em estudos de conforto térmico em espaços abertos. É baseado no MEMI *(Munich Energy-balance Model for Individuals*) que modela fisiologicamente as condições térmicas do corpo humano [24].

O UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) foi proposto pela Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), com base no modelo termorregulador multimodal desenvolvido por [25], que considera o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico; a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo; e a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h em superfície plana [26]. Tanto o UTCI quanto o PET têm sido amplamente adotados por pesquisadores de conforto térmico no contexto urbano [27] [28] [29]. As categorias de estresse térmico do UTCI e PET estão expressas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1:Faixas de estresse térmico UTCI.

Faixas de UTCI (°C)	Categorias
> 46	Extremo estresse para o calor
38 a 46	Muito forte estresse para o calor
32 a 38	Forte estresse para o calor
26 a 32	Moderado estresse para o calor
18 a 26	Conforto térmico
9 a 18	Sem estresse térmico
0 a 9	Pouco estresse para o frio
0 a -13	Moderado estresse para o frio
-13 a -27	Forte estresse para o frio
-27 a -40	Muito forte estresse para o frio
<-40	Extremo estresse para o frio

Fonte: Adaptado de [27].

Tabela 2:Faixas de estresse térmico PET.

Faixa de PET(°C)	Categorias	Pontuação
< 4	Muito frio	-3
4-12	Frio	-2
12-26	Pouco frio	-1
18-26	Neutro	0
26-31	Pouco calor	1
31-43	Calor	2
> 43	Muito calor	3

Fonte: Calibração do PET proposta por [30].

Este trabalho realizou um experimento de conforto térmico utilizando medições microclimáticas *in loco* a partir de um transecto móvel. As variáveis microclimáticas foram registradas por um protótipo de mochila bioclimática e a avaliação subjetiva foi coletada através da aplicação de questionários com participantes pré-selecionados. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o conforto térmico humano em um parque urbano por meio de avaliação subjetiva e dos índices UTCI e PET no clima tropical quente e úmido. Buscou-se também avaliar a aplicabilidade do protótipo de Mochila Bioclimática PLEMS (*Portable Low-cost Environmental Monitoring System*), em estudos de conforto térmico em espaços abertos. O PLEMS foi desenvolvido em parceria entre pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) [31] [32].

METODOLOGIA

O local escolhido para a realização do estudo através de medições microclimáticas e de aplicação dos questionários investigativos com os participantes pré-selecionados foi um parque zoobotânico com área de 26,8 hectares inserido no meio urbano da cidade de João Pessoa-PB, entre as coordenadas 7°06’51.32’’S e 34°52’38.70’’O (Figura 1) implantado no Bioma Mata Atlântica. O macroclima local é tropical quente e úmido (Am-Köppen-Geiger), as médias anuais de temperatura do ar estão em torno dos 25°C, a média mínima está em torno dos 23°C e a média máxima em 28°C. O experimento foi realizado no período chuvoso, caracterizado pela redução da temperatura do ar e o aumento da pluviosidade.

Figura 1:Mapa de João Pessoa (a) e imagem de satélite com destaque do Parque (b)



Fonte: Adaptado de PMJP-Secretaria Municipal de Meio Ambiente(a) Google Earth(b),2024.

As variáveis microclimáticas temperatura ar (Ta), umidade relativa do ar (Ur), temperatura de globo (Tg) e velocidade do ar (Va) foram coletadas pelo PLEMS durante condições de tempo atmosférico padronizado (céu claro, sem precipitação e baixa velocidade do ar) e em diferentes condições morfológicas no interior do parque urbano. O PLEMS é composto por sensores microclimáticos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura de globo, incluindo adicionalmente sensor de iluminação, ruído, pressão atmosférica e concentração de

CO2 [20]. Todos os sensores do PLEMS atendem aos requisitos estabelecidos para a classe C (conforto) da norma [33] (tabela 3).

Tabela 3-Referência e precisão dos sensores utilizados no protótipo PLEMS.

Sensor	Fabricante	Variável	Tempo de Resposta	Intervalo de leitura *(Requerido ISO 7726)*	Precisão *(Requerido ISO 7726)*
AHT10	ASAIR®	Ta°C	5 < 30s	-40 a 85°C *(10 a 40°C)*	± 0,3°C *(± 0,5°C)*
		Ur %	8s	0 a 100% *(0,5 a 3,0kPa)*	± 2% *(0,15kPa)*
DS18B20	Maxim Integrated	Tg°C	0,75s	-55 a 125°C *(10 a 40°C)*	± 0,5°C *(± 2°C)*
ANBR-1	WRF Comercial®	Va m/s	3,1s	0,19 a 37,5 m/s *(0,05 a 1,0m/s)*	< ±5% *(±0,05 a 0,10m/s)*

Fonte: Adaptado de [20].

O PLEMS é composto por um Sistema de Posicionamento Global (GPS), fixado externamente sobre o quadro de distribuição do protótipo. Possui um conjunto de componentes projetados para registrar dados automaticamente, incluindo um relógio de tempo real e um módulo de cartão de memória portátil denominado Memória *Flash,* acoplados a um microcontrolador intermediário ESP32; a alimentação de energia é feita através de uma *Powerbank* de 5 volts [20] (figura 2).

Figura 2:Detalhe da estrutura e componentes físicos do PLEMS.



Fonte: Autores(2024).

Foram conduzidas caminhadas a pé com 5 participantes pré-selecionados. A trilha do parque compreende a distância de 1,4km, (ida e volta) percorrida à velocidade controlada de 4km/h em aproximadamente 50 minutos. Seis pontos de interesse foram selecionados para análise, com média de 300m de entre eles, exceto do ponto 2 para o 3 que abrange cerca de 400m (Figura 3).

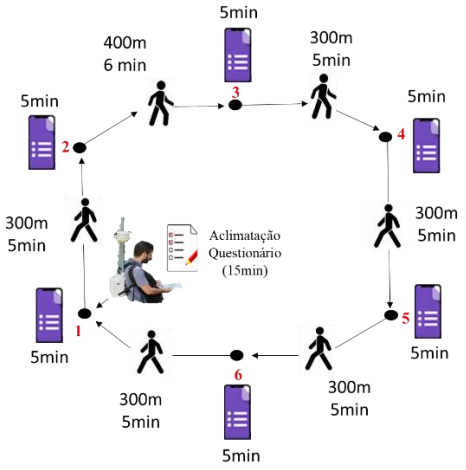
Figura 3:Mapa do percurso com o posicionamento dos pontos.



Fonte: Autores(2024).

O PLEMS registrou dados a aproximadamente 1,5min ao longo do percurso pedonal (Figura 4) composto de 6 pontos nas quais um questionário com perguntas referente a sensação, conforto e preferência térmica foi aplicado. O questionário (Quadro 1) foi construído seguindo critérios da norma [34]. Para otimizar o tempo das respostas o questionário foi convertido em *google forms* acessado com auxílio de smartphones. O intervalo de tempo previsto entre os pontos foi de aproximadamente 5 minutos. Em cada ponto os participantes utilizaram aproximadamente 5 minutos para responder as perguntas, possibilitando 4 registros microclimáticos por ponto.

Figura 4:Medições microclimáticas e aplicação dos questionários simultaneamente.



Fonte: Autores(2024).

As perguntas do questionário foram divididas em 3 blocos: 1º bloco com informações pessoais, biométricas e demográficas; 2º bloco com questões de percepção subjetiva do ponto atual; e 3º bloco com questões de percepção subjetiva em relação ao ponto anterior. O questionário foi submetido ao Conselho de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba - CCS/UFPB, e aprovado pelo parecer 6.018.64.

Quadro 1:Estrutura do questionário de avaliação térmica subjetiva.

Data:		Sexo Biológico:		Altura:		
Hora:		Idade:		Comorbidade:		
Ponto:		Peso:		Vestimenta:		
Profissão:		Você é natural de (cidade em estudo)? (_) Sim ( ) Não				
Caso responda "não" de onde é?						
Há quanto tempo você está na (cidade em estudo)?						
1) **Como você está se sentindo em relação ao ambiente térmico?**						
-3	**-2**	**-1**	**0**	**+1**	**+2**	**+3**
Muito Frio	Frio	Pouco de Frio	Neutro	Pouco de Calor	Calor	Muito Calor
2) **Em relação ao microclima deste local, como você está se sentindo?**						
0		**1**		**2**	**3**	
Confortável		Um pouco desconfortável		Desconfortável	Muito desconfortável	
3) **Nesse momento, em relação ao microclima deste local, como você preferiria que estivesse?**						
-3	**-2**	**-1**	**0**	**+1**	**+2**	**+3**
Muito mais Frio	Mais Frio	Um pouco mais de frio	Sem mudanças	Um pouco mais quente	Mais quente	Muito mais quente
4) **Em relação ao ponto anterior, você considera que o ambiente térmico deste ponto é:**						
0			**1**		**2**	
Mais frio			Semelhante		Mais quente	

Fonte: Autores(2024).

Os dois pontos iniciais foram em locais arborizados e sombreados; o 1º ponto com passeio pavimentado, o 2º em terra batida. O 3º ponto ocorreu em área aberta sem vegetação ou sombreamento, localizado ao lado da Lagoa, com passeio pavimentado de piso intertravado de concreto. O 4º ponto ocorreu novamente em ambiente sombreado no acesso à trilha das águas, com passeio de terra, sentido retorno à entrada do parque. O 5º ponto ocorreu na área mais baixa do parque entre duas pequenas pontes de madeira com um leito de água seguindo todo o percurso, local mais arborizado do percurso. O 6º ponto foi na área de convívio do parque, uma área aberta com edificações de recintos de animais e parque infantil.

Figuras 5 e 6: Sequência dos pontos e registro fotográfico.



Fonte: Autores(2024).

As variáveis microclimáticas e os dados dos questionários foram digitalizados, organizados e analisados em planilhas do Software Microsoft Excel. A Temperatura radiante média foi calculada a partir dos valores de temperatura do globo, através da equação de convecção forçada recomendada pela norma [33]. As informações pessoais dos participantes foram registradas no ponto 1. Participaram do experimento dois homens e três mulheres. O valor de atividade metabólica assumido foi de 165W/m², atividade de caminhar de acordo com a norma [35]; o isolamento térmico da roupa foi expresso em CLO, calculado de acordo com o conjunto de vestimenta individual de cada participante, a partir dos valores apresentados na norma [35] (tabela 4).

Tabela 4-Descrição das variáveis pessoais.

Participante	Sexo	Idade	IMC	Comorbidade	Vestimenta	∑clo	AtidadeW/m²
1	Masculino	34	27,5	Não	Camisa botão,calça jeans,tênis	0,52	165
2	Feminino	31	20,3		Regata,calça tecido,tênis	0,41	
3	Feminino	38	22,5		Regata,calça legging,sandália	0,31	
4	Masculino	35	32,3		Camiseta,calça jeans,tênis	0,47	
5	Feminino	42	24,8		Camiseta, calça jeans,tênis	0,47	

Fonte: Autores(2024).

RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados do monitoramento microclimático, avaliação dos índices UTCI e PET e sensação térmica declarada.

MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO

O circuito foi realizado no dia 05 de julho de 2023, iniciando às 9h30min e finalizando às 10h40min, com registros aproximadamente a cada 1,5 minutos, totalizando 37 registros. A média da temperatura do ar foi de 27,8 °C; umidade do ar foi de 78%; temperatura do globo foi de 29,1°C; temperatura radiante média foi de 30,1°C; e velocidade do ar de 0,6m/s (Tabela 5).

Tabela 5-Monitoramento microclimático geral.

Categoria/Variável	TA°C	UR%	TG°C	TRM°C	Va_m/s
Máxima	29,9	86	30,4	39,2	3,1
Média	27,8	78	29,1	30,1	0,6
Mínima	26,7	68	28,1	25,1	0,0
Desvio p.	0,7	4	0,6	3,1	1,0
Mediana	27,6	79	29,2	29,4	0,0

Fonte: Autores(2024).

A descrição microclimática por ponto utilizou 24 registros, 4 registros em cada ponto. Os pontos 1 e 2, localizados ao longo da trilha arborizada, apresentaram valores médios de temperaturas do ar semelhantes (27,4°C e 27,7°C) e alta umidade relativa do ar (81% e 80%). A média da temperatura de globo foi ligeiramente mais alta em 0,5°C no ponto 2 (28,8°C), similar ocorreu com à média da temperatura radiante média de 28,3°C no ponto 1 e 30,4°C no ponto 2, aumento de 2,1°C. As médias das temperaturas do ar foram uniformes em todos os outros pontos observados, em torno dos 27°C, exceto no ponto 6 que apresentou média de 29,3°C, apesar disso, o ponto 6 apresentou menor média da temperatura radiante média (27,8°C), o que pode estar associado com a média da velocidade do ar mais alta (1,5m/s). O ponto 5, que é o mais vegetado e sombreado, apresentou a menor média da temperatura do ar (27,2°C). No entanto, as médias da temperatura de globo e a temperatura radiante média foram altas, 29,9°C e 33,6°C respectivamente. Isso pode estar atribuído à vegetação densa e à baixa velocidade do ar, com média de 0,5 m/s. Diferente do ponto 5, o ponto 3 é o

local mais aberto e exposto a radiação solar, com solo impermeável e pouca vegetação ao redor, apesar da média da temperatura do ar desse ponto ser semelhante aos pontos arborizados (27,7°C), ocorreu um aumento das médias da temperatura de globo e radiante média de 29,7°C e 31,1°C, nessa ordem. O ponto 4 também é uma área mais aberta, porém, sombreado pela arborização de grande porte, o que contribuiu para mantar a média da temperatura do ar em torno dos 27°C. Por outro lado, a média da temperatura radiante média foi mais alta (32,7°C). A tabela 6 detalha as condições microclimáticas dos seis pontos dentro do parque.

Tabela 6-Monitoramento microclimático por ponto.

Ponto	DATA	Hora	TA(°C)	UR(%)	TG(°C)	VA(m/s)	TRM(°C)
1	05/07/2023	09:42:33	27,6	78	28,4	0,0	28,4
		09:43:58	27,5	82	28,3	0,0	28,3
		09:45:24	27,3	83	28,2	0,0	28,2
		09:46:49	27,4	81	28,1	0,0	28,1
		Total			Média		
		4min16seg	27,4	81	28,3	0,0	28,3
2	05/07/2023	09:52:31	27,7	78	28,4	0,0	28,4
		09:53:57	28,1	80	28,4	0,0	28,4
		09:55:22	27,6	79	28,9	3,1	35,4
		09:56:47	27,5	83	29,3	0,0	29,3
		Total			Média		
		4min16seg	27,7	80	28,8	0,8	30,4
3	05/07/2023	10:02:29	27,3	83	28,9	0,0	28,9
		10:03:54	27,5	84	29,9	0,0	29,9
		10:05:19	28,0	80	30,0	1,2	35,9
		10:06:45	27,9	81	29,9	0,0	29,9
		Total			Média		
		4min16seg	27,7	82	29,7	0,3	31,1
4	05/07/2023	10:12:26	27,9	78	29,5	0,0	29,5
		10:13:51	27,9	79	29,5	0,0	29,5
		10:15:23	27,5	77	29,6	1,9	37,2
		10:16:54	28,0	73	29,6	1,2	34,5
		Total			Média		
		4min28seg	27,8	77	29,5	0,8	32,7
5	05/07/2023	10:23:00	27,5	79	29,6	0,0	29,6
		10:24:32	27,3	76	29,8	0,0	29,8
		10:26:03	26,7	82	29,8	0,6	35,7
		10:27:35	27,2	80	30,4	1,2	39,2
		Total			Média		
		4min35seg	27,2	79	29,9	0,5	33,6
6	05/07/2023	10:32:09	29,6	68	29,1	2,5	26,9
		10:33:40	29,9	69	29,0	2,5	25,1
		10:35:12	29,4	73	28,8	0,0	28,8
		10:36:43	28,2	75	28,8	1,2	30,4
		Total			Média		
		4min34seg	29,3	71	28,9	1,5	27,8

Fonte: Autores(2024).

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ATRAVÉS DOS ÍNDICES UTCI E PET.

Os índices UTCI e PET foram calculados a partir dos valores médios das variáveis microclimáticas de cada ponto, com auxílio do *Software Rayman Pro* 3.1 [36]. Observando a tabela 7, os valores de PET estão na faixa de 27,3°C à 29,6°C, categoria de "pouco calor". Os valores de UTCI estão na faixa de 30°C à 31,5°C, categoria de "moderado estresse para o calor". Os pontos 1, 2 e 6 apresentaram valores de PET e UTCI mais baixos, os pontos 3, 4 e 5 relativamente mais altos. De modo geral, os índices PET e UTCI indicaram faixas de "moderado desconforto para o calor" em todos os pontos monitorados.

Tabela 7: Média das variáveis microclimáticas, PET e UTCI.

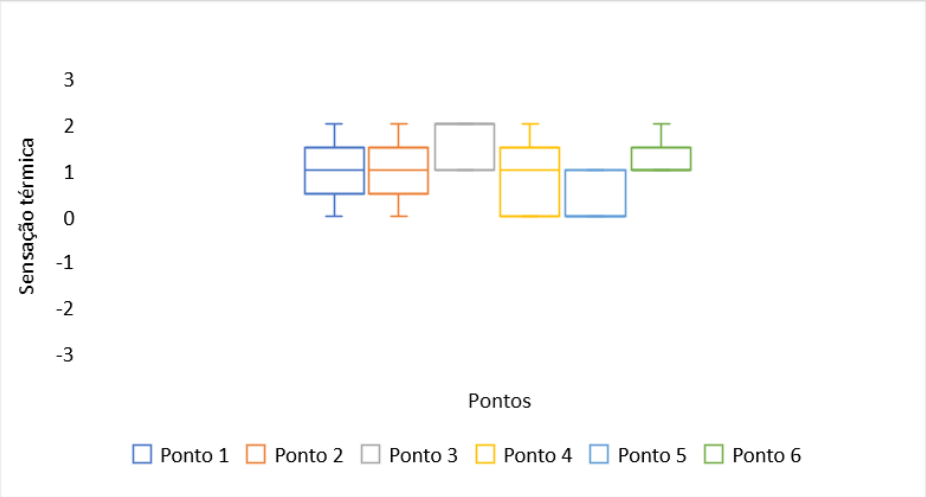
Ponto	Média TA(°C)	Média UR(%)	Média TG(°C)	Média VA(m/s)	Média TRM(°C)	PET(°C)	UTCI(°C)
1	27,4	81	28,3	0,0	28,3	27,3	30,3
2	27,7	80	28,8	0,8	30,4	27,3	30,8
3	27,7	82	29,7	0,3	31,1	28,7	31,5
4	27,8	77	29,5	0,8	32,7	28,8	31,2
5	27,2	79	29,9	0,5	33,6	29,6	31,3
6	29,3	71	28,9	1,5	27,8	27,0	30,0

Fonte: Autores(2024).

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO TÉRMICA DECLARADA.

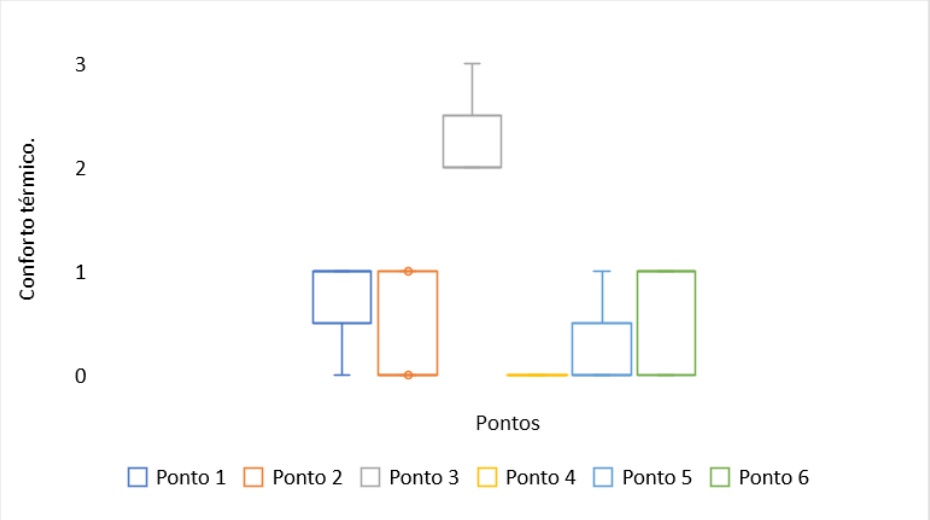
No ponto 1 a sensação térmica predominante foi de "pouco de calor", sendo considerado "pouco desconfortável", com preferência por um ambiente "um pouco mais frio". No ponto 2 também prevaleceu a sensação de "pouco de calor", no entanto, diferente do ponto 1 foi considerado "confortável", ainda assim houve preferência por um ambiente "um pouco mais frio". No ponto 3 a sensação térmica predominante foi de "calor", com ambiente considerado "desconfortável", e com preferência por um ambiente "mais frio". No ponto 4, a sensação térmica dos participantes foi variada, com uma distribuição equilibrada entre as respostas: dois votos para "neutralidade", dois votos para "pouco de calor" e um voto para "calor". Apesar dessa diversidade de opiniões, todos os participantes consideraram o ambiente "confortável". Porém, a maioria expressou preferência por um ambiente "um pouco mais frio". O ponto 5 foi o único com sensação térmica predominante "neutra", o ambiente térmico foi considerado "confortável", ainda assim, a preferência foi por um ambiente "um pouco mais frio". No ponto 6 a sensação foi de "pouco de calor", com ambiente térmico "pouco desconfortável" e preferência por um ambiente "um pouco mais frio". A sensação térmica variou entre os seis pontos, mas houve uma tendência maior na preferência por ambientes menos quentes. Mesmo nos pontos considerados confortáveis (2, 4 e 5), a maioria expressou preferência por temperaturas ligeiramente mais baixas. Os resultados obtidos estão detalhados nos gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1–Votos de sensação térmica.



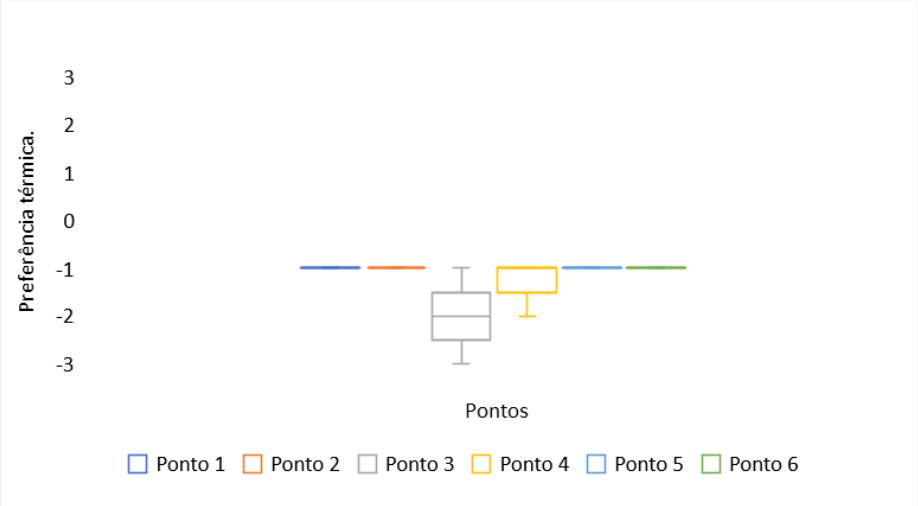
Fonte: Autores (2024).

Gráfico 2–Votos de conforto térmico.



Fonte: Autores (2024).

Gráfico 3–Votos de preferência térmica.

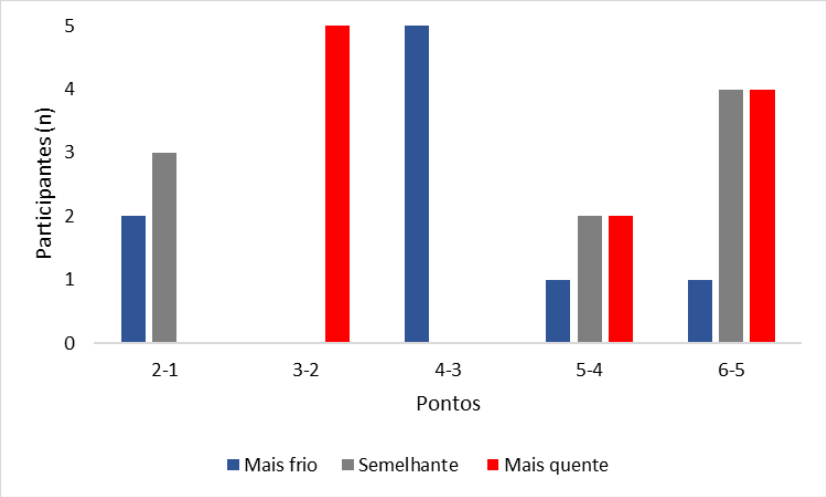


Fonte: Autores (2024).

PERCEPÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO ENTRE OS PONTOS.

O gráfico 4 apresenta a avaliação térmica do ambiente em comparação com o ponto anterior, esta análise refere-se ao 3° bloco do questionário. Comparando o ponto 2 com o ponto 1, a maioria dos participantes consideraram o ambiente termicamente semelhante. O ponto 3 em comparação com o ponto 2 foi considerado mais quente por todos os participantes. Diferente dos pontos 1 e 2 que são locais arborizados, o ponto 3 é o local mais exposto a radiação solar, favorecendo a sensação de ser mais quente. O ponto 4 em relação ao ponto 3 foi considerado termicamente mais frio. Mesmo sendo locais mais abertos, o ponto 4 é arborizado e menos exposto a radiação solar, diferente do ponto 3, a exposição à radiação solar parece ser um fator determinante na avaliação térmica do ambiente. O ponto 5 em relação ao ponto 4 obteve votos em todas as categorias. A densidade da vegetação diminuiu a exposição à radiação solar, porém, bloqueou a circulação do ar tornando a dissipação do calor menos eficiente, diversificando as repostas. O ponto 6 foi considerado mais quente que o ponto 5, apesar de ser uma área mais aberta e ventilada, o ponto 6 tem maior área de exposição à radiação solar, novamente a radiação solar foi determinante na avaliação térmica do ambiente.

Gráfico 4–Percepção térmica entre os pontos.



Fonte: Autores(2024).

TEMPERATURA DO AR, SENSAÇÃO TÉRMICA, UTCI E PET.

A sensação térmica declarada e as faixas de conforto dos índices UTCI e PET, foram comparadas através das médias da temperatura do ar de cada ponto (Tabela 8).

Mesmo com a similaridade das médias da temperatura do ar entre os pontos (aproximadamente 27°C), exceto no ponto 6, houve significativa diferenças nas repostas de sensação térmica relatada pelos participantes entre os pontos, que variou de "neutro" a "calor". Os índices PET e UTCI mostraram consistência em indicar um certo nível de moderado estresse térmico para o calor em todos os pontos, coincidindo com as sensações dos participantes. Porém, no ponto 4 a sensação térmica indefiniu-se entre duas categorias (neutro e pouco de calor) e no ponto 5 prevaleceu a sensação térmica de neutralidade, ainda assim, UTCI e PET indicaram moderado estresse

térmico para o calor, nesses pontos específicos, PET e UTCI superestimaram a sensação térmica declarada.

Tabela 8: Comparação entre temperatura do ar, sensação térmica, UTCI e PET.

Ponto	TA(°C)	Sensação térmica	PET(°C)	UTCI(°C)
1	27,4	Pouco calor	Pouco calor	Moderado estresse para calor
2	27,7	Pouco calor	Pouco calor	Moderado estresse para calor
3	27,7	Calor	Pouco calor	Moderado estresse para calor
4	27,8	Neutro e Pouco calor	Pouco calor	Moderado estresse para calor
5	27,2	Neutro	Pouco calor	Moderado estresse para calor
6	29,3	Pouco calor	Pouco calor	Moderado estresse para calor

Fonte: Autores(2024).

CONCLUSÃO

O monitoramento microclimático demonstrou variações pontuais da temperatura do ar em todo transecto entre 26,7°C e 29,9°C. A circulação de ar foi limitada, máxima de 3,1m/s, a temperatura do globo e radiante média registraram máxima de 30,4°C e 39,2°C, respectivamente. Além das condições microclimáticas, outros fatores ambientais, como a vegetação e exposição à radiação solar influenciaram nas respostas de sensação térmica dos participantes. Os pontos menos expostos a radiação solar foram associados a sensações térmicas mais próximas da neutralidade. A comparação entre a sensação térmica declarada e os índices UTCI e PET, mostrou que ambos os índices indicaram faixas de desconforto para o calor em todos os pontos, estando em concordância com a sensação subjetiva declarada pelos participantes (pouco calor), com exceção do ponto 5, onde prevaleceu a sensação de neutralidade, e ainda assim, UTCI e PET continuaram a indicar moderado estresse térmico para o calor, demonstrando que mesmo sobre condições microclimáticas semelhantes, as percepções térmicas podem ser distintas. O PLEMS mostrou-se adequado para o monitoramento das variáveis microclimáticas em ambientes ao ar livre, sendo uma alternativa viável principalmente para pesquisas que demandam pouco fomento.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa não seria possível sem o apoio financeiro do CNPq através das chamadas: CNPq/MCTI/FNDCT Nº18/2021 (FaixaB) Grupos Consolidados/processo aprovado 408422/2021-1 e CNPq/MCTI Nº10/2023 (FaixaB) Grupos Consolidados/ processo aprovado 407014/2023-3.

REFERÊNCIAS

[1] HAJAT, S.; KOSATKY, T. **Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. Journal of Epidemiology & Community Health**, 64(9), 2010 p. 753-760.

[2] HALES, S. K. S.; LLOYD, S.; CAMPBELL., L. D. **Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s**. World Health Organization, 2014.

[3] CHENG, W.; & LI, D.; LIU, Z.; BROWN, R. **Approaches for identifying heat-vulnerable populations and locations: A systematic review.** Science of The Total Environment. 799. 2021.

[4] GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

[5] OKE, T.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. **Urban Climates**. Cambridge University Press, 2017.

[6] TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, K.; THEODOSIOU, T.; BIKAS, D. **Urban warming and cities' microclimates: Investigation methods and mitigation strategies—a review.** Energies, 13(6), 2020. 1414.

[7] SUN, C. KATO, S.; GOU, Z. **Application of Low-Cost Sensors for Urban Heat Island Assessment: A Case Study in Taiwan**. Sustainability, 11(10), 2019, 2759.

[8] ROMERO, M.; BAPTISTA, G.; LIMA, E.; WERNECK, D.; VIANNA, E.; SALES, G. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília, Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2019 – 1ª edição / Editora ETB pág.79.

[9] DRACH, C.; EMMANUEL, R. **Interferências da forma urbana na dinâmica da temperatura intraurbana**. Revista de Morfologia Urbana, 2(2), 2014 p. 55-70.

[10] LAU, K.; SHI, Y.; NG, E. **Dynamic response of pedestrian thermal comfort under outdoor transient conditions**. International Conference on Urban Comfort and Environmental Quality, 2017.

[11] LIU, Z.; CHENG, K.; HE. Y.; JIM, C.; BROWN, R.; SHI, Y.; LAU, K.; NG, E. **Microclimatic measurements in tropical cities: Systematic review and proposed guidelines**. Building and Environment, 222(1), 2022. 109411.

[12] PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. L. **Environmental data clustering analysis through wearable sensing techniques: New bottom-up process aimed to identify intra-urban granular morphologies from pedestrian transects**. Building and Environment, 171, 2022. 106641.

[13] KIMMLING, M.; HOFFMANN, S. **Behaglichkeitsmonitoring – flächendeckend und kostengünstig mit der Sensorstation CoMoS.** Bauphysik, 41(2), 2019.

[14] ROMERO, M.; LIMA, E.; WERNECK, D.; PAZOS, V. **Instrumentação para medições na escala microclimática: uma proposta de mochila bioclimática**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, 1(26),2020, p. 96-105.

[15] ALI, A.; ZANZINGER, Z.; DEBOSE, D.; STEPHENS, B. **Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection.** Building and Environment, 100, 2016 p. 114-126.

[16] TRENTO, D.; TRENTO, T.; KRÜGER, E. **Application of Arduino-Based Systems as Monitoring Tools in Indoor Comfort Studies: A Bibliometric Analysis**. International Journal of Architectural Engineering Technology. v.7, n.1, 2020, p.1-12.

[17] CHOKHACHIAN, A.; KA-LUN LAU, K.; PERINI, K.; AUER, T. **Sensing transient outdoor comfort: A georeferenced method to monitor and map microclimate.** J. Build. Eng. v. 20, n. 1, 2018. p. 94–104.

[18] NOUMAN, A. S.; CHOKHACHIAN, A.; SANTUCCI, D.; AUER, T. **Prototyping of Environmental Kit for Georeferenced Transient Outdoor Comfort Assessment.** ISPRS Int. J. Geo-Inf. v.8, n.76, 2019, p.1-23.

[19] CUREAU, R.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. **A New Wearable System for Sensing Outdoor Environmental Conditions for Monitoring Hyper-Microclimate**. Sensors, v.22, n.50, 2022.

[20] IHLENFELD, W. **Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para condução de pesquisa de campo dinâmica em conforto ambiental em espaços abertos.** 2024. 197p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2024.

[21] BORGES, V.; CALLEJAS, I.; DURANTE, L. **Thermal sensation in outdoor urban spaces: a study in a Tropical Savannah climate, Brazil**. International Journal of Biometeorology, 64, 2020. p. 533–545.

[22] FANGER, P. O. **Assessment of man's thermal comfort in practice.** British Journal of Industrial Medicine, 30(4), 1973, p. 313-324.

[23] HÖPPE, P. **"The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment".** International Journal of Biometeorology, 43(2), 1999, p. 71–75.

[24] MONTEIRO, L.; ALUCCI, M. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos.** Ambiente Construído, 7(3), 2007, p. 43-58.

[25] FIALA, D.; HAVENITH, G.; BRÖDE, P.; KAMPMANN, B.; JENDRITZKY, G. UTCI-Fiala **Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation.** International Journal of Biometeorology, special issue UTCI, 2011.

[26] ROSSI, F.; KRUGER, E. **Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 41-59.

[27] KRÜGER, E. **Applications of the Universal Thermal Climate Index UTCI in Biometeorology**. Springer, 2021.

[28] KRÜGER, E.; DRACH, P. **Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro.** Ambiente Construído, 16(2), 2016, p. 133-148.

[29] LABAKI et al., 2012) LABAKI, L.; FONTES, M.; BUENO-BARTHOLOMEI, B.; DACANAL, C. **Thermal comfort in public open spaces: studies in pedestrian streets in São Paulo State, Brazil**. Ambiente Construído, 12(1), 2012, p. 167-183.

[30] MONTEIRO, L.; ALUCCI, M**. Modelos Preditivos de Estresse Termo-Fisiológico: estudo empírico comparativo em ambientes externos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Fortaleza. Anais... Fortaleza: Antac, 2008.

[31] KRÜGER, E.; IHLENFELD, W.; LEDER, S.; CARVALHO, L**. Application of microcontroller-based systems in human biometeorology studies: a bibliometric analysis**. International Journal of Biometeorology, 2023.

[32] HLENFELD, W.; KRÜGER, E.; LEDER, S.; QUADROS, B.; LIMA, L. **Prototipação de sistema portátil de monitoramento ambiental de baixo custo para estudos de conforto ambiental em espaços abertos.** XVII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - XIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, São Paulo – SP, 2023.

[33] International Organization for Standardization 7726. **Ergonomics of the thermal environments: instruments for measuring physical quantities**. Geneva, 1998.

[34] International Organization for Standardization 10551**. Ergonomics of the thermal environments: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Geneva, 1995.

[35] International Organization for Standardization 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 criteri**a. Geneva: International Organization for Standardization, 2005.

[36] MATZARAKIS A, RUTZ F, MAYER H. **Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments - Basics of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology, 54, 2010. p. 131-139.