



*Universidade Federal da Paraíba*  
*Centro de Tecnologia*  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL  
DOUTORADO**

**Proposta de método para análise dinâmica de conforto térmico  
em espaços urbanos.**

*Por*

***Lincon de Carvalho Lima***

*Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção  
do grau de Doutor.*



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E**

**AMBIENTAL**

**DOUTORADO**

**Proposta de método para análise dinâmica de conforto térmico  
em espaços urbanos.**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

**Lincon de Carvalho Lima**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Solange Maria Leder**

**Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

L732p Lima, Lincon de Carvalho.

Proposta de método para análise dinâmica de conforto térmico em espaços urbanos / Lincon de Carvalho Lima.

- João Pessoa, 2024.

185 f. : il.

Orientação: Solange Maria Leder.

Coorientação: Eduardo Leite Krüger.

Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Conforto térmico. 2. Espaços urbanos. 3. Mochila bioclimática. I. Leder, Solange Maria. II. Krüger, Eduardo Leite. III. Título.

UFPB/BC

CDU 628.88(043)

**Mestrado e Doutorado**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE DINÂMICA DE CONFORTO TÉRMICO  
EM ESPAÇOS URBANOS**

**LINCCON DE CARVALHO LIMA**

**Tese aprovada em 30 de setembro de 2024.**

**Período Letivo: 2024.2**

Documento assinado digitalmente



**SOLANGE MARIA LEDER**  
Data: 21/02/2025 15:23:11-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof(a). Dr(a). Solange Maria Leder – UFPB**  
**Orientador(a)**

Documento assinado digitalmente



**EDUARDO LEITE KRUGER**  
Data: 29/01/2025 19:48:00-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof(a). Dr(a). Eduardo Leite Krüger – UTFPR**  
**Coorientador(a)**

Documento assinado digitalmente



**LUIZ BUENO DA SILVA**  
Data: 09/01/2025 16:03:10-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

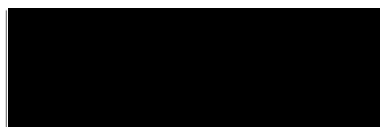
**Prof(a). Dr(a). Luiz Bueno da Silva – UFPB**  
**Examinador(a) Interno(a)**

Documento assinado digitalmente



**VICTOR HUGO RABELO COELHO**  
Data: 30/01/2025 08:10:13-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof(a). Dr(a). Victor Hugo Rabelo Coelho – UFPB**  
**Examinador(a) Externo(a)**



**Prof(a). Dr(a). Lucila Chebel Labaki – UNICAMP**  
**Examinador(a) Externo(a)**

Documento assinado digitalmente



**LOYDE VIEIRA DE ABREU HARBICH**  
Data: 19/12/2024 23:25:08-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**of(a). Dr(a). Loyde Vieira de Abreu Harbich – FAU-Mackenzie**  
**Examinador(a) Externo(a)**

**João Pessoa/PB**  
**2024**



*“O conforto térmico não é um luxo; é uma necessidade para a qualidade de vida nas cidades.”*

*Inspirado em Victor Olgyay - Design with Climate.*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com a dedicação de muitas pessoas que disponibilizaram seu tempo e dividiram conhecimento ao longo de toda a pesquisa.

Primeiramente, sou grato a Deus, por ouvir minhas orações em momentos de dificuldades.

Agradeço à minha família, que sempre apoiou minhas escolhas acadêmicas. Em especial, à minha mãe, Gersa Carvalho, e à minha esposa, Lígia Maria, cujo apoio foi fundamental ao longo dessa trajetória.

Agradeço grandemente à Professora Doutora Solange Leder, por ter orientado este trabalho com todo o carinho e dedicação, e ao Professor Doutor Eduardo Krüger, pela coorientação e pelo conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca avaliadora, Professor Doutor Victor Hugo Rabelo Coelho e Professora Doutora Loyde Vieira de Abreu Harbich, pelas valiosas contribuições à pesquisa. De forma especial, expressei minha gratidão ao Professor Doutor Luiz Bueno da Silva e à Professora Doutora Lucila Chebel Labaki, que têm acompanhado e apoiado meu desenvolvimento acadêmico desde o mestrado até o presente momento.

Aos meus amigos do Labcon-UFPB, alunos de iniciação científica, mestrado, doutorado e professores.

Ao diretor e funcionários do Parque Zoológico Arruda Câmara, pela parceria e disponibilidade do espaço para a realização da pesquisa.

Ao meu colega da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Mestre Walter Ihlenfeld, pela sua competência e dedicação e por dividir sua habilidade de encontrar soluções criativas e inteligentes, algo que contribuiu significativamente para o desenvolvimento do protótipo construído.

Agradeço imensamente aos meus amigos e colegas e demais pessoas que, de alguma forma, participaram da pesquisa e contribuíram para sua realização.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), pela oportunidade de realizar este projeto.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo em forma de bolsa, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro concedido ao projeto de pesquisa “Rede de conforto térmico: desenvolvimento de estação microclimática de baixo custo e padronização de protocolo de coleta de dados”, submetido ao Edital Universal nº 40.8422 de 2021.

## RESUMO

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU, publicado em agosto de 2021, a temperatura média do planeta deverá aumentar em até 1,5°C até 2030. Diante deste novo cenário climático, pesquisadores de todo o mundo vêm intensificando a produção de estudos que investigam o conforto térmico em ambientes urbanos e seus efeitos na saúde e no bem-estar da população. A avaliação da sensação térmica em espaços urbanos é complexa e exige diversas metodologias, como levantamentos de campo e interpretação de modelos matemáticos. Pesquisas sobre conforto térmico variam em métodos, situações analisadas, medições e épocas, dificultando comparações, especialmente devido aos diferentes protocolos de coleta de dados adotados, conforme os objetivos de cada estudo. Buscando reduzir essas dificuldades, esta pesquisa tem o objetivo de propor um método de avaliação do conforto térmico dinâmico por meio de coleta de variáveis microclimáticas, avaliação subjetiva (aplicação de questionários) e índices de conforto térmico UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) e PET (*Physiologically Equivalent Temperature*). O experimento foi conduzido em um parque urbano, que abriga vegetação nativa da Mata Atlântica, localizado na cidade de João Pessoa, no litoral da Paraíba. A fim de diminuir as diferenças entre equipamentos, buscou-se desenvolver e avaliar a aplicabilidade de um protótipo de mochila bioclimática para coleta de variáveis ambientais. O protótipo de mochila bioclimática de baixo custo, nomeado de PLEMS (*Portable Low-Cost Environmental Monitoring System*), desenvolvido e testado, mostrou-se viável para aplicação em estudos de conforto térmico em espaços urbanos. Uma proposta de questionário para avaliação subjetiva também foi desenvolvida. O questionário mostrou-se eficiente em coletar informações biológicas e avaliar a percepção térmica dos entrevistados de forma eficiente. Constatou-se que, ao longo do percurso, os transientes experimentaram variações significativas nas condições térmicas. As sensações térmicas estiveram correlacionadas com as variáveis microclimáticas temperatura do ar e umidade do ar e com os índices UTCI e PET. Ambos os índices superestimaram a sensação térmica declarada, principalmente no período seco. O PET mostrou-se mais sensível às variações microclimáticas, capturando com mais precisão o desconforto em temperaturas mais baixas, enquanto o UTCI apresentou correlações mais fortes com variáveis subjetivas. Ambos apresentaram intervalos de conforto semelhantes, mas o PET esteve mais alinhado à temperatura do ar. Durante o período úmido, aproximadamente 60% dos votos de sensação de conforto estão no intervalo de temperatura do ar de 27 °C a 30 °C, PET de 26 °C a 31 °C e UTCI de 29 °C a 34 °C. No período seco, cerca de 37 % dos votos de sensação de conforto estão concentrados no intervalo de temperatura do ar de 29 °C a 32 °C, PET de 29 °C a 35 °C e UTCI de 33 °C a 38 °C.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto térmico dinâmico, espaços urbanos, mochila bioclimática.

## ABSTRACT

According to the UN's Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report, published in August 2021, the planet's average temperature is expected to rise by 1.5 °C by 2030. Given this new climate scenario, researchers around the world have been stepping up their research into thermal comfort in open urban environments and its effects on the health and well-being of the population. Assessing thermal sensation in open urban spaces is complex and requires various methodologies, such as field surveys and the interpretation of mathematical models. Research on thermal comfort varies in methods, situations analyzed, measurements, and times, making comparisons difficult, especially due to the different data collection protocols adopted according to the objectives of each study. Seeking to reduce these difficulties, this research aims to propose a method for evaluating dynamic thermal comfort by collecting microclimatic variables, subjective evaluation (application of questionnaires), and UTCI (Universal Thermal Climate Index) and PET (Physiologically Equivalent Temperature) thermal comfort indexes. The experiment was conducted in an urban park, which houses native vegetation from the Atlantic Forest, located in the city of João Pessoa, on the coast of Paraíba. In order to reduce the differences between equipment, the aim was to develop and evaluate the applicability of a prototype bioclimatic backpack for collecting environmental variables. The low-cost bioclimatic backpack prototype, called PLEMS (*Portable Low-Cost Environmental Monitoring System*), which was developed and tested, proved to be viable for application in thermal comfort studies in open urban spaces. A proposed questionnaire for subjective evaluation was also desenvolved. The questionnaire proved to be efficient in collecting biological information and assessing the thermal perception of those interviewed. It was found that, along the transect, the transients experienced significant variations in thermal conditions. It was found that, along the transect, thermal sensations were correlated with microclimate variables and with the UTCI and PET indexes. Both indexes overestimated the reported thermal sensation, especially during the dry period. The PET proved to be more sensitive to microclimatic variations, capturing discomfort in lower temperatures more accurately, while the UTCI showed stronger correlations with subjective variables. Both presented similar comfort ranges, but the PET was more closely aligned with air temperature. During the humid period, approximately 60% of the comfort sensation votes fall within the air temperature range of 27 °C to 30 °C, PET from 26 °C to 31 °C, and UTCI from 29 °C to 34 °C. In the dry season, about 37 % of the comfort sensation votes are concentrated within the air temperature range of 29 °C to 32 °C, PET from 29 °C to 35 °C, and UTCI from 33 °C to 38 °C.

**KEYWORDS:** dynamic thermal comfort, urban spaces, bioclimatic backpack.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Organização metodológica.....	63
Figura 2	Fluxograma para construção da revisão sistemática.....	66
Figura 3	Testagem de visibilidade da estrutura do questionário (estudo-piloto).....	78
Figura 4	Croqui do protótipo PLEMS.....	81
Figura 5	Detalhe da estrutura e componentes físicos do PLEMS.....	81
Figura 6	Calibração PLEMS x SENSU.....	83
Figura 7	Mapa de localização da área de estudo.....	85
Figura 8	Mapa do PZAC para orientação dos visitantes.....	86
Figura 9	Delimitação das curvas de nível da área do PZBAC.....	88
Figura 10	Mapa de localização dos pontos no percurso.....	91
Figura 11	Equipamentos de monitoramento microclimáticos (PLEMS, DAVIS, SENSU, HOBO).....	95
Figura 12	Medições microclimáticas e aplicação dos questionários simultaneamente.....	97
Figura 13	Interface do <i>software</i> para inserção de dados.....	98

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Bloco 1 – Caracterização do participante.....	72
Quadro 2	Questões subjetivas para avaliação ambiental.....	74
Quadro 3	Questões de percepção subjetiva em relação ao ponto anterior.....	75
Quadro 4	Hipótese para teste de Kruskal-Wallis.....	111

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Evolução dos estudos de conforto térmico em espaços urbanos de 2010 a 2022.....	67
Gráfico 2	Artigos publicados pelas principais revistas.....	67
Gráfico 3	Artigos publicados por autores.....	68
Gráfico 4	Artigos publicados por país.....	68
Gráfico 5	Artigos publicados por periódicos.....	70
Gráfico 6	Artigos publicados entre 2010 e 2020.....	70
Gráfico 7	Artigos publicados por países entre 2010 e 2022.....	71
Gráfico 8	Votos de sensação térmica (estudo-piloto).....	107
Gráfico 9	Votos de conforto térmico (estudo-piloto).....	107
Gráfico 10	Votos de preferência térmica (estudo-piloto).....	108
Gráfico 11	Percepção térmica entre os pontos (estudo-piloto).....	108
Gráfico 12	Aferição da temperatura do ar entre PLEMS e SENSU.....	109
Gráfico 13	Aferição da umidade relativa do ar entre PLEMS e SENSU.....	110
Gráfico 14	Aferição da umidade relativa do globo entre PLEMS e SENSU.....	110
Gráfico 15	Regressão da temperatura do ar entre PLEMS e SENSU.....	112
Gráfico 16	Regressão da umidade relativa do ar entre PLEMS e SENSU.....	112
Gráfico 17	Regressão da umidade relativa do ar entre PLEMS e SENSU.....	113
Gráfico 18	Monitoramento da temperatura do ar, PLEMS período úmido por ponto.....	122
Gráfico 19	Monitoramento da umidade relativa do ar, PLEMS período úmido por ponto.....	123
Gráfico 20	Monitoramento da temperatura do globo, PLEMS período úmido por ponto.....	124
Gráfico 21	Monitoramento da velocidade do ar, PLEMS período úmido por ponto.....	124
Gráfico 22	Monitoramento da temperatura radiante média, PLEMS período úmido por ponto.....	125
Gráfico 23	Monitoramento da temperatura do ar, PLEMS período seco por ponto.....	126
Gráfico 24	Monitoramento da umidade relativa do ar, PLEMS período seco por ponto.....	127

Gráfico 25	Monitoramento da temperatura do globo, PLEMS período seco por ponto.....	128
Gráfico 26	Monitoramento da velocidade do ar, PLEMS período seco por ponto.....	129
Gráfico 27	Monitoramento da temperatura radiante média, PLEMS período seco por ponto.....	130
Gráfico 28	Avaliação do conforto térmico UTCI período úmido.....	131
Gráfico 29	Avaliação do conforto térmico UTCI período seco.....	132
Gráfico 30	Avaliação do conforto térmico PET período úmido.....	132
Gráfico 31	Avaliação o conforto térmico PET período seco.....	133
Gráfico 32	Votos de sensação térmica período úmido.....	135
Gráfico 33	Votos de conforto térmico período úmido.....	135
Gráfico 34	Votos de preferência térmica período úmido.....	136
Gráfico 35	Votos de sensação térmica período seco.....	138
Gráfico 36	Votos de conforto térmico período seco.....	138
Gráfico 37	Votos de preferência térmica período seco.....	138
Gráfico 38	Percepção térmica entre os pontos período úmido.....	139
Gráfico 39	Percepção térmica entre os pontos período seco.....	140
Gráfico 40	Distribuição dos votos de sensação térmica e Ta°C período úmido.....	147
Gráfico 41	Distribuição dos votos de sensação térmica e Ur% período úmido.....	148
Gráfico 42	Distribuição dos votos de sensação térmica e PET período úmido.....	148
Gráfico 43	Distribuição dos votos de sensação térmica e UTCI período úmido.....	149
Gráfico 44	Distribuição dos votos de sensação térmica e Ta°C período seco.....	150
Gráfico 45	Distribuição dos votos de sensação térmica e Ur% período seco.....	151
Gráfico 46	Distribuição dos votos de sensação térmica e PET período seco.....	151
Gráfico 47	Distribuição dos votos de sensação térmica e UTCI período seco.....	152



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Objetivos e metodologias de coleta de dados utilizadas em estudos de conforto térmico em espaços abertos.....	29
Tabela 2	Zonas climáticas e espaços urbanos nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.....	35
Tabela 3	Instrumentação nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....	38
Tabela 4	Propostas de protótipos tipo mochilas bioclimáticas.....	43
Tabela 5	Procedimentos gerais utilizados nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.....	48
Tabela 6	Métodos estatísticos utilizados nas pesquisas de conforto térmico em espaços abertos.....	52
Tabela 7	Estrutura dos questionários – principais componentes.....	58
Tabela 8	Artigos excluídos da amostra após a triagem.....	69
Tabela 9	Referência e precisão dos sensores utilizado no protótipo PLEMS.	79
Tabela 10	Caracterização dos pontos e percurso.....	91
Tabela 11	Fotografias hemisféricas e FCV.....	92
Tabela 12	Especificações dos sensores de estação <i>Davis Vantage Pro 2</i> .....	93
Tabela 13	Especificações dos sensores do Confortímetro Senu.....	94
Tabela 14	Especificações dos sensores do HOBO – U12.....	94
Tabela 15	Especificações dos sensores microclimáticos do PLEMS.....	95
Tabela 16	Faixas de estresse térmico UTCI.....	99
Tabela 17	Faixas de estresse térmico PET.....	99
Tabela 18	Coeficiente de Validade de Conteúdo, conforme a clareza e a pertinência – avaliação final dos juízes.....	101
Tabela 19	Distribuição dos votos em números absolutos para clareza.....	102
Tabela 20	Distribuição dos votos em números absolutos para pertinência.....	102
Tabela 21	Distribuição dos votos em números absolutos para adequação).....	102
Tabela 22	Distribuição percentual dos votos de clareza.....	103

Tabela 23	Distribuição percentual dos votos para pertinência.....	104
Tabela 24	Distribuição percentual dos votos para adequação.....	104
Tabela 25	Coeficiente de Concordância de Kendall's W para clareza, pertinência e adequação).....	105
Tabela 26	Descrição das variáveis pessoais (estudo-piloto).....	106
Tabela 27	Resultados do teste de Kruskal-Wallis.....	111
Tabela 28	Informações sobre o ensaio de calibração dos Sensores de PLEMS..	113
Tabela 29	Descrição da coleta período úmido e seco.....	115
Tabela 30	Caracterização geral dos participantes.....	116
Tabela 31	Condições atmosféricas durante a coleta no período úmido (INMET).....	117
Tabela 32	Condições atmosféricas durante a coleta no período Seco (INMET).....	118
Tabela 33	Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS período úmido.....	119
Tabela 34	Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS período seco.....	120
Tabela 35	Comparação entre temperatura do ar, sensação térmica, UTCI e PET período úmido.....	142
Tabela 36	Comparação entre temperatura do ar, sensação térmica, UTCI e PET período seco.....	143
Tabela 37	Teste de normalidade para variáveis ambientais.....	143
Tabela 38	Teste de normalidade para variáveis subjetivas.....	144
Tabela 39	Correlações de Spearman entre variáveis subjetivas e microclimáticas e índices de conforto.....	145
Tabela 40	Acúmulo de votos de sensação térmica para todos os pontos, período úmido.....	146
Tabela 41	Acúmulo de votos de sensação térmica para todos os pontos, período seco.....	149

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização da pesquisa.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>25</b>
1.3.1	Objetivo geral.....	25
1.3.2	Objetivos específicos .....	26
1.4	Estrutura da tese.....	26
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos e variáveis nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2</b>	<b>Instrumentação nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>36</b>
2.2.1	Instrumentação no monitoramento dinâmico nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....	42
<b>2.3</b>	<b>Procedimentos gerais nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>45</b>
<b>2.4</b>	<b>Estatística na avaliação do conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>51</b>
<b>2.5</b>	<b>Normas técnicas nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6</b>	<b>Questionários e avaliação subjetiva nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.....</b>	<b>56</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1</b>	<b>Revisão sistemática.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>Construção do questionário para avaliação térmica subjetiva.....</b>	<b>71</b>
3.2.1	Validação do questionário por especialistas.....	75
3.2.2	Validação do questionário por participantes.....	77
<b>3.3</b>	<b>Desenvolvimento e construção do protótipo de mochila bioclimática.....</b>	<b>78</b>
3.3.1	Aferição e calibração dos sensores de Ta, Tg, Ur, Va.....	82
<b>3.4</b>	<b>Aplicação e validação do equipamento móvel e do questionário propostos.....</b>	<b>84</b>
3.4.1	Características da área de estudo.....	84
3.4.2	Definição do percurso e dos portos de medição.....	86

3.4.3	Monitoramento microclimático – Aspectos instrumentais.....	93
3.4.4	Aplicação do questionário de avaliação subjetiva de percepção térmica.....	96
<b>3.5</b>	<b>Tratamento e análises de dados – Procedimentos estatísticos.....</b>	<b>97</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>4.1</b>	<b>Validação dos questionários.....</b>	<b>101</b>
4.1.1	Análise de concordância entre avaliadores.....	101
<b>4.2</b>	<b>Aferição e calibração dos sensores de PLEMS .....</b>	<b>109</b>
<b>4.3</b>	<b>Descrição geral da amostra.....</b>	<b>114</b>
<b>4.4</b>	<b>Descrição das condições atmosféricas nos dias de coleta.....</b>	<b>117</b>
4.4.1	Monitoramento microclimático Davis Vantage Pro 2, Sensu e Hobo U12.....	118
4.4.2	Monitoramento microclimático dinâmico geral PLEMS.....	119
4.4.3	Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS por ponto.....	120
<b>4.5</b>	<b>Avaliação do conforto térmico por meio dos índices UTCI e PET.....</b>	<b>130</b>
<b>4.6</b>	<b>Avaliação da percepção térmica declarada.....</b>	<b>133</b>
4.6.1	Percepção do ambiente térmico entre os pontos.....	139
<b>4.7</b>	<b>Variáveis microclimáticas, sensação térmica e índices de conforto PET e UTCI.....</b>	<b>141</b>
<b>4.8</b>	<b>Correlação entre variáveis subjetivas, microclimáticas e índices de conforto.....</b>	<b>143</b>
<b>4.9</b>	<b>Intervalo de conforto térmico.....</b>	<b>145</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>153</b>
<b>5.1</b>	<b>Limitações da pesquisa.....</b>	<b>155</b>
<b>5.2</b>	<b>Considerações para trabalhos futuros.....</b>	<b>155</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>157</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>183</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades são organismos complexos, resultado das ações humanas para atender suas necessidades de infraestrutura, moradia, indústria, serviços, transporte e lazer (Costa, 2013). As mudanças realizadas no ambiente urbano sem planejamento adequado desencadeiam problemas de diferentes naturezas, dentre elas, os relacionados com o clima urbano (Oke, 1987). O clima urbano é o resultado de todas as interferências que ocorrem sobre a camada do limite urbano e alteram o clima em escala local (Monteiro, 1976, *apud* Monteiro; Mendonça, 2003).

As pesquisas com clima urbano têm início com os estudos realizados por Howard (1833) ao comparar as condições de calor urbano da cidade de Londres com o campo. A partir de então, os efeitos do clima nas cidades passaram a ser observados em cidades de diferentes países (Gartland, 2010).

A regulação da temperatura corporal é um processo comum dos seres vivos e está presente na vida do ser humano desde o seu nascimento, quando tem seu primeiro contato com a temperatura do ambiente externo (Saldiva, 2018). Por ser homeotérmico, o ser humano mantém sua temperatura interna constante, independente do ambiente externo, por meio da produção de calor pela ação do metabolismo energético. Ainda assim, existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio (Lamberts *et al.*, 2014).

O conforto térmico é fator determinante na qualidade de vida das pessoas, principalmente nas grandes cidades, onde os espaços urbanos influenciam na atividade diária dos cidadãos (Sardo *et al.* 2013). O conforto térmico é um estado psicológico de satisfação térmica com o ambiente, onde as trocas de calor entre corpo e ambiente são mínimas, e as taxas de suor e temperatura da pele estão dentro dos limites termorreguladores (Ashare, 2005).

Além das variáveis climáticas, como temperatura do ar e umidade do ar, outros fatores como experiência térmica, também podem influenciar na sensação térmica das pessoas. Exposições frequentes a determinada condição térmica ou tipo de clima podem levar o indivíduo a uma adaptação fisiológica ou psicológica, aumentando ou diminuindo a tolerância a uma determinada condição térmica (Hirashima, 2014). A adaptação fisiológica é decorrente da exposição repetida de um estímulo. Já a psicológica é uma resposta do corpo à influência do ambiente sobre uma determinada condição mutável (Hirashima, 2014).

Populações provenientes de diferentes contextos climáticos e culturais apresentam exigências térmicas distintas com temperaturas neutras e faixas de conforto/estresse térmico que resultam, muitas vezes, de diferentes metodologias (Krüger *et al.*, 2018). As diferenças fisiológicas, psicológicas, juntamente com as experiências térmicas em determinado ambiente

igualmente, dificultam a comparação entre dados de regiões diferentes (Lau *et al.*, 2019). Experiências térmicas tornam ainda mais complexas as comparações entre os estudos que utilizam de modelos adaptativos na predição de conforto.

Além das variáveis climáticas e do histórico térmico das pessoas, outras variáveis, como a vestimenta e a atividade praticada, também são importantes na avaliação do conforto térmico. O isolamento térmico das roupas é dado na unidade “CLO” (*clothing*), sendo  $1 \text{ CLO} = 0,155 \text{ W/m}^2$ . Tabelas que determinam o valor de CLO por meio de índice de resistência térmica podem ser encontradas nas normas ISO 7730/05, ISO 9920/07 e ASHRAE 55/05. Já a atividade física está intrinsecamente relacionada ao metabolismo, sendo calculada na unidade “MET”, onde  $1 \text{ Met} = 58,18 \text{ W/m}^2$  de área de superfície corporal. A taxa metabólica para cada atividade pode ser encontrada na ISO 7730/05 e ISO 8996/90.

Nos últimos dez anos, os estudos de conforto térmico também utilizaram diferentes métodos estatísticos para mensurar a sensação de conforto térmico de pessoas no ambiente urbano, merecendo destaque as correlações entre variáveis subjetivas (sensação térmica) e quantitativas (variáveis climáticas) (Nikolopoulou; Lykoudis, 2006; Labaki *et al.*, 2012; Krüger; Rossi, 2012; Lai *et al.*, 2014) e os modelos de regressão logística (Pezzuto, 2007; Rossi, 2012; Hirashima, 2014). Na maioria das vezes, estas pesquisas utilizam-se de questionários investigativos e índices de conforto para predição da sensação térmica. Os questionários coletam informações biológicas, físicas e subjetivas dos entrevistados. Quase sempre, são orientados por normas internacionais, como a ISO 7730/05; ISO 8996/90; ISO 10551/95; ISO 9920/07 e ASHARE 55/10.

Estudos realizados pelo projeto RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*), mediante questionários investigativos e coleta de variáveis climáticas, resultaram no desenvolvimento do Voto de Sensação Real (ASV – *Actual Sensation Vote*) utilizado como índice para estimar a sensação térmica em países da Europa (Nikolopoulou; Lykoudis, 2006).

Para mensurar o conforto térmico, as pesquisas utilizam frequentemente um índice de conforto térmico (Gagge, 1967; Fanger, 1970; Hoppe, 1999; Nikolopoulou, 2006; Ruiz; Correa, 2015; Pickup; De Dear, 1999), que são ferramentas eficientes para estimar a qualidade térmica dos espaços urbanos e permitem a minimização ou neutralização dos riscos relativos à exposição excessiva ao estresse por calor ou frio (Borges *et al.*, 2020).

O PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied People*) sugeridos por Fanger (1970) são, reconhecidamente, os modelos mais difundidos nos estudos de conforto térmico, tendo sido desenvolvidos para ambientes internos estacionários e passivos de aclimação e são recomendados pelas normas internacionais ISO 7730/2005 e ASHARE

55/2005 para avaliação do conforto em ambientes internos. Por não existirem normas específicas para ambientes abertos, o PMV é frequentemente utilizado nos estudos de conforto térmico em espaços urbanos abertos, devido à sua versatilidade e fácil aplicabilidade (Dacanal *et al.*, 2010, Tsitoura *et al.*, 2014; Lai *et al.*, 2014; Barbosa *et al.*, 2016).

Para ambientes abertos, é recomendado o uso de índices mais específicos, entre eles, destacam-se o PET e UTCI. O índice PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) foi proposto por Höppe e Mayer em 1987 (HÖPPE, 1999) e tem sido amplamente adotado em estudos de conforto térmico em espaços abertos (e.g., Hirashima, 2010; Mahmoud, 2011; Labaki *et al.*, 2012; Ng; Cheng, 2012; Rossi, 2012; Lai *et al.*, 2014; Hirashima *et al.*, 2015; Niu *et al.* 2015; Krüger *et al.*, 2011). O PET é baseado no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*), que modela fisiologicamente as condições térmicas do corpo humano (Monteiro; Alucci, 2007).

O índice UTCI (*Universal thermal comfort index*) também tem sido continuamente utilizado em estudos de conforto térmico em espaços urbanos abertos (Tsitoura *et al.* 2014; Krüger; Drach, 2016; Borges *et al.* 2020). O UTCI foi proposto pela Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), com base no modelo termorregulador multimodal desenvolvido por Fiala *et al.* (2012), 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 (Rossi *et al.*, 2012).

O UTCI é semelhante ao índice PET, no entanto, possui vantagens por ser baseado em um modelo de múltiplos nós, diferente do PET, que se baseia no modelo MEMI de apenas dois nós. Além disso, o UTCI considera as mudanças de isolamento de roupas com as mudanças na temperatura ambiente por meio de critérios fisiológicos integrados (Xue *et al.*, 2020).

A maior parte dos estudos de conforto térmico humano está concentrada na avaliação de ambientes internos, principalmente em estações de trabalho. Nestas condições, as variáveis ambientais são mais controláveis, diferente dos ambientes externos, onde o controle das variáveis ambientais é menor (Gobo; Galvani, 2016).

Gobo e Galvani (2016) realizaram um levantamento sobre os principais métodos e técnicas de campo utilizadas nos estudos de conforto térmico em espaços abertos e concluíram que há grande variedade de procedimentos, instrumentos, normas e equipamentos.

Salata *et al.* (2016), ao realizar um levantamento sobre a temática, observaram que pesquisas ligadas à avaliação do conforto térmico em espaços abertos geralmente apresentam

diferenças: nos métodos de análise, nos números de situações urbanas, número de medições, épocas do ano e horas do dia.

Kantor *et al.* (2012) também ressaltam que as diferenças de instrumentalização e protocolos de coleta de dados realizados em diferentes pesquisas dificultam a harmonização dos dados em uma análise comparativa.

Mesmo diante dos desafios, pesquisadores de diferentes partes do mundo vêm desenvolvendo estratégias para mensurar o conforto térmico em diferentes contextos urbanos e climas (Nikolopoulou; Lykoudis, 2006; Ng; Cheng, 2012; Labaki, *et al.*, 2012; Pentavu, *et al.*, 2013; Tsitoura *et al.*, 2014).

Com o aumento do interesse pela temática, percebe-se uma grande variedade nos protocolos adotados pelos pesquisadores, que, dependendo do objetivo da pesquisa, podem apresentar divergências, dificultando a harmonização e a comparação entre estudos realizados em regiões com climas diferentes (Kantor *et al.*, 2012; Krüger, 2018).

A maioria dos estudos sobre conforto térmico em espaços abertos utilizaram métodos transversais, entretanto, métodos longitudinais podem fornecer informações importantes que não podem ser obtidas por meio de levantamentos transversais convencionais (Cheng *et al.*, 2012). Uma dessas vantagens é a possibilidade de um controle mais preciso do histórico térmico dos indivíduos (Johansson *et al.*, 2014). Além disso, a abordagem dinâmica oferece a vantagem de padronizar a exposição térmica ao longo de um percurso comum, considerar diversos estímulos (por meio da abordagem multimodal do conforto) e identificar zonas de alívio térmico ou *hotspots* nos trechos analisados, bem como características específicas de pontos determinados.

No que se refere à utilização de instrumentação para monitoramento microclimático, os estudos de conforto térmico em espaços abertos utilizaram equipamentos diferentes nas medições *in loco*. Geralmente utilizaram estações meteorológicas portáteis já equipadas de fábrica com sensores de temperatura, umidade do ar, ventilação e radiação (Yin *et al.*, 2011; Qu *et al.*, 2021; Krüger *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2019; Bröde *et al.*, 2011) ou de estações portáteis construídas a partir da associação de termômetros, anemômetros, higrômetro e termômetro globo (Vieira *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2022; Kenawy *et al.*, 2021; Vanos *et al.*, 2012; NIU, *et al.*, 2020). Quase sempre orientados por normas técnicas internacionais, como ISO 7726/1998 e ASHRAE 2001/2005.

Porém, assim como as demais normativas que orientam uso de questionários e índices de conforto, as orientações para instrumentação também são as mesmas utilizadas para



ambientes internos. Por não haver normativas específicas para nortear pesquisas nos ambientes ao ar livre, continuam a ser utilizadas frequentemente.

Gartland (2010) destaca as estações fixas e transectos móveis como metodologias frequentemente utilizadas para monitorar variáveis microclimáticas em ambientes urbanos. O monitoramento das variáveis microclimáticas, baseado em estações meteorológicas estacionárias portáteis fixadas *in loco*, apesar de eficientes no monitoramento microclimático, possuem limitação espacial, pois, ainda em rede, limitam-se a determinados pontos fixos dentro de uma área urbana (TSOKA *et al.*, 2020). Deste modo, os transectos móveis surgem como alternativa para superar as limitações das estações fixas frequentemente utilizadas no monitoramento microclimático de grandes áreas urbanas.

Os transectos móveis podem ser feitos por veículos motorizados (Sun; Kato; Gou, 2019; Romero *et al.*, 2019), bicicleta (Drach; Emanuel, 2014) ou a pé (Lau *et al.*, 2017), acoplados com equipamentos portáteis que possibilitam percorrer uma área urbana pré-determinada. Além de possibilitar a análise sobre o impacto da heterogeneidade morfológica urbana, ao serem integrados com questionários investigativos, os transectos possibilitam identificar variáveis subjetivas sobre conforto térmico (Liu *et al.*, 2022; Pigliautile; Pisello, 2020).

O alto custo das estações fixas é o principal entrave para a ampliação das pesquisas que utilizam variáveis microclimáticas. Uma alternativa promissora são os sensores de baixo custo aliados aos microprocessadores (Kimmling; Hoffmann, 2019; Romero *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2016).

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 (Trento *et al.* 2020). De acordo com Romero (2020), o conceito do protótipo baseia-se na facilidade de uso, personalização, montagem e replicabilidade de um equipamento.

Diante das novas possibilidades de montagem de equipamentos, os protótipos de mochilas bioclimáticas têm despertado atenção de novos pesquisadores (CHOKHACHIAN *et al.*, 2018; Nouman *et al.*, 2019; Romero *et al.*, 2020; Cureau *et al.*, 2022; Ihlenfeld *et al.*, 2023). As mochilas bioclimáticas possuem vantagens sobre as estações fixas, pela possibilidade de agregar vários sensores para monitoramento microclimático e ambiental em um único protótipo; por utilizarem sensores de baixo custo financeiro e por sua capacidade de mobilidade pedonal em diferentes contextos urbanos, diferente do monitoramento dinâmico por meio de

veículos e bicicletas, que pode ter mais dificuldade em acessar determinados setores pedonal da malha urbana.

Ao realizar um levantamento sobre os principais métodos e técnicas de campo utilizadas nos estudos de conforto térmico em espaços abertos, Gobo e Galvani (2016) concluíram que há uma variedade de instrumentos utilizados nas pesquisas de conforto, mas que estas respeitam as normativas reguladora de instrumentos micrometeorológicos, aplicação de questionários e uso de índices de conforto térmico.

Ao longo das últimas duas décadas, os estudos de conforto térmico humano em espaço abertos têm se intensificado, e nos próximos anos devem se intensificar ainda mais, principalmente devido aos desafios trazidos pelas mudanças climáticas. Identificar as populações e os locais que estão sob alto risco de vulnerabilidade ao calor é fundamental para o planejamento urbano e das intervenções de saúde (Cheng *et al.*, 2012).

Deste modo, existe uma necessidade urgente de padronização das técnicas e métodos empregados para melhor orientar pesquisadores sobre como realizar pesquisas de campo em ambientes urbanos, principalmente, no que se refere a estudos realizados por meio de medições dinâmicas.

### 1.1 Contextualização da pesquisa

O clima sempre foi um fator determinante na história de vida dos seres humanos. Fatores como a perda de pelos, produção de melanina, gordura marrom, desenvolvimento de doenças e, muitas vezes, a morte, evidenciam essa relação. Ao longo desse processo, o ser humano desenvolveu inúmeros mecanismos de adaptação as mais diferentes condições climáticas (Saldiva, 2018).

Por ser homeotérmico, o ser humano mantém sua temperatura interna constante, independente do ambiente externo, por meio da produção de calor pela ação do metabolismo energético. Ainda assim, existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente (Lamberts *et al.*, 2014).

O conforto térmico é um fator determinante na qualidade de vida dos cidadãos, principalmente nas grandes cidades, onde os espaços urbanos influenciam na atividade diária das pessoas (Sardo *et al.*, 2013). Estimar o conforto térmico em ambientes urbanos é uma tarefa complexa, pois as variáveis microclimáticas no ambiente externo são menos controláveis que nos ambientes internos (Gobo; Galvani, 2016).

Espaços urbanos com boas condições térmicas incentiva o uso e a permanência das pessoas que utilizam esses espaços para praticar atividades de físicas, lazer, descanso e até mesmo trabalho (Perera *et al.*, 2015). O uso de espaços públicos não é determinado apenas pelo estado do corpo, mas também pelo estado da mente, que é capaz de influenciar a percepção térmica das pessoas (Cheng; Ng, 2012).

Os primeiros estudos sobre conforto térmico utilizaram métodos instrumentais por meio de equações que incorporam parâmetros objetivos. Mais recentemente, os estudos de conforto incluíram o grau de satisfação de usuários em relação as condições climáticas locais (Smith; Henríquez, 2018).

Diferentes áreas do conhecimento avaliam a sensação térmica de usuários em espaços abertos, tornando o problema complexo e sendo necessária a utilização de metodologias diferentes, como: levantamento de campo (dados climáticos e subjetivos), desenvolvimento e validação de modelos matemáticos (Rossi, 2012).

Os equipamentos utilizados no monitoramento de variáveis microclimáticas dos estudos de conforto térmico em espaços urbanos são diversos e diferem de marcas e modelos, geralmente são equipamentos onerosos e nem sempre de fácil aquisição. Isto torna os pesquisadores reféns da disponibilidade de instrumentos disponíveis nos laboratórios de pesquisas. 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 (Trento *et al.*, 2020).

Diante do desafio a ser superado, nos últimos anos, protótipos de mochilas microclimáticas que utilizam sensores de baixo custo vem sendo desenvolvidos por alguns pesquisadores. Apesar de ser um método ainda pouco utilizado, esse tipo de instrumentação tem mostrado resultados positivos em pesquisas de conforto térmico que se utilizam de monitoramento microclimático a partir de percursos a pé.

Pereira (2013) desenvolveu um conjunto de *hardware* e *software* para monitoramento e armazenamento de dados micrometeorológicos durante um percurso. Os resultados mostraram a eficiência do equipamento e do padrão Arduino para a elaboração de protótipos, principalmente por ser livre e aberto. Romero *et al.* (2020) apresentaram e testaram a eficácia de um protótipo o qual nomeou de “mochila bioclimática”. O protótipo mostrou-se viável para a realização de pesquisas de coleta de dados micrometeorológicos em formato dinâmico.

Além de superar o alto custo dos sensores profissionais, as mochilas microclimáticas buscam superar as limitações das estações fixas, que, embora sejam eficazes no monitoramento

microclimático, podem não capturar a diversidade dos padrões espaciais presentes no ambiente urbano.

Estudos de conforto térmico ao ar livre, geralmente utilizam questionários transversais, nos quais muitos indivíduos são entrevistados em diferentes condições ambientais. Embora esse método forneça uma estimativa estatística da sensação térmica média sob condições climáticas estáticas, ele não captura o impacto das mudanças nas condições climáticas ao longo do tempo, limitando a compreensão das adaptações térmicas dinâmicas (Cheng *et al.*, 2012).

Em um experimento longitudinal, as sensações térmicas de um número relativamente pequeno de pessoas em diferentes condições ambientais podem ser acompanhadas e avaliadas com mais precisão. Isso permite uma exploração dos efeitos da mudança das condições climáticas na sensação térmica, podendo fornecer informações que não são possíveis de adquirir por meio da pesquisa transversal convencional (Cheng *et al.*, 2012).

Ao comparar as mudanças dinâmicas da sensação térmica e do conforto dos pedestres entre duas rotas designadas em uma área comercial de alta densidade de Hong Kong, Lau, *et al.* 2017) mostram que há variações significativas nas condições microclimáticas e na sensação térmica e relatada pelos pedestres.

Chokhachian, *et al.* (2018) buscaram avaliar a influência do histórico térmico nas respostas de conforto dinâmico de pedestres utilizando método pedonal dinâmico para coletar variáveis microclimáticas com auxílio de uma mochila microclimática, os resultados mostram variações consideráveis nas sensações térmicas relatadas pelos entrevistados.

Tsin, *et al.* (2022) realizaram medições em microescala para avaliar diferentes fontes de dados utilizadas para mensurar a exposição ao calor na Grande Vancouver, Canadá. Os resultados mostraram que as medições móveis foram tipicamente mais altas e mais variáveis do que as medições simultâneas nos locais fixos.

Nesta perspectiva, este trabalho realizou um experimento de conforto térmico dinâmico utilizando medições microclimáticas *in loco* a partir de um percurso móvel. As variáveis microclimáticas foram registradas por um protótipo de mochila bioclimática, e a avaliação subjetiva foi coletada mediante a aplicação de questionários investigativos em participantes pré-selecionados. A área de estudo selecionada para o experimento foi um parque urbano localizado em uma cidade de clima tropical quente e úmido no nordeste do Brasil.

## 1.2 Motivação

Esta tese está vinculada a um projeto maior aprovado em chamada pública (CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021). O projeto “*Thermal Comfort Network: Development of a low-cost microclimatic station (EMBC) and standardization of data collection protocol* (processo 408422/2021-1), liderado pelo Professor Eduardo Krüger (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), tem como objetivo principal formar um grupo de pesquisadores atuantes em regiões diferentes do Brasil para criar um banco de dados em rede, desenvolver uma estação microclimática de baixo custo para monitoramento térmico do espaço construído e elaborar um protocolo para levantamento de dados relativos à percepção térmica de usuários do espaço urbano.

A partir das parcerias firmadas entre o professor Eduardo Krüger, a professora Lucila Labaki (Universidade Estadual de Campinas) e a professora Solange Leder (Universidade Federal da Paraíba), este projeto subsidiou recursos financeiros para realização de pesquisas em nível de mestrado e doutorado, com a aquisição de sensores e outros componentes utilizados para construir o protótipo de mochila microclimática.

Deste modo, este trabalho de tese foi motivado pela possibilidade de contribuir com a expansão das pesquisas sobre conforto térmico em espaços urbanos nos diversos climas brasileiros, buscando desenvolver uma metodologia padronizada que integre escalas subjetivas de avaliação térmica e medições microclimáticas. A padronização dessa abordagem permitirá a comparação de resultados entre diferentes culturas e climas, facilitando uma compreensão mais profunda dos efeitos fisiológicos e psicológicos na percepção térmica subjetiva. Além disso, os dados coletados localmente fornecerão informações valiosas para planejadores e projetistas urbanos, orientando-os a considerar as condições de conforto térmico do ambiente externo em suas práticas, contribuindo para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e adequadas às necessidades humanas.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de instrumentação e procedimentos a serem adotados nas medições dinâmicas de conforto térmico em ambientes urbanos, bem como apresentar resultados da aplicabilidade dessa metodologia em um estudo de caso em um parque urbano no clima quente e úmido.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão sistemática da literatura para identificar e comparar os principais métodos e procedimentos utilizados na avaliação do conforto térmico humano em espaços abertos.
- Desenvolver, propor e validar um procedimento para coleta de variáveis subjetivas (questionário e outras medidas individuais) a ser adotado em investigações dinâmicas de conforto térmico em espaços abertos.
- Desenvolver, construir e calibrar um protótipo de monitoramento microclimático móvel (mochila bioclimática) de baixo custo para ser utilizado em estudos dinâmicos de conforto térmico em espaços abertos.
- Analisar e testar a aplicabilidade e confiabilidade do método proposto em um estudo dinâmico de conforto térmico em um parque urbano no clima quente e úmido.

### 1.4 Estrutura da tese

Considerando o objetivo principal desta pesquisa, que é propor um método para orientar procedimentos e instrumentação a serem adotados nos estudos dinâmicos de conforto térmico em ambientes urbanos, esta tese compreende as seguintes etapas:

- 1 – Revisão sistemática para identificar as principais estratégias utilizadas para avaliar o conforto térmico em espaços urbanos;
- 2 – Proposta e validação de estrutura dos questionários para avaliação térmica subjetiva em espaços externos;
- 3 – Desenvolvimento e construção do protótipo de um equipamento móvel (mochila bioclimática) de baixo custo;
- 4 – Aplicação do método proposto (equipamento + questionário) em espaços urbanos no clima quente e úmido;
- 5 – Tratamento dos dados, análise dos resultados, discussão e confrontação com pesquisas similares;
- 6 – Conclusões e recomendação para trabalhos futuros.

## 2 REREFENCIAL TEÓRICO

A fim de contribuir com o preenchimento da lacuna referente à necessidade de padronização das técnicas, métodos e equipamentos utilizados para orientar pesquisas dinâmicas de conforto térmico em ambientes urbanos, o objeto de estudo desta revisão bibliográfica tem como foco a instrumentação e procedimentos adotados nas medições de conforto térmico em espaços urbanos.

O referencial teórico desta tese foi construído por meio da realização de revisão sistemática acerca das principais metodologias utilizadas nos estudos de conforto térmico humano em espaços urbanos. Foram realizadas comparações entre estratégias, equipamentos, normas reguladoras, estrutura dos questionários e índices de conforto térmico utilizados. A revisão compreende trabalhos de 2010 a 2024 disponíveis para consulta na base de dados SCOPUS. Destaca-se que foram avaliados apenas trabalhos que utilizam em conjunto métodos quantitativos (monitoramento climático), fisiológicos (processos metabólicos) e subjetivos (sensação térmica).

Considerando que o foco desta revisão bibliográfica consiste em pesquisas sobre conforto térmico em ambientes urbanos, os principais itens do capítulo estão divididos nos seguintes tópicos: objetivos e variáveis; instrumentação; instrumentação no monitoramento dinâmico: estatística; normas técnicas; questionários de avaliação subjetiva e procedimentos gerais.

### 2.1 Objetivos e variáveis nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos

De acordo com Rossi (2012), diferentes áreas do conhecimento avaliam a sensação térmica de usuários em espaços abertos, tornando o problema complexo, sendo necessária a utilização de metodologias diferentes, como levantamento de campo, desenvolvimento e validação de modelos matemáticos. Os trabalhos selecionados nesta revisão utilizaram, como metodologia padrão, a combinação entre métodos quantitativos, fisiológicos e subjetivos. De acordo com os objetivos propostos por cada estudo, as metodologias foram ajustadas ou adicionadas novas técnicas.

Em linhas gerais, os estudos sobre conforto térmico em espaços ao ar livre têm como principal objetivo investigar os fatores que influenciam a percepção térmica das pessoas (Yin *et al.*, 2011). Esses fatores incluem a forma urbana (Liu; Lian; Brown, 2019; Mohamed; Elnabawi; Hamza, 2020; Manavi; Rajasekar, 2022), a presença de vegetação (Gonçalves *et al.*,

2019), as condições microclimáticas (Mi *et al.*, 2020; Niu *et al.*, 2020), fatores adaptativos (Xue *et al.*, 2020; He *et al.*, 2020) e fisiológicos (Tian *et al.*, 2022; Jin; Liu; Kang, 2020).

Para compreender de maneira precisa como essas variáveis afetam a sensação térmica dos usuários de espaços abertos, essas pesquisas empregaram análises estatísticas de correlação e regressão logística entre variáveis subjetivas, quantitativas e índices de conforto térmico (Alijani *et al.*, 2020; Lam; Lau, 2018; Mohammad *et al.*, 2021; Bröde *et al.*, 2011; Rossi, 2013).

Apesar da existência de diversos índices de conforto térmico propostos na literatura, em espaços abertos, têm sido utilizados índices mais específicos para ambientes externos, onde a flutuação das variáveis microclimáticas é maior. Os índices PET e UTCI destacam-se como os mais utilizados nessas pesquisas. Conforme apontado por Fante, Dubreuil e Sant'anna Neto (2017), ainda não há uma metodologia universal aplicável a todos os contextos climáticos e tipos de pesquisa. Isso depende dos objetivos individuais de cada pesquisador.

Mehdi Makvand *et al.* (2021), além do monitoramento microclimático, aplicação de questionários investigativos e uso de índices de conforto, utilizaram-se também de imagens termográficas da superfície edificada e corporal dos entrevistados. Ma *et al.* (2019) acrescentaram simulação utilizando *software* ENVImet para especificar o *stress* térmico sobre a superfície urbana. Leng, Liang e Yuan (2019) acrescentaram fotografias do comportamento dos usuários do espaço urbano. Liu *et al.* (2020) utilizaram termopares para mensurar a carga térmica da pele dos participantes.

A maior parte dos estudos abordados nesta revisão utilizou métodos transversais com grande quantidade de questionários aplicados sem repetições de indivíduos (Qu; Wang; Liu, 2021; Manavvi; Rajasekar, 2022; Tian *et al.*, 2022; Jin; Liu; Kang, 2020; Bröde *et al.*, 2011; Vieira; Silva; Hirashima, 2021), poucos trabalhos utilizaram de métodos longitudinais, realizados em cenários pré-organizados e rotativos (Monteiro; Aluci, 2010; Gonçalves *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020).

A tabela 1 apresenta informações de 56 artigos resultantes do processo de revisão sistemática. Nela, podemos observar e comparar os principais objetivos e métodos utilizados nesses estudos. Obviamente, este não reflete o total da produção científica existente sobre o tema, porém contempla uma amostra representativa capaz de fornecer informações relevantes.



**Tabela 1** – Objetivos e metodologias de coleta de dados utilizadas em estudos de conforto térmico em espaços abertos.

<b>Autores</b>	<b>Títulos</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Variáveis investigadas</b>
Jiao Xue; Xiao Hu; Shu Sani; Yuanyuan Wu; Xinyu Li; Liang Chai; Dayi Lai.	Outdoor Thermal Comfort at a University <i>Campus</i> , Studies from Personal and Long-Term Thermal History Perspectives.	Analisar as influências de uma perspectiva de histórico térmico pessoal a longo prazo.	Monitoramento microclimático e questionários subjetivos.
Kuixing Liu; Ting Nie; Wei Liu; Yiqing Liu; Dayi Lai.	A machine learning approach to predict outdoor thermal comfort using local skin temperatures.	Propor um modelo para predição do conforto térmico para espaços abertos utilizando valores de carga térmica da pele.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Monitoramento da carga térmica da pele.
Saeideh Alijani; Ahmad Pourahmad; Hossein Nejad; Keramatollah Ziari; Sahar Sodoudi.	A new approach of urban livability in Tehran, Thermal comfort as a primitive indicator. Case study, district 22.	Investigar o papel do clima nas condições de habitabilidade do bairro de Teerã através dos índices de conforto climático PET.	Monitoramento microclimático; Questionário de avaliação subjetiva; Aplicação de índice térmico.
Golnoosh Manteghi; Tasneem Mostofa; Hasanuddin Bin Lamit.	A Pilot Test to Analyse the Differences of Pedestrian Thermal Comfort Between Locals and Internationals in Malacca Heritage Site.	Estabelecer uma correlação entre a temperatura equivalente fisiológica (PET) e a sensação térmica subjetiva.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva. Aplicação de índice térmico.
Mehdi Makvandi; Xilin Zhou; Chuancheng Li; Qinli Deng.	A Field Investigation on Adaptive Thermal Comfort in na Urban Environment Considering Individuals' Psychological and Physiological Behaviors in a Cold-Winter of Wuhan.	Compreender o conforto térmico de indivíduos de vários grupos populacionais n no <i>Campus</i> de Wuhan; avaliar os comportamentos adaptativos físicos e psicológicos que afetam o OTC.	Monitoramento microclimático fixo e móvel; Análise da configuração urbana; Questionário de avaliação subjetiva; Imagem infravermelha da superfície corporal dos participantes e superfícies urbanas.
Ji Fu Yin; You Fei Zheng; Rong Jun Wu; Jian Guo Tan; Dian Xiu Ye; Wei Wang.	An analysis of influential factors on outdoor thermal comfort in summer.	Analisar os fatores que influenciam o conforto térmico ao ar livre. Determinar fatores responsáveis pelas variações de respostas subjetivas de conforto térmico.	Monitoramento climático; Questionários de avaliação subjetiva; Relação entre ambiente térmico, avaliação subjetiva e fisiológicas.
Pardeep Kumar; Amit Sharma.	Assessing The Thermal Comfort Conditions in Open Spaces, A Transversal Field Survey on The University <i>Campus</i> in India.	Investigar as condições de conforto térmico em espaços abertos na área do <i>Campus</i> na região árida.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva.
Xuan Ma; Hiroatsu Fukuda; Dian Zhou; Mengying Wang.	A Study of the Pedestrianized Zone for Tourists, Urban Design Effects on Humans' Thermal Comfort in Fo shan City, Southern China.	Comparar as condições térmicas de uma zona pedonal urbana; com base na sensação térmica de turistas.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Simulação com ENVimet.
Sirong Qu; Zhiliang Wang; Weiwei Liu.	Clothing adjustment in outdoor environment, A new clothing model based in temperature change.	Proposta de modelo para o estabelecimento de índice para isolamento de roupa	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Proposta de índice para isolamento de roupa.
E. L. Krüger; F. O. Minella; A. Matzarakis.	Comparison of different methods of estimating the mean radiant temperature in outdoor thermal comfort studies.	Desenvolver um método para estimar o conforto térmico através dos índices PET e UTCI quando a temperatura do globo ou outros dados de radiação não estão disponíveis.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva (dados coletados em área urbana e rural); Comparação entre métodos para estimar Trm.

Xiaoyun He; Le An; Bo Hong; Boze Huang; Xue Cui.	Cross-cultural differences in thermal comfort in <i>Campus</i> open spaces, A longitudinal field survey in China's cold region.	Identificar as diferenças de conforto térmico ao ar livre entre dois grupos étnicos (chineses e paquistanês) com diferentes origens de percepção térmica e adaptação térmica em uma cidade na região fria da China.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva (inverno, primavera e verão). O UTCI foi utilizado como um índice térmico para identificar diferenças entre os grupos étnicos.
Yongxin Xie; Jianlei Niu; Hui Zhang; Sijie Liu; Jianlin Liu; Taiyang Huang; Jianong Li; Cheuk Ming Mak.	Development of a multi-nodal thermal regulation and comfort model for the outdoor environment assessment.	Desenvolver um modelo para a melhor previsão da sensação térmica no ambiente externo.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Modelagem matemática.
Binyi Liu; Zefeng Lian; Robert D. Brown.	Effect of Landscape Microclimates on Thermal Comfort and Physiological Wellbeing.	Investigar os benefícios psicológicos e fisiológicos proporcionados pelos microclimas da paisagem em comparação com os espaços abertos cobertos por pavimento.	Efeito da paisagem microclimática no conforto térmico e na saúde humana; Questionários de avaliação subjetiva e medidas fisiológicas, incluindo temperatura da pele, condutância da pele e variabilidade da frequência cardíaca.
Cho Kwong Charlie Lam; Kevin Ka-Lun Lau.	Effect of long-term acclimatization on summer thermal comfort in outdoor spaces, a comparative study between Melbourne and Hong Kong.	Avaliar o uso do UTCI na predição do conforto térmico ao ar livre em Hong Kong e Melbourne durante o verão.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Diferenças na percepção térmica entre os moradores de duas zonas climáticas distintas. Correlação entre UTCI x TSV x CLO.
Manavvi S; Rajasekar. E.	Evaluating outdoor thermal comfort in urban open spaces in a humid subtropical climate, Chandigarh, India.	Obter uma compreensão abrangente das variações dominantes nos ambientes térmicos e o conforto térmico associado em variados espaços abertos urbanos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Avaliação da tipologia urbana.
Yu Tian; Bo Hong; Zhenqi Zhang; Shuang Wu; Tingting Yuan.	Factors influencing resident and tourist outdoor thermal comfort, A comparative study in China's cold region.	Identificar a influência de fatores físicos; individuais, sociais e psicológicos na percepção térmica de moradores e turistas em espaços abertos em Xian - China.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva.
Hong Jin; Siqi Liu; Jian Kang.	Gender differences in thermal comfort on pedestrian streets in cold and transitional seasons in severe cold regions in China.	Determinar se existem diferenças nos níveis de conforto térmico, fatores influenciadores e auto regulação entre os gêneros.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Aplicação de índice de conforto; Correlação entre sexo e sensação térmica.
Mohammad Haghshenas; Mohammad Hadianpour; Andreas Matzarakis; Mohammadjavad Mahdavinnejad; Mojtaba Ansari.	Improving the suitability of selected thermal indices for predicting outdoor thermal sensation in Tehran.	Aprimorar a aplicabilidade de nove índices térmicos em Teerã para serem usados em sistemas de alerta de calor e saúde.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Escalas modificadas de índices térmico usando três técnicas diferentes; Aplicabilidade de índices de conforto.

Peter Bröde; Eduardo L. Krüger; Francine A. Rossi; Dusan Fiala.	Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil.	Testar as capacidades preditivas do UTCI sobre a avaliação do conforto térmico para região subtropical.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Predição de conforto com índice UTCI.
Thiago José Vieira Silva; Simone Queiroz Silveira Hirashima.	Predicting urban thermal comfort from calibrated UTCI assessment scale - A case study in Belo Horizonte city, southeastern Brazil.	Calibrar as categorias de percepção térmica através índice de conforto térmico UTCI para espaços urbanos de Belo Horizonte/Brasil.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; aplicabilidade de UTCI para regiões subtropicais.
Jiaqi Niu; Bo Hong; Yubo Geng; Jiayi Mi; Jiayang He.	Summertime physiological and thermal responses among activity levels in <i>Campus</i> outdoor spaces in a humid subtropical city.	Investigar a influência de fatores fisiológicos e meteorológicos sobre a sensação de conforto térmico em espaços abertos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva longitudinais e avaliação de parâmetros fisiológicos.
Francine Aidie Rossi; Eduardo Leite Krüger; Inácio Andruski Guimarães.	Modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba, PR.	Analisar a sensação térmica da população de Curitiba/PR e propor um modelo de predição de sensação térmica adequado às condições climáticas locais.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva. Modelagem matemática.
Kahina Labdaoui; Said Mazouz; Sigrid Reiter; Jacques Teller.	Thermal perception in outdoor urban spaces under the Mediterranean climate of Annaba, Algeria.	Explorar as condições de conforto térmico e sensação térmica no clima mediterrâneo quente; verificar a sensação térmica através do índice de conforto PET.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Calibração numérica de ambientes térmicos com diferentes arranjos de vegetação.
Artur Gonçalves; Antônio Castro Ribeiro; Filipe Maia; Luís Nunes; Manuel Feliciano.	Influence of Green Spaces on Outdoors Thermal Comfort—Structured Experiment in a Mediterranean Climate.	Abordar o papel dos espaços verdes na disponibilidade de condições de conforto térmico favoráveis a utilização dos espaços urbanos externos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Rotação em cenários pré organizados.
Marianna Tsitoura; Theocharis Tsoutsos; Tryfon Daras.	Evaluation of comfort conditions in urban open spaces. Application in the island of Crete.	Verificar de que forma as condições microclimáticas afetam o uso de espaços abertos no clima insular mediterrâneo.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Análise da forma urbana.
Fatemeh Sarhadi; Vahid Bigdeli Rad.	The structural model for thermal comfort based on perceptions individuals in open urban spaces.	Avaliar o conforto térmico a partir da percepção de usuários dos espaços urbanos abertos; desenvolver um modelo estrutural para classificar fatores ambientais e climáticos em ordem de significância e impacto.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva. Modelagem matemática.
Dayi Lai; Bingqian Chen; Kuixing Liu.	Quantification of the influence of thermal comfort and life patterns on outdoor space activities.	Investigar os impactos do conforto térmico e dos padrões de vida na intensidade da atividade em espaços urbanos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Observação da atividade.
Faisal Aljawabra, Marialena Nikolopoulou.	Thermal comfort in urban spaces, a cross-cultural study in the hot arid climate.	Investigar o conforto térmico ao ar livre e o efeito das diferenças culturais e sociais em climas quentes e áridos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Comparação entre dois grupos culturais diferentes.

Fei Yao, Haidong Fang, Jiaqin Han, Yingzi Zhang.	Study on the outdoor thermal comfort evaluation of the elderly in the Tibetan plateau.	Investigar as necessidades ambientais térmicas de idosos no clima de planalto.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva do conforto de idosos ao ar livre.
Meng Zhen, Qi Dong Ping Chen, Wei Ding, Dian Zhou, Wei Feng.	Urban outdoor thermal comfort in western China.	Investigar a relação entre conforto térmico ao ar livre e conforto térmico adaptativo considerando características sociais e fisiológicas.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Aplicação de índice de conforto.
Hong Leng, Shuai Liang, Qing Yuan.	Outdoor thermal comfort and adaptive behaviors in the residential public open spaces of winter cities during the marginal season	Examinar como a percepção térmica ao ar livre afeta os comportamentos adaptativos e o uso do espaço em espaços públicos	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Aplicabilidade de índice de conforto; Fotografias e registros observações comportamentais.
Brinda Deevi, Faiz Ahmed Chundeli.	Quantitative outdoor thermal comfort assessment of street, A case in a warm and humid climate of India	Investigar os fatores que influenciam o conforto térmico ao ar livre em uma rua de um cânion urbano.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Simulação computacional.
Wen-Mei Shih, Tzu-Ping Lin, Ning-Xin Tan, Mu-Hsien Liu.	Long-term perceptions of outdoor thermal environments in an elementary school in a hot-humid climate.	Explorar as percepções de longo prazo dos ocupantes de ambientes externos; determinar a relação entre as percepções térmicas de longo prazo dos ocupantes.	Monitoramento microclimático; Questionários investigativos; Simulação computacional para melhorar do conforto térmico.
Jiao Xue, Wei Liu, Kuixing Liu.	Influence of Thermal Environment on Attendance and Adaptive Behaviors in Outdoor Spaces, A Study in a Cold-Climate University Campus.	Investigar parâmetros do ambiente térmico com maior influência na permanência e comportamento de pessoas em ambientes ao ar livre.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Observação do comportamento e permanência de pessoas em diferentes espaços ao ar livre.
Mohamed H. Elnabawi, Neveen Hamza.	Outdoor Thermal Comfort, Coupling Microclimatic Parameters with Subjective Thermal Assessment to Design Urban Performative Spaces.	Propor uma interface integrada entre o microclima, conforto térmico ao ar livre e as diretrizes de projeto.	Monitoramento microclimático; Questionário de avaliação subjetiva; Modelagem de cenários abordando a forma e abertura de dispositivos de sombreamento usando dinâmica computacional de fluidos.
Inji Kenawy, Cho Kwong Charlie Lam, Salman Shooshtarian.	Summer outdoor thermal benchmarks in Melbourne, Applications of different techniques.	Prever o desempenho de vários cenários de sombreamento no conforto térmico urbano através de observações de dados climáticos e resultados subjetivos utilizando ferramentas de modelagem.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Predição de índice de conforto térmico PET. Modelagem matemática.
Jiayi Mi, Bo Hong, Ting Zhang, Boze Huang, Jiaqi Niu.	Outdoor thermal benchmarks and their application to climate-responsive designs of residential open spaces in a cold region of China.	Identificar a relação entre microclima, sensação térmica e comportamento humano em uma comunidade residencial em região fria da China.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Registros de atividades; Desenho experimental da forma urbana.
Hongqiao Qin, Xiaoxue Cheng, Guifeng Han, Yunxin	How thermal conditions affect the spatial-temporal distribution of visitors in	Identificar referências térmicas; incluindo PET neutro; intervalo PET neutro e calibrações PET.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Registros de

Wang, Jianfeng Deng, Yongchuan Yang.	urban parks, A case study in Chongqing, China.	Discutir como o conforto térmico afeta a distribuição de pessoa nos espaços verdes; comparar respostas térmica e uso e distribuição das pessoas no espaço urbano.	atividades; Simulação computacional com Envimet para mapeamento microclimático.
Xiaoyan Ma, Yu Tian, Meng Du, Bo Hong, Borong Lin.	How to design comfortable open spaces for the elderly? Implications of their thermal perceptions in an urban park.	Investigar as distribuições espaciais temporais e percepções térmicas de idosos em um parque urbano em Xian.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Distribuições espaço-temporais de idosos em espaços abertos; Propostas estratégicas de projetos para idosos.
Jennifer K. Vanos, Jon S. Warland, Terry J. Gillespie, Natasha A. Kenny.	Thermal comfort modelling of body temperature and psychological variations of a human exercising in an outdoor environment.	Aplicar uma abordagem aprimorada da temperatura da pele multissegmentada (Tsk) ao modelo COMFA: Avaliar sua precisão na previsão de respostas termorreguladoras.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Dados fisiológicos
Boze Huang, Bo Hong, Yu Tian, Tingting Yuan, Meifang Su.	Outdoor thermal benchmarks and thermal safety for children, A study in China's cold region.	Investigar percepções térmicas de crianças ao ar livre; estabelecer estratégias de projetos bioclimáticos para espaços abertos em parques infantis.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Análise termográfica; Comportamentos adaptativos; Estratégias para projeto bioclimático.
Ting Zhang, Meifang Su, Bo Hong, Chengsheng Wang, Kankan Li.	Interaction of emotional regulation and outdoor thermal perception, A pilot study in a cold region of China.	Explorar a influência de parâmetros meteorológicos e características espaciais nas percepções humanas; investigar os fatores dominantes que afetam a sensação térmica subjetiva dentro de faixas PET.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Avaliação de ados fisiológicos.
Eduardo Leite Krüger, Francine Aidie Rossi Pablyne Sant'Ana Cristeli Henor Artur de Souza.	Calibração do índice de conforto para espaços externos <i>Physiologically Equivalent Temperature</i> (PET) para Curitiba.	Calibrar o índice PET para Curitiba, PR, cidade de clima temperado de altitude (Cfb) por três procedimentos distintos.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Calibração de índices de conforto.
Leonardo Marques Monteiro, Márcia Peinado Alucci.	Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos.	Verificar possíveis meios de adaptação térmica (atividades, vestimentas, aclimatação) para a proposição de ajustes na temperatura equivalente de globo.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva.
Lincon de Carvalho Lima, Solange Maria Leder, Luiz Bueno da Silva, Erivaldo Lopes de Souza.	Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido, estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica.	Avaliar as relações entre variáveis microclimáticas e variáveis qualitativas; encontrar intervalo de conforto térmico com base nas respostas subjetivas; nas variáveis ambientais e nos índices de conforto térmico PMV; PET e SET.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Intervalo de conforto térmico a partir de SET; PET; PMV.
Lucila Chebel Labaki, Maria Solange Gurgel de Castro Fontes, Carolina Lotufo Bueno-Bartholomei, Cristiane Dacanai.	Conforto térmico em espaços públicos de passagem, estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo.	Caracterizar os espaços públicos de passagem e verificar como os aspectos físicos locais interferem no microclima e no conforto térmico de pedestres.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Caracterização de espaços públicos.

Francine Aidie Rossi, Eduardo Leite Krüger, Peter Bröde.	Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI.	Definir faixas de conforto e desconforto térmico para Curitiba.	Monitoramento das variáveis climáticas; Aplicação de questionários de conforto; Cálculo da sensação térmica predita através do índice UTCI.
Eduardo Leite Krüger, Patricia Regina Chaves Drach, Rohinton Emmanuel, Oscar Daniel Corbella.	Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado, o caso de Glasgow, Reino Unido.	Identificar os índices e variáveis climáticas mais relevantes para a sensação térmica real.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Aplicação de índices de conforto Wind Chill; THSW; PMV; PET; ASV; Análise da forma urbana.
Eduardo Leite Krüger, Patricia Regina Chaves Drach.	Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro.	Quantificar a influência da exposição prévia a ambientes condicionados artificialmente na sensação térmica sobre usuários de espaços abertos; definir limites de conforto para os índices PET e UTCI para o Rio de Janeiro.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Análise da relação entre sensação térmica e uso de ar-condicionado; Correlação entre sensação térmica e índices de conforto PET e UTCI.
Cristiane Dacanal Lucila Chebel Labaki Talita Meulman Leite da Silva.	Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos.	Quantificar e descrever o conforto térmico em fragmentos florestais urbanos no clima tropical de altitude; descrever a percepção ambiental dos usuários em relação aos fragmentos florestais urbanos.	Questionários estruturados e observações de campo para a avaliação das condições de conforto térmico e da percepção ambiental dos usuários.
Dongxue Wei; Zefeng Lian; Binyi Liu.	A Field Study of Outdoor Human Thermal Perception in Three Seasons in Shanghai, China.	Examinar a percepção térmica humana ao ar livre em três estações - verão, outono e inverno em duas praças urbanas em Xangai.	Monitoramento microclimático e questionários subjetivos.
Alireza Karimi; Pir Mohammad.	Effect of outdoor thermal comfort condition on visit of tourists in historical urban plazas of Sevilla and Madrid.	Analisar as condições de conforto térmico externo com diferentes microclimas em seis praças urbanas na Espanha.	Monitoramento microclimático; Questionários de avaliação subjetiva; Simulação Envi-met.
Ishak, J. Abdullah, N A Rahman.	Outdoor Thermal Comfort of Urban's Pedestrian in Tropical City of Kuala Lumpur.	Explora o impacto da temperatura do ar no conforto térmico externo do pedestre em espaços sombreados da cidade tropical de Kuala Lumpur.	Monitoramento microclimático; Questionário de avaliação subjetiva.
Dadang Hartabela; Bart Julien Dewancker; Cipta Vidyana.	Relationship of Age, Gender, and Body Proportion to Outdoor Thermal Comfort in Open Space, Case Study: Green Park, Kitakyushu, Japan	Estabelecer uma correlação entre a sensação térmica e aspectos biológicos (idade, peso, IMC).	Questionários de avaliação subjetiva.
Jiayi Lin, Songlin Jiang, Shuangyu Zhang, Siyu Yang, Wenli Ji; Weizhong Li.	Thermal Comfort in Urban Open Green Spaces: A Parametric Optimization Study in China's Cold Region.	Identificar a estrutura de espaço verde mais adequada a partir de uma perspectiva humana.	Monitoramento microclimático; Questionário de avaliação subjetiva.

Tingting Yuan; Bo Hong; Hongyun Qu; Aowei Liu; Yuange Zheng.	Outdoor thermal comfort in urban and rural open spaces: A comparative study in China's cold region	Comparar diferenças de benchmark térmico em residentes urbanos e rurais; explorar fatores de influência dominantes na percepção térmica de residentes urbanos e rurais.	Medições meteorológicas, pesquisa por questionário e registros de atividades dos residentes.
--	--	---	---

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O desenvolvimento de pesquisas sobre conforto térmico em espaços urbanos em diversos países permite a comparação das condições de conforto em diferentes zonas climáticas, proporcionando uma melhor compreensão de fatores como adaptação. Os estudos contemplados nesta revisão sistemática foram realizados em 33 cidades, que abrangem 19 zonas climáticas distintas, conforme a classificação de Köppen e Geiger.

Além das características climáticas, o ambiente urbano onde esses estudos foram conduzidos desempenha um papel crucial na sensação térmica dos usuários desses espaços, pois o microclima urbano pode sofrer influência da configuração urbana, presença de vegetação, impermeabilidade do solo, materiais das construções, entre outros fatores. Os espaços observados nessas pesquisas incluem ruas, praças, parques, *campus* universitários, áreas verdes e outros ambientes urbanos. A tabela 2 apresenta os detalhes desses espaços de acordo com as zonas climáticas.

**Tabela 2** – Zonas climáticas e espaços urbanos nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.

País	Cidade	Classificação Climática (Köppen e Geiger)	Espaço Urbano	Referência
China	Xangai	Subtropical úmido (Cfa)	1 <i>Campus</i> universitário 2 Praças	Xue, <i>et al.</i> 2020; Wei, <i>et al.</i> 2022.
	Lanzhou	Continental úmido (Dwa)	1 Parque urbano	Hartabela <i>et al.</i> 2022.
	Tianjin	Clima semiárido (Bsk)	1 Rua / 1 Parque urbano	Liu, <i>et al.</i> 2020;
	Wuhan	Subtropical úmido (Cfa)	1 <i>Campus</i> universitário	Liu, <i>et al.</i> 2020;
	Nanjing	Subtropical úmido (Cfa)	1 <i>Campus</i> universitário	Lai, <i>et al.</i> 2020;
	Fo shan	Subtropical úmido (Cfa)	7	Makvandi, <i>et al.</i> 2021;
	Hong-Kong	Subtropical úmido (Cwa)	Ruas	Yin, <i>et al.</i> 2011;
	Harbin	Continental úmido (Dwa)	1 <i>Campus</i> universitário /	Ma, <i>et al.</i> 2019;
	Taiwan	Tropical marítimo (Am)	1 Parque urbano /	Lam, <i>et al.</i> 2018;
	Fuxin	Continental úmido (Dwa)	2 Espaços verdes	Xie, <i>et al.</i> 2020;
	Chongqing	Subtropical úmido (Cfa)	3 Praças	Leng, <i>et al.</i> 2019;
	Xian	Continental úmido (Dwa)	7 Espaços abertos	Shih, <i>et al.</i> 2017;
			1 <i>Campus</i> 1 Parque 2 <i>Campus</i> universitários / 1 Conj. Residencial / 2 parques urbano. 3 espaços urbanos e 3 espaços rurais.	Xue, <i>et al.</i> 2021; Qin, <i>et al.</i> 2021; Zhen, <i>et al.</i> 2021; Mi, <i>et al.</i> 2020; Ma, <i>et al.</i> 2021; Huang, <i>et al.</i> 2021; Zhang, <i>et al.</i> 2021. Yuan <i>et al.</i> 2023.
Brasil	Curitiba	Subtropical úmido (Cfb)	10 Ruas / 1 praça	Rossi, <i>et al.</i> 2013;
	Belo Horizonte	Clima tropical altitude (Cwa)	2 Praças	Krüger, <i>et al.</i> 2018; Silva, <i>et al.</i> 2021;
	João Pessoa	Tropical quente e úmido (Am)	1 Parque Zoológico	Lima, <i>et al.</i> 2019;
	Rio de Janeiro	Tropical chuvas de verão (Aw)	7 Ruas	Krüger e Drach, 2016;

	São Paulo	Subtropical úmido (Cfa)	1 <i>Campus</i> universitário / 1 <i>Campus</i> universitário	Monteiro e Aluci,2012; Dacanal <i>et al.</i> 2010. Labaki, <i>et al.</i> 2012;
	Campinas-SP Bauru e Pres. Prudente-SP	Tropical de altitude (Cwb) Tropical de altitude (Cwb) Tropical úmido (Aw)	5 Bosques urbanos 3 Ruas	
Irã	Teraã	Desértico frio (Bwk)	4 Parques urbanos / 5 Ruas	Sarhadi, <i>et al.</i> 2020.
Austrália	Melbourne Sydney	Oceânico temperado (Cfb) Subtropical úmido (Cfa)	1 Parque urbano / 2 jardins botânicos 1 <i>Campus</i> universitário	Lam e Lau, 2018; Xie, <i>et al.</i> 2020.
Índia	Haryana Chandigarh	Semiárido quente (Bhs) Subtropical úmido (Cwa)	1 <i>Campus</i> universitário 1 Praça/ 1 Parque urbano/ 1 Espaços verde/ 1 Orla marítima	Kumar e Sharma, 2021; Manavvi e Rajasekar, 2022.
Portugal	Bragança	Temperado verão seco (Csb)	2 <i>Campus</i> Universitários	Gonçalves, <i>et al.</i> 2019.
Malásia	Malaca Kuala Lumpur	Tropical equatorial (Af) Tropical equatorial (Af)	6 Ruas 2 passarelas urbanas	Manteghi, <i>et al.</i> 2020. Ishak et al. 2023
Marrocos	Marrakech	Semiárido quente (Bsh)	1 Parque urbano	Aljawabra e Nikolopoulou, 2018.
Argélia	Annaba	Mediterrâneo verão quente (Csa)	2 Praças e duas quadras	Labdaoui, <i>et al.</i> 2021.
Egito	Cairo	Árido quente e seco (Bwh)	1 Rua	Elnabawi e Hamza,2020.
Escócia	Glasgow	Oceânico temperado (Cfb)	6 Ruas/ 1 fazenda / 3 Ruas	Krüger, <i>et al.</i> 2013, Krüger, <i>et al.</i> 2012.
Eua	West Lafayette	Subtropical quente e úmido (Cfa)	1 Cenário em área aberta	Liu, <i>et al.</i> 2020.
Grécia	Creta	Mediterrâneo verão quente (Csa)	4 Praças	Tsitoura, <i>et al.</i> 2014.
Canadá	Guelph	Continental úmido (Dfb)	1 <i>Campus</i> universitário	Vanos, <i>et al.</i> 2012.
Japão	Kitakyushu	Subtropical úmido (Cfa)	1 Parque urbano	Hartabela <i>et al.</i> 2022.
Espanha	Sevilha e Madri	Clima mediterrâneo (Csa)	6 praças	Alireza Karimi e Pir Mohammad, 2022.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

## 2.2 Instrumentação nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos

Os estudos de conforto térmico ao ar livre cresceram notoriamente nos últimos 10 anos. No entanto, as metodologias aplicadas nesses estudos foram inicialmente as mesmas utilizadas para ambientes internos e, apesar de serem norteadas por diretrizes e normas internacionais, essas também foram inicialmente desenvolvidas para ambientes internos. Johansson *et al.* (2014) afirmaram que o uso dessas normativas e diretrizes específicas para ambientes internos podem apresentar resultados inconsistentes, já que, no ambiente externo, as variáveis são menos controláveis que em ambientes internos.

Para avaliar o conforto térmico em espaços abertos, os diferentes autores utilizaram, principalmente, a associação entre métodos quantitativos e subjetivos, por isso é necessário grande esforço por parte dos pesquisadores para coleta de dados. Basicamente, esses estudos



utilizaram-se de monitoramento microclimático e aplicação de questionários de avaliação subjetiva *in loco* para a coleta de dados.

Os equipamentos utilizados no monitoramento de variáveis microclimáticas dos estudos de conforto térmico em espaços abertos são diversos e diferem de marcas e modelos. Geralmente, são equipamentos onerosos e nem sempre de fácil aquisição. Isto torna os pesquisadores reféns da disponibilidade de instrumentos disponíveis nos laboratórios de pesquisas.

De modo geral, os trabalhos utilizaram-se de estações meteorológicas portáteis já equipadas de fábrica com sensores de temperatura, umidade do ar, ventilação e radiação (Yin *et al.*, 2011; Qu *et al.*, 2021; Krüger *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2019; Bröde, *et al.*, 2011), ou de estações portáteis construídas a partir da associação de termômetros, anemômetros, higrômetro e termômetro globo (Vieria *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2022; Kenawy *et al.*, 2021; Vanos *et al.*, 2012; Niu *et al.*, 2020). Os trabalhos que exploraram séries históricas utilizaram dados de estações meteorológicas fixas (Sarhadi; Rad, 2020).

Esses equipamentos permitem coletar as variáveis climáticas, temperatura do ar ( $T_a$ ) e de globo ( $T_g$ ), umidade do ar ( $U_r$ ), velocidade ( $V_a$ ), direção do ar ( $D_a$ ) e radiação solar ( $R_s$ ). Além disso, por meio de equações matemáticas, é possível calcular a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ). A  $T_{rm}$  é uma das variáveis mais importantes na avaliação do conforto (Johansson *et al.*, 2014; Gobo; Galvani, 2016). Na maior parte dos estudos, foi calculada por meio da convecção forçada ou natural, de acordo com a norma ISO 7726 (1998). Equipamentos como termopares foram utilizados em estudos longitudinais que buscaram também avaliar a influência da carga térmica da pele ( $T_{sk}$ ) sobre a sensação de conforto (Liu *et al.*, 2020; Xie *et al.*, 2020; Liu; Lian; Brown; 2019; Niu *et al.*, 2020; Vanos *et al.*, 2012).

Embora existam variações dos tipos, quantidades e marcas de sensores utilizados por essas pesquisas, o uso desses equipamentos é orientado por normas técnicas internacionais, como a ISO 7726 (1998) e ASHRAE 55 (2010). No entanto, essas normas também são as mesmas utilizadas para ambientes internos.

Gobo e Galvani (2016) destacaram que, ainda que essas pesquisas respeitem as normativas reguladoras de instrumentos micrometeorológicos, ainda existe a necessidade de padronização das técnicas e métodos empregados para orientar sobre como realizar pesquisas de campo em ambientes ao ar livre.

A tabela 3 resume as informações sobre equipamentos e variáveis microclimáticas utilizadas em 56 estudos de conforto térmico em espaços abertos em diferentes zonas climáticas.

**Tabela 3 – Instrumentação nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.**

<b>Estudo</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Variáveis ambientais</b>	<b>Estudo</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Variáveis ambientais</b>
Xue <i>et al.</i> 2020.	Estação meteorológica móvel acoplada com sensores de Ta e Ur (S-THB M002); Va (S-WSET-A); Tg (S-LIB-M003).	Ta, Tg, Ur, Va, Trm.	Rossi; Krüger; Guimarães, 2013.	Duas estações meteorológicas HOBO (H21-001); piranômetro de silício (S-LIB-M003); anemômetro (S-WCA-M003); termômetro de globo cinza.	Ta, Ur, Va, Rs, Tg, Trm.
Liu <i>et al.</i> 2020.	Estação meteorológica acoplada com sensores de Ta e Ur (S-THB-M002); Tg (S-LIB-M003); Va (WM4); Tsk (termopares TT-K-30-SLE).	Ta, Tg, Ur, Va, Tsk.	Labdaoui; Mazouz; Reiter; Teller, 2021.	Anemômetro, higrômetro, termômetro e limnômetro (LM 8000).	Ta, Ur, Va, Trm.
Alijani <i>et al.</i> 2020.	Termômetro multifuncional (PCE-WB 20SD); Va (Testo410).	Ta, Ur, Va, Tg, Trm.	Gonçalves, et al. 2019.	Estação meteorológica Campbell Scientific; Testo, 175H; Tg (Kipp & Zonen, CM6B); anemômetro (R.M. Young, 05103).	Ta, Ur, Va, Trm, Rg.
Manteghi; Mostofa; Bin Lamit, 2020.	Anemômetro digital (GM816A); Ta (RC-4HC).	Ta; Ur, Va, Tg, Trm.	Tsitoura; Tsoutsos; Daras, 2014.	Estação meteorológica HOBO.	Ta, Va, Ur, Rs.
Makvandi; Zhou; Li; Deng, 2021.	Registrador HOBO; Rs (JTR05), Tg (globo metálico LY-09), Va (TES-1341).	Ta, Ur, Tg, Rs, Va.	Sarhadi; Rad, 2020.	Estação meteorológica local de referência.	Ta, Va, Ur, Rs.
Yin <i>et al.</i> 2011.	Estação Meteorológica fixa NUSIT.	Ta, Va, Rs, Ur, Pa.	Lai; Chen; Liu, 2020.	Duas estações meteorológicas portáteis, com sensores de Ta; Ru (S-THB-M002); Va (S-WSET-A); Tg (SPA150).	Ta, Ur, Tg, Va.
Kumar; Sharma, 2021.	Ta, Ur (HT30 WBGT); Anemômetro digital Meterevi (AVM-01).	Ta, Ur, Va, Tg.	Aljawabra; Nikolopoulou, 2018.	Estojo portátil acoplado com sensores de Ta, Ur, Rs, Va.	Ta, Ur, Rs, Va, Trm.
Ma <i>et al.</i> 2019.	Ta, Ur (Sensor TR72WF); Va (Anemoscópio DS-2).	Ta, Ur, Va, Trm.	Yao, et al. 2022.	Sensor de Ta e Ur (SGP 958); Tg (HQZY-1); Rs (SPN1), Va (FWFZY-1).	Ta, Ur, Rs, Va, Trm.
Qu; Wang; Liu, 2021.	Estação meteorológica portátil Kestrel 4500; termômetro digital (TR102).	Ta, Ur, Va, Tg, Trm	Zhen, et al. 2021.	Estação meteorológica fixa local; Sensores de Ta e Ur (HMP155); Va (EL151ASLIBM003); Tg (SWEM05).	Ta, Ur, Va, Rs.
Krüger <i>et al.</i> 2013.	Duas estações meteorológicas Davis Vantage Pro2; Tg (TGP-4500).	Ta, Ur, Va, Tg, Trm	Leng; Liang; Yuan, 2019.	Testo 435-2; Tg (JTR-05).	Ta, Ur, Rs.
He <i>et al.</i> 2020.	Ta, Ur (HOBO Onset U23-001); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta HD32.2); Rs (Pyranometer TBQ2).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.	Deevi, Chundeli, 2020.	Termovisor Testo 480; Testo 870.	Ta, Ur, Va, Trm.

Xie <i>et al.</i> 2020.	Tsk (Termopar TT-T-30-SLE); Ta (RM 41382); Va (RM YOUNG 81000 Kipp).	Ta, Ur, Va, Rs, Tsk.	Shih, <i>et al.</i> 2017.	Estação meteorológica portátil Centro 314.	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Liu; Lian; Brown; 2019.	Duas estações meteorológicas portáteis Watchdog 2000.	Ta, Ur, Va, Rs, Tsk,	Xue; Liu; Liu, 2021.	Ta, Ur (S500-EXHUATO); Va (GM 8901); Tg (JTR 04).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Lam; Lau, 2018.	Estação meteorológica portátil acoplada com sensor de Ta, Ur (Testo 400); Tg (termopar Teflon Teste Tipo K).	Ta, Ur, Va, Tg.	Elnabawi; Hamza, 2020.	Estação meteorológica local de referência.	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Manavvi; Rajasekar, 2022.	Radiômetro; piranômetro.	Ta, Ur, Va, Tg, Tsk.	Kenawy; Lam; Shooshtarian, 2021.	Ta, Tg (OMEGA 44032); Ur (HyCa IH-3605-B); Va (anemômetro TSI digital).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Tian <i>et al.</i> 2022.	Ta (HOBO Onset U23); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta HD 2107.2); Rg (Piranômetro TBQ-2).	Ta, Ur, Va, Rg, Tg. Trm.	Mi, <i>et al.</i> 2020.	Ta (HOBO Onset U23); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta OHM HD2107.2); Rg (Piranômetro TBQY2).	Ta, Ur, Va, Tg, Trm.
Jin; Liu; Kang, 2020.	Ta, Ur (BES-02), Va (Kestrel 5500); Rs (SM206).	Ta, Ur, Va, Rs, Trm.	Qin, <i>et al.</i> 2021.	Estação meteorológica portátil Kestrel 5500.	Ta, Ur, Va, Da.
Haghshens <i>et al.</i> 2021.	Ta, Tg (TP3275); Ur (P3217R); Va (AP3203)	Ta, Ur, Tg, Va, Trm.	Ma, <i>et al.</i> 2021.	Ta, Ur (HOBO Onset U23), Va (Kestrel 5500); Tg (Delta OHM HD2107.2), Rg (Piranômetro TBQ2).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Bröde <i>et al.</i> 2011.	Duas estações meteorológicas portáteis HOBO.	Ta, Ur, Va, Trm, Rs.	Vanos, <i>et al.</i> 2012.	Estação meteorológica Campbell Scientific.	Ta, Ur, Va, Rs.
Silva; Hirashima, 2021.	Estação meteorológica móvel acoplada com termômetro, higrômetro, anemômetro e termômetro globo.	Ta, Ur, Va, Tg, Trm.	Huang, <i>et al.</i> 2021.	Ta, Ur (HOBO onset U23); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta OHM HD2107.2); Rg (Piranômetro TBQ2).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Niu <i>et al.</i> 2020.	Tg, Ur (HOBO Onset U23); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta OHM HD2017.2); Rg (Piranômetro TBQ-2) Tsk (Button DS1922L).	Ta, Ur, Va, Rs, Tg. Trm. Rg. Tsk	Ting Zhang, <i>et al.</i> 2021.	Ta, Ur (HOBO onset U23); Va (Kestrel 5500), Tg (Delta OHM HD2107.2); Rg (Piranômetro TBQ2).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Krüger <i>et al.</i> 2018.	Duas estações meteorológicas portáteis HOBO.	Ta, Ur, Va, Rs, Trm.	Lima, L. <i>et al.</i> 2019.	Estação meteorológica portátil Davis Vantage Pro2; Tg (TGD- 300).	Ta, Ur, Va, Tg, Trm, Rs.
Labaki <i>et al.</i> 2012.	Estação meteorológica portátil acoplada com termômetro de globo (06131712 Teste); Anemômetro omnidirecional (06351549 Teste); Net radiômetro; Ta, Ur (175-H1 Teste).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.	Monteiro; Aluci, 2012	Ta, Tg (sensores do tipo semicondutor) Va, sensores de velocidade do ar compostos de copo (magnitude) e pá (direção/sentido).	Ta, Ur, Va, Trm.

Krüger <i>et al.</i> 2012.	Estação Davis Vantage Pro2; medidor de temperatura de globo (Tinytag TGP-4500).	Ta, Ur, Va, Trm, Tg, Rs.	Dacanal; Labaki; Silva, 2010.	Estação meteorológica portátil, acoplada com sensor de temperatura (Testo 06131712); Anemômetro (Testo 06351549); Net Radiômetro; Datalogger para registros de temperatura e umidade (Testo 177-H1); Coletor de dados Campbell Scientific (CR1000).	Ta, Ur, Va, Tg, Rs.
Rossi; Krüger; Brode, 2012.	Estação meteorológica Davis Vantage Pro2; Tg (Tinytag TGP-4500).	Ta, Ur, Va, Trm, Tg, Rs.	Krüger; Drach, 2016.	Estação Davis Vantage Pro2, medidor de temperatura de globo (Tinytag TGP-4500).	Ta, Ur, Va, Trm, Tg, Rs.
Wei <i>et al.</i> 2022.	Estação meteorológica móvel watchdog 2000.	Ta, Tg, Ur, Va, Rs Ts.	Hartabela <i>et al.</i> 2022.	---	----
Karimi; Mohammad 2022.	Estação estações meteorológica oficial de Sevilha e Madri. Termômetro de globo e data logger.	Ta, Tg, Ur, Va	Lin <i>et al.</i> 2023.	Ta e Ur (SIGMA AS837); Tg (WGBT-302); Va (SIGMA AR866A).	Ta, Ur, Tg, Va.
Ishak, J. Abdullah, N A Rahman 2023.	2 dispositivos HOBO by Onset UX100-003; data logger; Tg (termopar globo ping pong na cinza) Va (palhetas).	Ta, Tg, Ur, Va	Yuan <i>et al.</i> 2023	Ta (HOBO Onset U23); Va (Kestrel 5500); Tg (Delta HD 2107.2); Rg (Piranômetro TBQ-2).	Ta, Ur, Tg, Va. Trm.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 2.2.1 Instrumentação no monitoramento dinâmico nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos

Os equipamentos adotados nos estudos de conforto em espaços abertos podem variar de acordo com a proposta da pesquisa. De modo geral, esses estudos utilizaram estações meteorológicas portáteis acopladas com sensores de termômetros de bulbo seco, termômetro de globo, psicrômetro, termômetro de bulbo úmido, anemômetro e *datalogger* (Krüger; Drach, 2016; Borges *et al.*, 2019; Jin *et al.*, 2019). A combinação entre esses sensores permite o registro automático das variáveis temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e velocidade do ar.

Embora esses equipamentos possam ser eficazes no monitoramento microclimático, os dados medidos podem não representar a diversidade de padrões espaciais existentes no ambiente urbano, já que, em muitos casos, as estações meteorológicas fixas estão localizadas em pontos específicos dentro do tecido urbano ou próximas a ele.

Outra desvantagem das estações fixas são os altos valores para aquisição desses equipamentos, o que torna as pesquisas dependentes da disponibilidade de equipamentos adquiridos por laboratórios das instituições de ensino superior, por meio de programas de fomento à pesquisa.

Deste modo, na última década, tem ocorrido um esforço de pesquisadores para minimizar os valores monetários dos equipamentos meteorológicos digitais e analógicos, oferecendo melhores condições para o desenvolvimento de trabalhos climatológicos (Fialho; Calestino, 2017).

Para superar as limitações apresentadas por técnicas de medições fixas, estratégias que utilizam medições móveis em veículos (Romero *et al.*, 2019), bicicletas (Drach; Emanuel, 2014) e protótipos de mochilas bioclimáticas (Tsin *et al.*, 2016; Lau *et al.*, 2017; Romero *et al.*, 2020), têm conquistado mais espaço nos últimos anos.

De acordo com Romero (2020), o conceito do protótipo baseia-se na facilidade de uso, personalização, montagem e replicabilidade. As informações devem ser facilmente acessíveis, e o circuito eletrônico deve permitir a substituição de sensores danificados ou customizações futuras com praticidade.

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 (Trento *et al.*, 2020).

Estes dispositivos utilizam *software* de código aberto, com rotinas de programação e linguagens para plataformas de prototipagem *Arduino* e *Raspberry-Pi* baseadas em códigos-fonte e esquemas evolutivos (Nouman *et al.*, 2019).

A ampla gama de sensores de baixo custo para o monitoramento de variáveis ambientais disponíveis no mercado facilita a pesquisa em países em desenvolvimento e em iniciativas de pesquisa de baixo orçamento (Trento *et al.*, 2020).

O avanço dos sistemas de monitoramento ambiental, por meio da utilização de sensores de baixo custo, conectados a microcontroladores, possibilita a personalização dos equipamentos e simplifica a substituição de sensores, já que esses possuem vida útil mais curta (Krüger *et al.*, 2023).

Diante das novas possibilidades de montagem de equipamentos, as mochilas bioclimáticas têm atraído atenção de novos pesquisadores, devido, principalmente, à 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 pedonal da malha urbana.

As primeiras propostas de mochilas para monitoramento dinâmico de variáveis microclimáticas e ambientais adaptaram instrumentos e sensores profissionais em algum tipo de mochila portátil. Tsin *et al.* (2016) organizaram, em uma mochila escolar, a combinação

entre sensor de temperatura *Met One* 064-2 dentro de um escudo contra radiação, uma estação meteorológica portátil *Kestrel* 4500 e um GPS Garmin GPSMAP.

Lau *et al.* (2017) desenvolveram uma estação meteorológica portátil tipo mochila, composta por Sensores Microclimáticos Digitais TESTO480 para medições de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. A temperatura do globo foi medida por um termômetro globo, composto por um fio termopar (TESTO flexível Teflon tipo K) preso no meio de uma bola preta de tênis de mesa de 38 mm.

Camponovo, Gallinelli e Guillot (2018) construíram um medidor de microclima complexo em forma de mochila leve e compacta, chamado “*Le Microclimamètre*”, composto por diversos sensores de temperatura do ar, temperatura radiante, umidade do ar, velocidade do ar, radiação solar, qualidade do ar, ruído, GPS e sistema de registro de dados.

Todas essas propostas de “mochilas” contribuem grandemente com os avanços de instrumentação para os estudos de conforto térmico dinâmico em espaços abertos. No entanto, esses protótipos ainda utilizam equipamentos e sensores de custo financeiro elevado, o que, por vezes, inviabiliza a aquisição dos equipamentos, principalmente em países com baixo financiamento em pesquisas. A revisão realizada por Krüger *et al.* (2021) apontou, no Brasil, regiões deficitárias, nas quais a escassez de recursos para a pesquisa é um fator limitante.

Neste sentido, pesquisas com microcontroladores mostram-se uma alternativa para mitigar a defasagem financeira das pesquisas, possibilitando novos modelos de protótipos e de mochilas bioclimáticas.


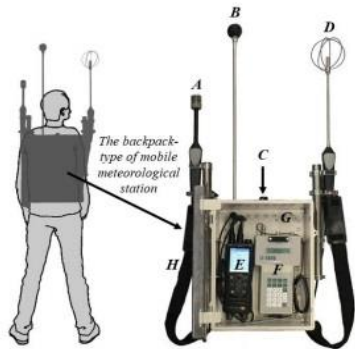
Pereira (2013), em sua tese de doutorado, desenvolveu um conjunto de *hardware* e *software* para a coleta, monitoramento e armazenamento de transectos micrometeorológicos. Os resultados mostraram a eficiência do equipamento e do padrão Arduino para a elaboração de protótipos, principalmente por ser livre e aberto. A construção do protótipo incluiu um conjunto de sensores de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 e GPS protegidos por uma estrutura de PVC para abrigar fios e sensores e uma mochila escolar para guardar a placa conectada aos sensores e fixar a estrutura de PVC, facilitando o transporte e o deslocamento pedonal.

Nouman *et al.* (2019) e Chokhachian *et al.* (2018) construíram e compararam dois protótipos compostos por dispositivos profissionais e sensores de baixo custo, mais tarde anexados a uma mochila para facilitar transporte durante o deslocamento pedonal. O protótipo é derivado de tecnologias de código aberto equipado com os sensores ambientais mais relevantes em termos de custo e desempenho.

Cureau *et al.* (2022) apresentaram um sistema portátil do tipo mochila desenvolvido para monitorar os principais parâmetros relacionados à qualidade do ar, conforto térmico e lumínico, em uma escala microclimática a partir da perspectiva do pedestre. O sistema consiste em um conjunto de sensores conectados a uma unidade de controle acomodada em uma mochila.

No Brasil, Romero *et al.* (2020) desenvolveram um protótipo de mochila micrometeorológica, denominado “Mochila Bioclimática”, composta por sensores de temperatura do ar, umidade do ar e barômetro conectados a uma plataforma de prototipagem eletrônica *Arduino*, protegidos dentro de um quadro de distribuição do tipo VDI (voz, dados e imagem) com alças de mochila adaptadas. Lima *et al.* (2021) aprimoraram o protótipo incluindo novos sensores de ruído, dióxido de carbono e temperatura de globo. Nesta versão do protótipo, os sensores foram fixados dentro da mochila bioclimática feita com chapas de MDF (Fibra de Densidade Média). A tabela 4 apresenta as diferentes organizações de equipamentos e sensores em mochilas.

**Tabela 4** – Propostas de protótipos tipo mochilas bioclimáticas.

Autor	Local	Sensores	Protótipo
Tsin <i>et al.</i> (2016).	Vancouver, Canadá.	Temperatura do ar, Velocidade do ar e GPS.	
Lau <i>et al.</i> (2017).	Hong Kong, China.	Temperatura do ar, Umidade do ar, Velocidade do ar, Radiação solar, Temperatura do globo.	

Campono  
vo *et al.*  
(2018).

Genebra,  
Suíça.

Temperatura do ar,  
Umidade do ar,  
Velocidade do ar,  
Radiação solar,  
Qualidade do ar,  
Ruído, CO2 e GPS.



Pereira  
(2013).

Cuiabá,  
Brasil.

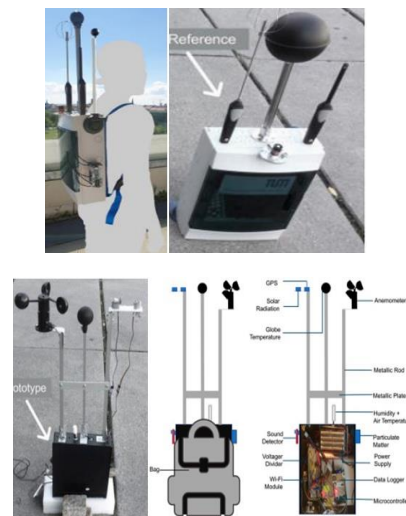
Temperatura do ar,  
Umidade do ar e GPS.



Chokhach  
ian *et al.*  
(2018);  
NOUMA  
N *et al.*  
(2019).

Munique,  
Alemanha.

Temperatura do ar,  
Umidade do ar,  
Velocidade do ar,  
Temperatura do globo,  
Radiação solar e GPS.



Cureau  
*et al.*  
(2022).

Perugia, Itália.

Temperatura do ar,  
Umidade do ar,  
Velocidade do ar,  
Pressão atmosférica,  
Radiação solar,  
Material particulado,  
Iluminação, CO2 e  
GPS.





Romero  
*et al.*  
(2020);  
Lima  
*et al.*  
(2021).

Brasília,  
Campinas,  
Brasil.

Temperatura do ar,  
Umidade do ar,  
Pressão atmosférica;  
Temperatura do globo,  
Ruído e CO<sub>2</sub>.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 2.3 Procedimentos gerais nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.

O conforto térmico é um dos fatores que mais influenciam o uso do espaço urbano. Boas condições térmicas favorecem o uso e a permanência das pessoas, que utilizam esses espaços para praticar atividades física, lazer, descanso, passagem e até mesmo trabalho (Perera *et al.*, 2015).

Ainda assim, o uso de espaços públicos não é determinado apenas pelo estado do corpo, mas também pelo estado da mente, capaz de influenciar a percepção térmica das pessoas (Cheng; Ng, 2012). As pessoas saem para a rua por motivos diversos e apresentam diferentes níveis de escolha do ambiente ao seu redor, o que pode afetar seu nível de conforto térmico (Jin *et al.*, 2019). Diferentes espaços urbanos são explorados nos estudos de conforto térmico em espaços abertos, desde *campus* universitários, praças, parques áreas verdes, conjuntos habitacionais entre outros. Nestes espaços, a quantidade de pontos de monitoramento também varia consideravelmente, dependendo do objetivo a ser alcançado pela pesquisa.

Dependendo do objetivo e local da coleta dos dados, as pesquisas consideraram públicos diferentes em suas amostras. Pesquisas realizadas em *campus* universitário utilizaram-se, principalmente, estudantes (e.g., Xue *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2011; Kumar; Sharma, 2021; HE *et al.*, 2020, Niu *et al.*, 2020).; enquanto que estudos realizados em ruas utilizaram amostras aleatórias de pedestres (e.g., Alijane *et al.*, 2020; Krüger *et al.*, 2013; Jin *et al.*, 2020; Bröde *et al.*, 2011; Silva; Hirashima, 2021; Rossi *et al.*, 2013). Estudos realizados em espaços urbanos de convivência utilizaram de usuários dos espaços urbanos (e.g., Qu *et al.*, 2021; Lai *et al.*, 2020; Aljawabra; Nikolopoulou, 2018; Kenawy *et al.*, 2021; Qin *et al.*, 2021). Outros estudos utilizaram amostras mais específicas, selecionando determinados grupos, como turistas (e.g., Ma *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2022; Manteghi *et al.*, 2020), trabalhadores (e.g., Deevi; Chundeli,

2020; Zhang *et al.*, 2021), idosos (Ma *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2022) e crianças (Huang *et al.*, 2021).

Em relação ao período de realização das coletas, geralmente, os estudos foram realizados em duas estações climáticas diferentes: uma estação mais quente e outra fria (verão e inverno). Vale lembrar que os estudos que contemplam a revisão sistemática desta pesquisa abrangem 17 zonas climáticas distintas. De acordo com Hirashima (2014), exposições frequentes a determinada condição térmica ou tipo de clima podem levar o indivíduo a uma adaptação fisiológica ou psicológica, aumentando ou diminuindo a tolerância a uma determinada condição térmica.

O horário em que as coletas foram realizadas também são diferenciados. A maioria dos estudos foram realizados no período diurno, com poucos estudos que monitoraram no período noturno (Alijani *et al.*, 2020; Makvandi *et al.*, 2021; Yin *et al.*, 2011; Haghshenas *et al.*, 2021; Labdaqui *et al.*, 2021). No período diurno, as medições ocorreram das 08 às 17 horas. Já no período noturno, das 18 às 20 horas.

Para mesurar o conforto térmico, as pesquisas utilizaram frequentemente um índice de conforto térmico. Os índices térmicos fornecem uma ferramenta eficiente para estimar a qualidade térmica dos espaços urbanos e permitem a minimização ou a neutralização dos riscos relativos à exposição excessiva ao estresse por calor ou frio (Borges *et al.*, 2020).

Eles podem ser divididos em três categorias: índices diretos, empíricos e racionais. Índices diretos têm como base medições diretas de variáveis ambientais, os empíricos relacionam a percepção térmica subjetiva com índices de conforto térmico, e os racionais são baseados em equações que consideram o balanço de calor do corpo humano (Epstein; Moran, 2006).

Os índices do tipo racionais e empírico são mais complexos de ser aplicados, uma vez que eles envolvem muitas variáveis e algumas delas requerem medições invasivas, já os índices do tipo direto necessitam apenas de monitoramento de variáveis ambientais (Epstein; Moran, 2006).

Em ambientes abertos, é comum a utilização de índices específicos, como o PET (*Equivalent Physiologically Temperature*), proposto por Hoppe e Mayer (Hoppe, 1999), esse índice que tem sido amplamente adotado em estudos de conforto térmico em espaços abertos. Baseia-se no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*) que modela fisiologicamente as condições térmicas do corpo humano (Krüger *et al.*, 2018).

O índice PET utiliza para cálculo, na predição do conforto térmico, as variáveis temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média. Esse

conjunto de variáveis são as mesmas utilizadas para cálculo de outros índices de conforto, o que facilita análises comparativas (Krüger *et al.*, 2018).

Mais da metade dos estudos apresentados nessa revisão utilizaram o índice PET para mensurar a sensação térmica de usuários do espaço urbano (Kumar; Sharma, 2021; Tian *et al.* 2022; Labdaoui *et al.* 2021; Yao *et al.* 2022; Shih *et al.* 2017). Geralmente, esse índice é correlacionado com um índice empírico de percepção térmica subjetiva, como o TSV (*Thermal Sensation Voto*) (Alijani *et al.* 2020; Manteghi *et al.* 2020; Makvandi *et al.* 2021; Manavvi; Rajasekar, 2022).

No entanto, este não é o único índice utilizado em estudos de conforto térmico em espaços abertos, outros índices como UTCI (*Universal thermal comfort index*) também foram utilizados de forma isolada (Jin *et al.*, 2020; Silva, 2021; Huang *et al.*, 2021), juntamente com o PET (Niu *et al.*, 2020; Xue *et al.*, 2020; Krüger *et al.*, 2013; Haghshenas *et al.*, 2021), ou correlacionado com um índice subjetivo (He *et al.*, 2020; Lam; Lau, 2018).

O UTCI foi proposto pela Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), no ano de 2006, com base no modelo termorregulador multimodal desenvolvido por Fiala *et al.* (2012), este modelo avalia as condições climáticas em ambientes externos por meio das respostas fisiológicas do corpo humano. A vantagem da utilização deste índice está na possibilidade de ser aplicado em diferentes tipos de clima, independente das características pessoais dos indivíduos.

O UTCI é semelhante ao índice PET, no entanto, possui vantagens por ser baseado em um modelo de múltiplos nós, diferente do PET, que se baseia no modelo MEMI, de apenas dois nós. Além disso, o UTCI considera as mudanças de isolamento de roupas com as mudanças na temperatura ambiente por meio de critérios fisiológicos integrados (Xue *et al.* 2020). Outros índices, como OUT-SET, WBGT, PMV, SET e COMFA, apareceram, por exemplo, nos trabalhos de Tsitoura *et al.* (2014) e Vanos *et al.* (2012).

Ao realizar uma revisão com 110 artigos que utilizaram índices para mensurar o conforto térmico ao ar livre, Potcher *et al.* (2018) mostraram que, apesar do grande número de índices de conforto térmico existentes, os mais utilizados nos estudos de conforto térmico ao ar livre são o PMV, PET, UTCI, SET. Esses resultados mostram que índices específicos para ambientes externos, como PET e UTCI, têm se consolidado nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.

Mesmo diante dos resultados encontrados, que mostram uma regularidade entre as informações produzidas, é possível observar que ainda existe carência dessas informações referente ao período e à hora de medição das variáveis climáticas. Em alguns estudos, o mesmo

acontece com o número de indivíduos e participantes da amostra. A carência dessas informações pode dificultar a compreensão das etapas metodológicas, tornando os estudos inconclusivos. Essas diferenças podem ser observadas na Tabela 5.

**Tabela 5** – Procedimentos gerais utilizados nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.

Estudo	Índices de conforto	Período de medições	Nº de pontos	Amostra
Xue <i>et al.</i> 2020.	UTCI; PET.	Maio de 2019 a outubro de 2019. Diurno.	3	Estudantes universitário (n=520)
Liu <i>et al.</i> 2020.	TSV; SMV (Vetores de suporte).	West Lafayette 4 de março a 30 de outubro de 2016; Tianjin 21 de maio a 14 de dezembro 2016.	2	26 convidados
Alijani <i>et al.</i> 2020.	PET	Agosto de 2018. Diurno 10:00:15:0. Noturno 22:00 e 03:00.	9	Pedestre (n=350)
Manteghi; Mostofa; Bin Lamit, 2020.	PET	30 de junho a 5 de julho de 2018. Diurno 10:00 às 17:00.	6	Turistas e moradores (n=200)
Makvandi; Zhou; Li; Deng, 2021.	TSV; TCV; TAV (voto de sensação térmica; voto de conforto térmico/ voto de aceitabilidade térmica); PET.	Diurno e noturno manhã 8:00 às 10:00, tarde 13:00 às 17:00 e à noite 18:00 às 20:00.	25	Pedestres e estudantes (n=536)
Yin <i>et al.</i> 2011.	TSV	A gosto de 2009. Diurno e noturno 6:00 às 20:00.	1	Estudantes universitários (n=205)
Kumar; Sharma, 2021.	PET	Dezembro de 2019. Diurno 9:00 às 17:00.	2	Estudantes universitários (n=185)
Ma <i>et al.</i> 2019.	PET	Julho de 2016. Diurno 9:00 às 17:00.	7	Turistas (n=241)
Qu; Wang; Liu, 2021.	TSV; TCV.	Diurno: 9:00 às 18:00.	6	Pedestres (n=7.876)
Krüger <i>et al.</i> 2013.	PET; UTCI.	Março e julho de 2011. Diurno 10:00 às 13:00.	6	Pedestres (n=763)
He <i>et al.</i> 2020.	UTCI	Janeiro de 2018 e abril e julho de 2019.	5	Estudantes universitários (n=58).
Xie <i>et al.</i> 2020.	TSV; TCV.	Novembro de 2017 a setembro de 2018. Diurno.	2	Estudantes universitários (n=428)
Liu; Lian; Brown, 2019.	TSV; TCV.	Agosto de 2018. Diurno 8:00 às 18:00.	2	Convidados (n=44)
Lam; Lau, 2018.	UTCI	Janeiro e fevereiro de 2014 e julho de 2017. Diurno.	11	Pedestres Melbourne (n=2162) Hong Kong (n=414)
Manavvi; Rajasekar, 2022.	PET	Diurno 9 dias de verão e 11 dias de inverno durante 2017 e 2018.	42	Residentes da cidade (n=2.585)

Tian <i>et al.</i> 2022.	PET	Diurno 9:00 às 17:00.	4	Residentes e turistas (n= 1.772)
Jin; Liu; Kang, 2020.	UTCI	Janeiro, abril, setembro, dezembro de 2017, maio e setembro de 2018.	3	Pedestres (n=1.225)
Haghshenas <i>et al.</i> 2021.	UTCI; PET.	Maio de 2016 a junho de 2017. Diurno/noturno 10:00 às 19:00.	1	Estudantes e pedestres (n=1008)
Bröde <i>et al.</i> 2011.	UTCI	Janeiro e agosto de 2009. Diurno 10:00 às 15:00.	13	Pedestres (n=1.654)
Silva; Hirashima, 2021.	UTCI	Março e julho 2013. Diurno 7:00 e 17:00.	2	Pedestres (n=1.693)
Niu <i>et al.</i> 2020.	UTCI; PET.	Agosto de 2019. Diurno 9:00 às 12:00 e 15:30 às 18:30.	6	Estudantes universitários (n=54)
Rossi; Krüger; Guimarães, 2013.	Calibração de 29 índices de conforto térmico.	Janeiro e agosto 2009/2010. Diurno 10:00 às 15:00.	15	Pedestres (n=1.685)
Labdaoui; Mazouz; Reiter; Teller, 2021.	PET	Agosto de 2017. Diurno e Noturno 8:00 às 20:00.	4	Pedestres (n=1230)
Gonçalves <i>et al.</i> 2019.	TSV	Junho, julho e agosto de 2018. Diurno 09:00 às 17:00.	4	12 estudantes em 4 cenários respondendo 36 questionários (n= 432)
Tsitoura; Tsoutsos; Daras, 2014.	PMV, PET, WBGT, OUT-SET.	Fevereiro e julho de 2009. Diurno 10:00 às 16:00.	21	Pedestres (n= 200)
Sarhadi; Rad, 2020.	Proposta de modelo preditivo para espaço abertos.	Diurno 12:00 e 16:00.	1	Questionários online (n=500)
Lai; Chen; Liu, 2020.	UTCI	Março de 2012 a janeiro de 2013. Diurno 10:00 às 16:00.	6	Usuários de parque urbano (n= 1.452)
Aljawabra; Nikolopoulou, 2018.	TSV	Inverno e verão.	3	Pedestres (n=431)
Yao <i>et al.</i> 2022.	PET	Diurno 09:00 às 17:00 inverno e verão de 2017 à 2019.	4	Idosos (n=468)
Zhen <i>et al.</i> 2021.	PET	Abril a maio de 2019. Diurno.	1	Estudantes, professores e moradores (n=258)
Leng; Liang; Yuan, 2019.	PET	Abril de 2017 Diurno 8:00 às 11:30 e das 13:00 às 18:00.	8	Moradores (n=301)
Deevi; Chundeli, 2020.	PET	Fevereiro de 2019. Diurno 10:00 às 17:00.	6	Trabalhadores (n=94)
Shih <i>et al.</i> 2017.	PET	Janeiro de 2015 a janeiro de 2016 Diurno 8:00 às 16:00.	7	Estudantes do fundamental (n=164)
Xue; Liu;	TSV	Junho a dezembro de 2019 Diurno 8:00 às 18:00.	6	Estudantes, trabalhadores e

Liu, 2021.				pedestres (n=300)
Elnabawi; Hamza, 2020.	TSV; PET.	Junho e julho de 2012. Diurno.	1	Pedestres (n=160)
Kenawy; Lam; Shooshtarian, 2021.	PET	Janeiro e fevereiro de 2012 e 2014 das 9:00 às 17:00, janeiro e fevereiro de 2014 das 10:00 às 15:00, fevereiro de 2015, das 9:00 às 17:00.	7	Pedestres (n=4.717).
Mi <i>et al.</i> 2020.	PET; PPD.	Dezembro de 2018 a julho de 2019. Diurno 9:00 e 17:30.	4	Moradores (n=1146)
Qin <i>et al.</i> 2021.	PET	Agosto de 2019. Diurno 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00.	6	Pedestres (n=389)
Ma <i>et al.</i> 2021.	PET	Janeiro e julho de 2020. Diurno 13:00, 14:00, 15:00.	4	Idosos (n=1.417)
Vanos <i>et al.</i> 2012.	COMFA	Julho de 2009 e setembro de 2009. Diurno 11:00 às 19:00.	1	Convidados (n=12)
Huang <i>et al.</i> 2021.	UTCI	Janeiro e julho 2020. Diurno 9:30 às 17:30.	4	Crianças (n=1.456)
Ting Zhang <i>et al.</i> 2021.	PET	Junho, novembro e dezembro de 2020. Diurno 9:30 às 11:50 e 14:30 às 16:50.	6	Estudantes e trabalhadores (n=516)
Krüger <i>et al.</i> 2018.	PET	Janeiro de 2009 e agosto de 2010. Diurno 10:00 às 15:00	18	Pedestres (n=1.685)
Lima <i>et al.</i> 2019	PET; SET; PMV.	Março, abril, julho e agosto de 2015. Diurno 9:00 às 16:00.	1	Usuários de parque urbano (n=900)
Monteiro; Aluci., 2012.	Modelo preditivo temperatura equivalente de Globo.	Verão e inverno de 2008.	3	451 pedestres (n= 1.750) questionários
Labaki <i>et al.</i> 2012.	PET	Setembro de 2008 e março de 2009. Diurno.	7	Pedestre (n=519)
Dacanal; Labaki; Silva, 2010.	PMV; PET.	Janeiro e agosto 2009. Diurno 8:00 às 18:00.	5	Usuários e funcionários de parque urbano (n=147)
Krüger <i>et al.</i> 2012.	Wind Chill; THSW; PMV; PET.	Verão entre 2012 e 2015. Diurno 10:00 às 15:00.	6	Pedestres (n=736)
Krüger; Drach, 2016.	PET; UTCI.	Períodos de Verão entre 2012 e 2015. Diurno 10:00 às 15:00.	7	Pedestres (n=985)
Rossi; Krüger; Brode, 2012.	UTCI	Janeiro e agosto de 2009. Diurno 10:00 às 15:00.	18	Pedestres (n=1.654)
Wei <i>et al.</i> 2022.	PET.	Julho de 2016; agosto de 2016; Novembro 2016; dezembro de 2016 e janeiro de 2017.	10	Usuários de parque (n=415)
Karimi; Mohammad 2022	TSV; PET.	2010 a 2020 10 anos de medição, 24h.	2	Turistas (n=257)
Ishak, J. Abdullah, N A Rahman 2023.	TSV	2 novembro e dezembro de 2020. Diurno das 07:00 as 18:00.	2	Usuários de parque (n=199)

Hartabela <i>et al.</i> 2022.	TSV	agosto e outubro de 2020; janeiro a maio de 2021.	1	Usuários de parque (n=415)
Lin <i>et al.</i> 2023.	UTCI	Diurno 12:00 as 17:00.	6	Usuários de parque (n=509)
Yuan <i>et al.</i> 2023.	PET	Inverno e verão de 2022	8	Residentes rurais e urbanos (n=1929)

Fonte: Elaboração própria, 2024.

## 2.4 Estatística na avaliação do conforto térmico em ambientes urbanos

De forma geral, os estudos destacados nesta revisão utilizaram análises de correlações e regressões lineares ou múltiplas para investigar a influência de fatores fisiológicos, meteorológicos e índices de conforto sobre a sensação de conforto térmico dos usuários de espaços abertos. As análises de correlação e regressão são técnicas que buscam estimar uma relação que possa existir entre duas variáveis. Os modelos de regressão são capazes de apresentar uma equação matemática que descreve a associação entre duas (regressão linear) ou mais variáveis (regressão múltipla).

As correlações foram realizadas principalmente entre variáveis microclimáticas e votos de sensação térmica (Huang; Ma *et al.* 2021; Liu *et al.*, 2019; Labdaoui *et al.*, 2021) e entre índices de conforto e votos de sensação térmica (Xue *et al.*, 2020; Manteghi *et al.*, 2020; Leng *et al.*, 2019; Elnabawi; Hanza, 2020; Qin *et al.*, 2021; Alijane *et al.*, 2020). Outros estudos ainda realizaram correlações entre variáveis microclimáticas e vestimentas (Qu *et al.*, 2021) e variáveis microclimáticas e temperatura da pele (Liu *et al.* 2019; Vanos *et al.*, 2012).

Os modelos de regressões lineares modelam a relação entre as diversas variáveis de um processo. Já os modelos de regressão logística são utilizados para identificar o grupo ao qual um indivíduo pertence, por isso são amplamente utilizados nos estudos de conforto térmico (Rossi *et al.*, 2013). Deste modo, um modelo de conforto térmico é uma ferramenta útil para avaliar o conforto do microclima em um espaço ao ar livre. No entanto, a maioria dos modelos de conforto térmico ao ar livre foram desenvolvidos para condições estacionárias (Lai *et al.*, 2017).

É possível encontrar, na literatura, diferentes metodologias e equações que auxiliam na avaliação de conforto térmico. Contudo, esses estudos utilizam diferentes técnicas e consideram diferentes variáveis e elementos a partir da intencionalidade da pesquisa (Fante; Dubreuil; Sant'Anna Neto, 2017).

Niu *et al.* (2020) utilizaram modelos de regressão linear entre os índices PET e UTCI com os votos de sensação térmica (TSV), para investigar a influência de fatores fisiológicos e microclimáticos sobre a sensação de conforto térmico em espaços abertos.

Rossi *et al.* (2013) utilizaram modelos de regressão logística para propor um modelo de predição de conforto térmico adequado para o clima local e população de Curitiba – BR. Liu *et al.* (2020), por meio de análises de regressão linear, propõem um modelo de predição do conforto térmico, inserindo valores de carga térmica da pele.

Gonçalves *et al.* (2019) utilizaram de regressões múltiplas para prever a sensação térmica por meio de quatro índices de conforto térmico diferentes: investigando como as condições microclimáticas podem influenciar no uso de determinados espaços públicos. Aljawabra e Nikolopoulou (2018), por meio de análise de regressão, observaram o efeito das variáveis microclimáticas sobre dois grupos culturais diferentes no clima quente e árido.

He *et al.* (2020) também utilizaram regressões lineares entre o voto médio de sensação térmica (MTSV) e UTCI em dois grupos étnicos distintos. Lam e Lau (2018) avaliaram o uso do UTCI na previsão do conforto térmico ao ar livre em Hong Kong e Melbourne durante o verão. As análises de regressão linear correlacionaram o MTSV e diferentes variáveis climáticas. Mesmo com as diferentes aplicabilidades dadas ao uso de correlações e regressões, esses métodos apresentam bons resultados na investigação do comportamento de uma variável dependente em função de uma ou mais variáveis independentes. Por isso, têm se tornado cada vez mais frequentes nos estudos de conforto térmico em espaços abertos. A tabela 6 detalha o processo estatístico utilizado em 56 estudos de conforto térmico em espaços abertos.

**Tabela 6 – Métodos estatísticos utilizados nas pesquisas de conforto térmico em espaços abertos.**

Estudo	Estatística	Estudo	Estatística
Xue, <i>et al.</i> 2020.	Distribuição de votos de conforto; Correlações entre percepções e índices térmicos; Equações de regressão PET e UTCI. Regressão linear entre gênero; idade; residência e índices de conforto.	Rossi; Krüger; Guimarães, 2013.	Função Discriminante Linear; Modelo de Regressão Logístico.
Liu, <i>et al.</i> 2020.	Regressão linear temperatura da pele e sensação térmica; Modelo de predição para desconforto a partir da inserção da carga térmica da pele.	Labdaoui; Mazouz; Reiter, S; Teller, 2021.	Modelagem numérica; Correlação entre índice térmico e variáveis microclimáticas. Distribuição de votos TSV. Influência da cobertura verde nas variáveis climáticas, índices de conforto e uso do espaço.
Alijani, <i>et al.</i> 2020.	Descrição microclimática; cálculo de PET; Correlação entre variáveis microclimáticas e índices de conforto com TSV. Comparação entre PET e Trm.	Gonçalves, <i>et al.</i> 2019.	Análise de regressão logística multinominal.



Manteghi; Mostofa; Bin Lamit, 2020.	Correlação entre variáveis microclimáticas e índices de conforto com TSV; Diferenças entre turistas e moradores locais; Regressão linear múltipla entre PET e Cenários urbanos.	Tsitoura; Tsoutsos; Daras, 2014.	Regressão linear; Correlação entre variáveis microclimáticas, índices de conforto e TSV; Análise da forma urbana.
Makvandi; Zhou; Li; Deng, 2021.	Regressão logística entre votos de percepção subjetiva e índices térmicos.	Sarhadi; Rad, 2020.	Modelagem entre variáveis dependentes e independentes; modelagem de equações estruturais e mínimos quadrados parciais.
Yin, <i>et al.</i> 2011.	Regressão múltipla e simples entre conforto térmico e variáveis microclimáticas; Análise fatorial de variâncias.	Lai; Chen; Liu, 2020.	Modelo de influência mista para prever a taxa de utilização horária do parque; Correlação entre sensação térmica média diária e taxa de uso para atividade intensa e de baixa intensidade.
Kumar; Sharma, 2021.	Regressão logística entre as sensações térmicas e variáveis microclimáticas.	Aljawabra; Nikolopoulou, 2018.	Análise de correlação e regressão ordinal; diferenças entre as variáveis ambientais para dois grupos culturais.
Ma, <i>et al.</i> 2019.	Correlação entre votos de sensação térmica e índices de conforto; Regressão entre variáveis microclimáticas; Simulação computacional.	Yao, <i>et al.</i> 2022.	Modelo de regressão entre variáveis microclimáticas, sensação térmica e índice de conforto; Regressão logística para analisar a sensibilidade térmica dos idosos.
Qu; Wang; Liu, 2021.	Correlação entre variáveis microclimáticas e vestimenta. Regressão entre sensação térmica, conforto térmico e isolamento da roupa.	Zhen, <i>et al.</i> 2021.	Regressão entre sensação térmica, variáveis microclimáticas, dados fisiológicos e índice de conforto.
Krüger, <i>et al.</i> 2013.	Comparação entre métodos diferentes para estimar a Trm; Efeito dos diferentes cálculos de Trm na predição de conforto térmico utilizando índices de confronto.	Leng; Liang; Yuan, 2019.	Distribuições tempo espaciais dos usuários nos locais de estudo; Correlação entre sensação térmica e índice de conforto e atividade.
He, <i>et al.</i> 2020.	Correlações e Regressões lineares entre votos de sensação térmica e índice de conforto entre dois grupos distintos. Calibração de índice de conforto.	Deevi; Chundeli, 2020.	Correlação entre índices de conforto, sensação térmica e fator de visão do céu.
Xie, <i>et al.</i> 2020.	Modelo de regulação térmica multimodal comparando predições de temperatura da pele, voto de sensação térmica e conforto térmico.	Shih, <i>et al.</i> 2017.	Distribuição de votos de sensação térmica e índice de conforto; simulação computacional da forma urbana.
Liu; Lian; Brown, 2019.	Correlação entre sensação térmica variáveis microclimáticas e temperatura da pele.	Xue; Liu; Liu, 2021.	Correlação linear e múltiplas; associação entre parâmetros comportamentais, ambientais e uso do espaço urbano.
Lam; Lau, 2018.	Regressão linear entre voto médio de sensação térmica, variáveis microclimáticas e índices de conforto; regressão polinomial para isolamento da roupa; teste t entre sensação térmica e vestimenta.	Elnabawi; Hamza, 2020.	Modelo de regressão logística ordinal; Correlação sensação térmica, índice de conforto e variáveis microclimáticas; Simulação computacional através de Dinâmica de Flúidos Computacional.
Manavvi; Rajasekar, 2022.	Regressão múltipla entre sensação térmica e variáveis microclimáticas; Correlação entre respostas térmicas e índice de conforto.	Kenawy; Lam; Shooshtarian; 2021.	Regressão linear entre sensação térmica, índice de conforto e variáveis microclimáticas.

Tian, <i>et al.</i> 2022.	Predição de índice de conforto; Regressão logística ordinal; Efeitos das de variáveis preditivas e variáveis de resposta. Validação de modelo.	Mi, <i>et al.</i> 2020.	Análise de variância para variáveis meteorológicas; distribuição de uso do espaço; regressão para sensação térmica e variáveis microclimáticas; Calibrações de índice de conforto.
Jin; Liu; Kang, 2020.	Regressão linear entre sensação térmica, índice de conforto e fatores fisiológicos.	Qin, <i>et al.</i> 2021.	Calibração de índice térmico; Correlação sensação térmica e índice de conforto. Simulação computacional utilizando Enivmet.
Haghshenas, <i>et al.</i> 2021.	Regressão linear e polinomial; Análise Probit; Regressão Logística; Análise discriminante.	Ma, <i>et al.</i> 2021.	Correlação entre sensação e conforto térmico; variáveis microclimáticas, vestimenta e taxa metabólica.
Bröde, <i>et al.</i> 2011.	Predição de conforto; Votos de sensação térmica e índice de conforto; Correlações entre variáveis subjetivas e microclimáticas.	Vanos, <i>et al.</i> 2012.	Correlação temperatura da pele, sensação térmica e índice de conforto.
Silva; Hirashima, 2021.	Regressão Logística Ordinal, predição através de índice de conforto. Calibração de índice térmico.	Huang, <i>et al.</i> 2021.	Correlação entre sensação térmica e variáveis microclimáticas; correlação entre sensação térmica e índice de conforto.
Niu, <i>et al.</i> 2020.	Regressão linear entre sensação térmica, atividade, temperatura da pele e índices de conforto.	Ting Zhang, <i>et al.</i> 2021.	Regressão linear e múltipla; Análise de correlação de parâmetros meteorológicos e características do espaço; Correlação entre sensação térmica e índice de conforto.
Rossi; Krüger; Guimarães, 2013.	Modelo Regressão linear para agrupamento de categorias; calibração de índice de conforto.	Lima, <i>et al.</i> 2019.	Correlação entre variáveis microclimáticas, variáveis subjetivas e índices de conforto; Modelo de regressão logística ordinal entre sensação térmica e variáveis microclimáticas.
Labdaoui; Mazouz; Reiter; Teller, 2021.	Descrição do microclima local; Cálculo de limites de conforto através do índice térmico; comparação entre conforto real e calculado.	Monteiro; Aluci, 2012.	Modelo preditivo de sensação térmica baseado em regressão probit; correlações entre sensação térmica e variáveis microclimáticas.
Gonçalves, <i>et al.</i> 2019.	Regressão linear entre dados fisiológicos, sensação térmica e variáveis microclimáticas; Correlação entre sensação térmica e índices de conforto calculados.	Rossi; Krüger; Brode, 2012	Dispersão em função da temperatura do ar e da diferença entre temperatura radiante média e da temperatura do ar, Predição e ajuste de faixas de UTCI.
Wei <i>et al.</i> 2022.	Distribuição de votos de conforto; Correlações e regressões múltiplas entre percepções; fatores pessoais, variáveis microclimáticas e PET.	Hartabela <i>et al</i> 2022.	Correlação entre sensação térmica e aspectos físicos (idade, sexo, peso, altura, IMC); índices de conforto com TSV.
Karimi; Mohammad 2022..	Descrição microclimática; Calculo de PET; Simulação computacional, distribuição de TSV; correlações entre TSV e parâmetros das praças.	Lin <i>et al.</i> 2023.	modelagem paramétrica; calcou de UTCI; Simulação computacional.
Ishak, J. Abdullah, N A Rahman 2023.	Descrição microclimática; relação entre conforto e sombreamento.	Yuan <i>et al.</i> 2023.	Regressão múltipla e simples entre conforto térmico e variáveis microclimática e UTCI e fatores físicos. modelo matemático entre a sensação térmica e os fatores ambientais.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

## 2.5 Normas técnicas nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos

De acordo com Gobo e Galvani (2016), existe uma série de normas internacionais, orientações e manuais relacionados com medidas de variáveis meteorológicas, questionários e cálculo de índices de conforto térmico.

Embora essas normas reguladoras tenham sido criadas para orientar estudos de conforto térmico em espaços internos, por não haver normativas específicas para os ambientes ao ar livre, essas mesmas normativas são utilizadas para orientar os estudos de conforto térmico em espaços urbanos.

As principais normas utilizadas nos estudos de conforto térmico em espaços aberto são:

ISO 7730/2005 – *Ergonomics of the thermal environment* – Utiliza um modelo matemático para calcular o PMV e tabelas com valores preditos que permitem calcular o PMV a partir de combinações de diferentes variáveis. O PPD pode ser calculado a partir dos resultados obtidos do PMV.

ISO 8996/1990 – *Ergonomics of the thermal environment* – Fornece três métodos para medir a taxa metabólica. O primeiro é estimado por meio do registro de atividade; o segundo, da taxa de batimentos cardíacos durante a atividade desenvolvida, e o terceiro utiliza o consumo de oxigênio e produção de gás carbônico.

ISO 7726/1998, *Ergonomics of the thermal environments – instruments for measuring physical quantities*. Dispõe de orientações e especificações para uso de equipamento e medições de parâmetros físicos para diferentes tipos de ambientes

ISO 9920/2007 – *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. Fornece um conjunto de métodos para estimar as características térmicas da vestimenta, bem como sua resistência à troca de calor e resistência por evaporação.

ISO 10551/1995 – *Ergonomics of the Thermal Environment – Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales*. Sugere uma escala de cinco pontos para descrever percepção térmica, conforto térmico, preferência térmica, aceitação pessoal e tolerância pessoal.

ASHRAE 55/2010 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* – especifica condições térmicas aceitáveis para espaço fechados, apresenta três métodos para avaliação do conforto, Método gráfico, método analítico e método de avaliação para ambientes ventilados naturalmente. Essa é uma das normas mais completa para avaliação no conforto térmico, no entanto foi proposta para condições estacionárias.

## 2.6 Questionários e avaliação subjetiva nas pesquisas de conforto térmico em ambientes urbanos.

Os questionários, nos estudos de conforto térmico, são utilizados para coletar informações biológicas, fisiológicas e subjetivas dos entrevistados. Na maioria dos casos, são orientados por normas internacionais, como a ISO 7730 (2005), ISO 8996 (1990), ISO 10551 (1995) e ASHARE 55 (2010) ou suas versões atualizadas.

Dos 50 estudos analisados por essa revisão, 43 utilizavam método transversal, e apenas 7 estudos utilizavam método longitudinal. No método transversal, grande número de pessoas são entrevistadas em diferentes condições ambientais. As respostas obtidas fornecem uma estimativa estatística da sensação térmica dos indivíduos (Ng; Cheng, 2012). Essa metodologia tem grande contribuição dos estudos realizados pelo projeto RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*), que, mediante questionários investigativos e coleta de variáveis climáticas, desenvolveram o Voto de Sensação Real (ASV-*Actual Sensation Vote*) utilizado como índice subjetivo para estimar a sensação térmica em cidades da Europa (Nikolopoulou; Lykoudis, 2006).

Poucos estudos foram do tipo longitudinal (Liu *et al.*, 2020; He *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2019; Niu *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2019; Vanos *et al.*, 2012). Embora esse método utilize menor número de participantes, pode fornecer informações importantes que o levantamento transversal convencional não consegue oferecer (Cheng *et al.*, 2012). Uma dessas vantagens é um melhor controle do histórico térmico dos indivíduos (Johansson *et al.*, 2014).

Foram encontradas grandes variações nas estruturas dos questionários destacados nesta revisão. Informações pessoais, biológicas e fisiológicas (data, hora, sexo, idade, vestuário e atividade) estavam presentes na maior parte dos estudos. Dos 50 trabalhos analisados, 24 incluíram informações sobre peso e altura. Outras informações, sobre alimentação (MANTEGHI *et al.*, 2020), comorbidade (YIN *et al.*, 2011) escolaridade (TIAN *et al.*, 2022; ZHEN *et al.*, 2021; LENG *et al.*, 2019) e ocupação (LAI *et al.*, 2020), também foram adicionadas por alguns autores.

Praticamente todos os artigos apresentavam informações sobre aclimação, principalmente tempo de residência na cidade e tempo de permanência no local da pesquisa, apenas dois não deixaram clara essa informação. Em sete estudos, foi respeitado um tempo de aclimação inicial do entrevistado, que variou de 1 minuto até 20 minutos (Kumar; Sharma, 2021; LIU *et al.*, 2019; Haghshenas *et al.*, 2021; Silva; Hirashima, 2021; Niu *et al.*, 2020; Yao *et al.*, 2022; Vanos *et al.*, 2012). Em cinco estudos, foi considerada a última atividade realizada

nos últimos 20 minutos pelo participante (Elnabawi; Hamza, 2020; Mi *et al.*, 2020; Qin *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2021; Zhang *et al.* 2021).

Nos espaços urbanos, muitas atividades são realizadas, seja passagem por ruas, lazer em parques e praças, atividades físicas, trabalho e até mesmo descanso. Por isso, a observação da atividade realizada pelo usuário do espaço urbano é muito importante na avaliação do conforto térmico. A intensidade da atividade física pode interferir na sensação, conforto e preferência térmica sentida pelo indivíduo, e caracterizar o tipo de atividade realizada pode diminuir o viés generalista da amostra.

Nos estudos de conforto térmico, a taxa metabólica referente à atividade e ao isolamento de vestimentas é apresentada, basicamente, nas unidades MET, CLO ou W/m<sup>2</sup>, quase sempre orientada pelas normas ISO 10551 (1995), ISO 7730 (2005) ou ASHRAE 55 (2010). A taxa metabólica é uma variável necessária para o cálculo de índices de conforto térmico, como o PET. Diferente do UTCI, que utiliza critérios fisiológicos integrados em seu modelo, o PET necessita da inserção dessas variáveis manualmente. Ainda assim, estes vêm sendo os principais índices utilizados nos estudos de conforto mais atuais.

Nos estudos de conforto térmico, os parâmetros subjetivos correspondem principalmente aos votos de sensação, conforto e preferência térmica. Geralmente, esses votos são coletados simultaneamente com o monitoramento microclimático, por meio de perguntas com valores em escalas estruturadas, presentes nas normas ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2010) (Grandi, 2006).

Todos os artigos analisados nesta revisão apresentaram, ao menos, uma questão subjetiva: a sensação térmica foi a principal; outras, como preferência térmica, aceitabilidade térmica e conforto térmico, também foram utilizadas. Em relação à escala utilizada para estimar a sensação térmica, a maior parte dos estudos utilizou escala de 7 pontos. Neste tipo de escala, os valores vão de -3 a +3, com o valor 0 como sensação neutra, orientados pelas normas ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2010).

Apesar de haver uma dominância das escalas de sensação térmica com 7 pontos, há, em alguns estudos, falta de consenso e definição entre o uso da sensação térmica com a percepção térmica, dificultando a interpretação das escalas utilizadas durante as análises. Poucos estudos utilizaram escala de 9 pontos. Neste tipo de escala, os valores são estendidos com variação de muito quente a muito frio. Ainda assim, o valor 0 continuou como neutro. Essas escalas mais amplas são geralmente utilizadas em regiões de clima extremos, seja para o frio ou calor.

Outros estudos utilizaram ainda escalas de 5 pontos, nas quais os valores vão de -2 a +2 com 0 neutro, sendo possível também encontrar escalas de 4 pontos. Observa-se que, apesar da

predominância da escala de sete pontos para sensação térmica, em determinados casos, parece haver uma confusão ao utilizarem questões de sensação térmica com a percepção térmica, o que torna difícil a compreensão do que se está avaliando no momento.

Na sequência das questões de sensação térmica, as questões mais utilizadas são as de conforto térmico, que também utilizam escalas entre 5 e 7 pontos, e as questões de preferência térmica, que utilizaram escala de 3 pontos, de -1 a +1. Outras questões, como a aceitabilidade térmica, aparecem em poucos estudos e utilizam escalas de 2 ou 4 pontos. A Tabela 7 apresenta as estruturas de questionários utilizados em diferentes estudos de conforto em espaços abertos.

**Tabela 7** – Estrutura dos questionários – principais componentes

Estudo	Variáveis pessoais	Aclimação	Atividade	Perguntas
Xue <i>et al.</i> 2020.	Data, hora, sexo, idade, vestimenta, atividade.	Tempo de residência e antiga residência.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos.
Liu <i>et al.</i> 2020.	Idade, altura, peso sexo.	Aclimação em sala controlada antes do experimento no ambiente externo.	70 W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Alijani <i>et al.</i> 2020.	Hora, local, idade, sexo, tecido, local de residência.	Origem, tempo de permanência, frequência de visita ao local.	80W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Manteghi; Mostofa; Bin Lamit, 2020.	Hora, data, sexo, idade, origem, vestimenta, alimentação, atividade.	Tempo de permanência na cidade.	115 W/m <sup>2</sup> .	Sensação térmica – escala de 4 pontos.
Makvandi; Zhou; Li; Deng, 2021.	Idade, peso, altura, sexo, roupa, atividade.	Origem do entrevistado.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 9 pontos, Conforto térmico – escala de 4 pontos, Aceitabilidade térmica – escala de 4 pontos.
Yin <i>et al.</i> 2011.	Idade, sexo, vestimenta, atividade, comorbidade.	Tempo de residência no local.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 5 pontos.
Kumar; Sharma, 2021.	Atividade, vestimenta.	Aclimação de 15 minutos antes de iniciar o questionário.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala 3 pontos.
Ma <i>et al.</i> 2019.	Idade, sexo.	Cidadão residente.	164.49 W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 9 pontos.
Qu; Wang; Liu, 2021.	Vestimenta, atividade, vestimenta.	Tempo de residência no local.	0,155 w/m <sup>2</sup> .	Sensação térmica – escala de 9 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos.
Krüger <i>et al.</i> 2014.	Sexo, idade, altura, peso, vestimenta.	Tempo de residência na cidade.	2,8 met.	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 7 pontos.

He <i>et al.</i> 2020.	Grupo, sexo, idade, altura, peso, vestimenta, taxa metabólica.	Moradores da cidade a pelo menos 1 ano.	60 a 180W/m².	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Preferência do vento – escala de 3 pontos, Preferência radiação – escala de 3 pontos, Conforto térmico – escala de 3 pontos, Aceitabilidade térmica – escala de 2 pontos.
Xie <i>et al.</i> 2020.	Sexo, idade, altura, peso e vestuário.	Tempo de residência no local.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Liu; Lian; Brown, 2019.	Sexo, idade, peso, atividades, altura, vestimenta.	Tempo de estabilização 1 minuto.	103.3 Kj.	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos, Sensação de radiação solar – escala de 5 pontos.
Lam; Lau. 2018.	Idade, sexo, atividade.	Uso de ar-condicionado anteriormente a pesquisa.	0.155 w/m².	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Manavvi; Rajasekar; 2022.	Idade, sexo, vestimenta.	Apenas cidadãos residentes.	ASHRAE (2016).	Sensação térmica – escala de 5 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos.
Tian <i>et al.</i> 2022.	Sexo, idade, altura, escolaridade, cidade de residência, vestimenta.	Última atividade desenvolvida, comportamentos de adaptação térmica.	ASHRAE 55 (2017); ISO 7730 (2005).	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos, Aceitabilidade térmica – escala de 2 pontos.
Jin; Liu; Kang, 2020.	Gênero, idade, vestimenta, atividade.	15 minutos de estabilização no ambiente térmico.	Homem 92, 178 e 344, Mulher 83, 150 e 278. W/m²	Aceitabilidade térmica – escala de 4 pontos, Conforto térmico – escala de 7 pontos, Sensação térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos.
Haghshenas <i>et al.</i> 2021.	Idade, sexo, peso, altura, vestimenta, atividade.	10 a 13 minutos para experimentar o ambiente térmico.	ASHRAE 55 (2013).	Sensação térmica – escala 7 pontos Preferência térmica – escala de 3 pontos.
Bröde <i>et al.</i> 2012.	Sexo, idade, altura, peso, vestimenta.	Tempo de residência na cidade.	0.155 w/m².	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 7 pontos.
Silva; Hirashima, 2021.	Idade, sexo, altura, peso, vestimenta, taxa metabólica.	Ambiente externo por mais de 30 minutos.	ISO 8996 (2004).	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 5 pontos.
Niu <i>et al.</i> 2020.	Sexo, idade, altura, peso corporal, atividade.	20 minutos de estabilização antes de iniciar o questionário.	3 a 6 Met.	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Rossi; Krüger; Guimarães, 2013.	Sexo, idade, peso, altura, vestimenta, atividade.	Tempo de residência, tempo de exposição.	ASHRAE 55 (2004).	Percepção térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 7 pontos.
Labdaoui; Mazouz; Reiter; Teller, 2021.	Data, hora, altura, peso, idade, sexo, vestimenta, atividade.	Permanência no local.	ASHRAE 55 (2004).	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Gonçalves <i>et al.</i> 2019.	Sexo, idade, vestimenta, atividade.	Exposição e permanência em cenários diferentes.	ISO 10551 (1995).	Sensação térmica – escala de 7 pontos.

Tsitoura; Tsoutsos; Daras, 2014.	Sexo, vestimenta, hora, idade, alimentação, atividade.	Tempo de permanência no local.	ASHRAE 55 (2010).	Conforto térmico – escala de 5 pontos, Sensação radiação solar – escala de 3 pontos, Sensação do vento – escala de 5 pontos, Sensação da umidade – escala de 5 pontos.
Sarhadi; Rad, 2020.	Sexo, vestimenta, idade, peso, experiência local, nível de instrução.	Apenas usuários locais do espaço urbano.	--	Conforto térmico --
Lai; Chen; Liu, 2020.	Idade, sexo, vestimenta, ocupação, atividade.	Divisão de grupos idade e atividade.	Atividade intensa, moderada e leve.	Sensação térmica – escala 7 pontos
Aljawabra; Nikolopoulou, 2018.	Idade, formação, origem.	Apenas residentes nativos.	Pessoas, com baixo nível de atividade.	Sensação térmica – escala de 5 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos.
Yao <i>et al.</i> 2022.	Idade, sexo, vestimenta.	15 minutos de atividades ao ar livre, sentar por 3 minutos antes da entrevista.	ISO 10551 (2019).	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Conforto térmico – escala de 4 pontos.
Zhen, <i>et al.</i> 2021.	Sexo, idade, altura, peso, escolaridade, saúde, atividade, vestimenta.	Tempo de permanência na cidade, tempo de permanência no local.	ASHRAE 55 (2017).	Sensação térmica – escala 7 pontos, Conforto térmico – escala 7 pontos, Preferência térmica – escala 3 pontos.
Leng; Liang; Yuan, Q. 2019.	Sexo, idade, altura, peso, escolaridade, saúde, atividade, vestimenta.	Apenas residentes.	80 W/m <sup>2</sup> .	Percepção térmica – escala 5 pontos, Sensação térmica – escala 5 pontos.
Deevi; Chundeli, 2020.	Idade, sexo.	Moradores locais.	ASHRAE 55 (2010).	Percepção térmica – escala de 6 pontos
Shih <i>et al.</i> 2017.	Idade.	Moradores locais.	1,4 met	Percepção da Temp. ar – escala 3 pontos, Percepção do vento – escala de 3 pontos, Percepção rad. solar – escala de 3 pontos, Sensação térmica – escala de 2 pontos.
Xue; Liu; Liu, 2021.	Sexo, idade, vestimenta.	Observação de comportamento e mecanismo de termorregulação.	ASHRAE 55 (2010).	Conforto térmico, Satisfação térmica, Preferência térmica – escala de 7 pontos. Sensação térmica – escala de 7 pontos
Elnabawi; Hamza, 2020.	Idade, sexo.	Última atividade desenvolvida nos últimos 20 minutos.	ASHRAE 55 (2009).	Sensação térmica – escala de 7 pontos
Kenawy; Lam; Shooshtarian, 2021.	Idade, sexo, atividade.	Tempo de permanência, histórico térmico.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala 7 pontos.
Mi, <i>et al.</i> 2020.	Sexo, idade, atividade.	Atividades nos últimos 20min, moradores da cidade.	ASHRAE 55 (2010); ISO 7726 (1998).	Sensação térmica – escala de 7 pontos
Qin, <i>et al.</i> 2021.	Idade, sexo.	Atividades nos últimos 20 minutos.	ASHRAE 55 (2010).	Sensação térmica – escala de 7 pontos
Ma, <i>et al.</i> 2021.	Idade, sexo, idade, altura, peso, vestimenta, atividade.	Atividades nos últimos 20 minutos.	Masculino 43,1 W/m <sup>2</sup> , Feminino 38,6 W/m <sup>2</sup> .	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico, Satisfação térmica, e Aceitabilidade – escala de 2 pontos.



Vanos, <i>et al.</i> 2012.	Idade, sexo, altura, peso, índice massa corpórea.	Aclimação de 5 minutos.	Valores ajustado para cada atividade física.	Sensação térmica – escala 7 pontos,
Huang, <i>et al.</i> 2021.	Sexo, idade, altura, peso corporal, vestimenta, atividade.	Atividades nos últimos 20 minutos.	ISO 7730 (2005).	Sensação térmica – escala de 7 ponto, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico, Satisfação térmica e Aceitabilidade – escala de 2 pontos.
Ting Zhang, <i>et al.</i> 2021.	Sexo, idade, altura, peso corporal, vestimenta, atividade.	Atividades nos últimos 20 minutos.	--	Sensação térmica – escala de 7 ponto, Preferência térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico, Satisfação térmica e Aceitabilidade – escala de 2 pontos.
Krüger, <i>et al.</i> 2018.	Sexo, idade, altura, peso e idade, local.	Tempo de moradia	165 W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Percepção térmica, Avaliação térmica, Preferências térmica, Aceitabilidade, Tolerância.
Krüger, <i>et al.</i> 2012.	Sexo, idade, altura, peso, vestimenta.	Tempo de residência na cidade, tempo de permanência no local.	2,8 Met	Sensação térmica – escala de 7 pontos. Preferências térmica – escala de 7 pontos.
Krüger; Drach, 2016.	Sexo, idade, altura, peso, vestimenta.	Tempo de residência na cidade; uso ar condicionado.	2,3 Met	Sensação térmica – escala de 7 pontos. Preferência térmica – escala de 7 pontos.
Monteiro; Aluci, 2012.	Sexo, idade, peso, atividade, exposição ao sol, vestimenta, horário	Tempo de moradia na cidade e região metropolitana.	1,0 a 5,8 Met	Sensação térmica – escala de 3 pontos, Conforto térmico – escala de 3 pontos,
Lima, <i>et al.</i> 2019.	Idade, sexo, data, vestimenta, horário.	Naturalidade, tempo de permanência na cidade, ar condicionado anteriormente.	ISO 7730 (2005)	Sensação térmica – escala de 7 pontos, Condição térmica – escala de 4 pontos, Preferência térmica – escala de 7 pontos, Sensação do vento – escala de 7 pontos.
Dacanal; Labaki; Silva, 2010.	Sexo, idade, antropometria, atividade, vestimenta, escolaridade.	Experiência térmica com o local.	454 e 260 W. ISO 7730 (2005)	Percepção microclima – escala de 5 pontos Conforto térmico – escala de 5 pontos.
Rossi; Krüger; Brode, 2012.	Sexo, idade, altura, peso, vestimenta tempo de exposição ao ambiente externo	Moradores de Curitiba e Região Metropolitana residindo há pelo menos 6 meses.	150 W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 7 pontos.
Labaki, <i>et al.</i> 2012.	Idade, peso, altura, atividade, vestimenta.	Aclimação de 5 minutos	ISO 7730 (2005)	Sensação térmica – escala de 5 pontos, Percepção térmica – escala de 5 pontos, Sensação do vento – escala de 5 pontos, Conforto térmico – escala de 2 pontos.
Wei <i>et al.</i> 2022.	Altura, peso, idade, sexo, vestimenta, atividade.	Tempo de residência na cidade.	ISO 10551 (1995)	Sensação térmica – escala de 9 pontos, Conforto térmico – escala de 4 pontos.
Karimi; Mohammad 2022.	Idade, altura, peso sexo.	Tempo de permanência no local.	80 W/m <sup>2</sup>	Sensação térmica – escala de 7 pontos. Preferência térmica- 5 pontos Satisfação térmica – escala de 7 pontos.
Ishak, J. Abdullah, N A Rahman 2023.	Idade, sexo, peso, vestimenta, atividade.	Residentes.	--	Sensação térmica – escala de 9 pontos.

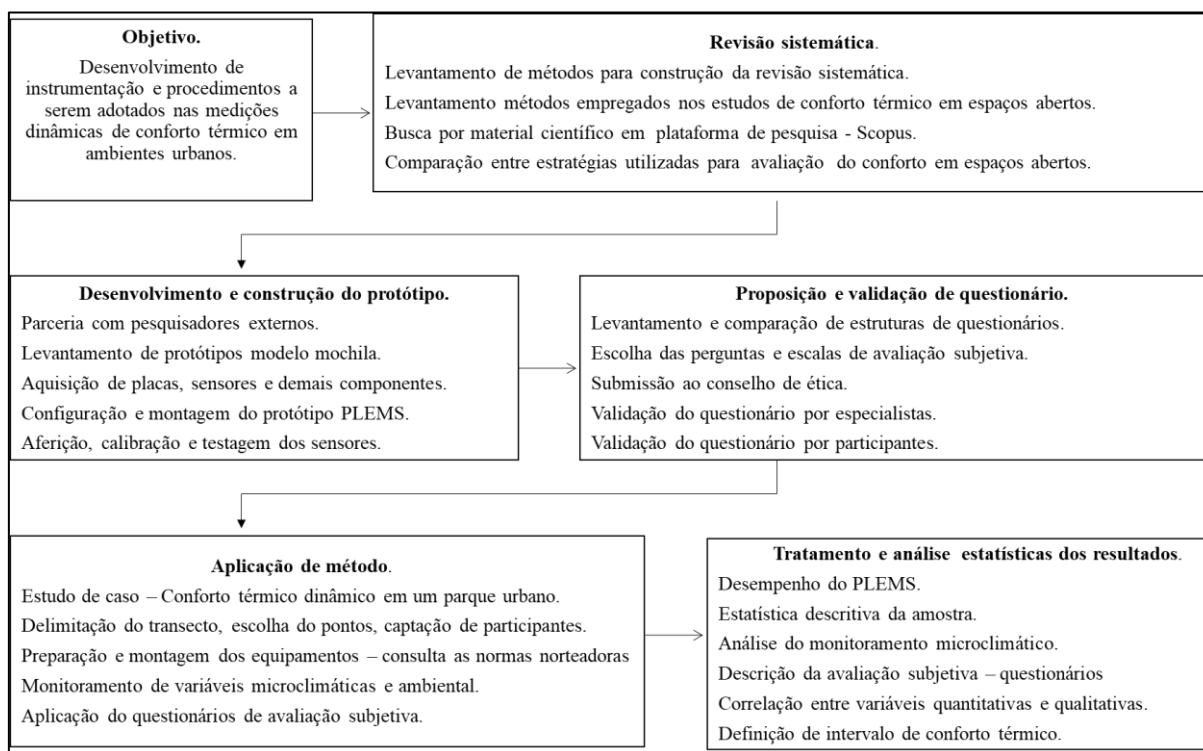
Hartabela <i>et al.</i> 2022.	Data, altura, peso, idade.	Após 30 minutos de atividade.	----	Sensação térmica – escala de 9 pontos.
Lin <i>et al.</i> 2023.	Idade, sexo, transporte.	Origem do entrevistado.	----	Sensação térmica – escala de 5 pontos, Conforto térmico – escala de 2 pontos, Aceitabilidade térmica – escala de 5 pontos.
Yuan <i>et al.</i> 2023.	Idade, sexo, altura, peso, vestimenta, atividade.	Residentes	----	Sensação térmica – escala de 5 pontos, Conforto térmico – escala de 2 pontos, Aceitabilidade térmica – escala de 5 pontos.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo está dividido nos seguintes itens:

1. Método para revisão sistemática, objetivando identificar os principais estratégias e procedimentos em pesquisas sobre conforto térmico em ambientes urbanos;
2. Desenvolvimento e construção de equipamento móvel (mochila bioclimática) a ser utilizado em medições dinâmicas de variáveis microclimáticas de conforto térmico em ambientes urbanos;
3. Proposição e validação de questionário para avaliação subjetiva de conforto térmico em ambientes urbanos
4. Planejamento, aplicação e avaliação do equipamento móvel (mochila bioclimática) e do procedimento de avaliação subjetiva (questionário) proposto neste trabalho em ambientes urbanos no clima quente e úmido (desenho experimental);
5. Tratamento e análise estatística dos resultados.

**Figura 1 – Organização metodológica.**

Fonte: Elaboração própria, 2024. x

### 3.1 Revisão sistemática

As revisões de literatura se justificam pela grande quantidade de informações disponíveis nos trabalhos científicos. Sua função principal é coletar, organizar e disponibilizar sucintamente informações sobre determinado tema, facilitando o acesso a dados e resultados para outros pesquisadores (Filho *et al.*, 2014). No entanto, a falta de critérios e procedimentos específicos pré-estabelecidos podem gerar viés negativos, tendo como consequência a baixa confiabilidade das sínteses produzidas, devido à falta de procedimentos sistemáticos de revisão (Filho *et al.*, 2014).

Atualmente, a quantidade elevada de produções científicas sobre uma mesma temática requer a realização de revisões sistemáticas, no intuito de captar, reconhecer e sintetizar as evidências científicas, este tipo de revisão difere da revisão tradicional, também conhecida como revisão narrativa da literatura, pois responde a uma pergunta mais pontual (De-La-Torre-Ugarte-Guanilo *et al.*, 2011). A revisão sistemática utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos inseridos na revisão (Castro, 2001).

A revisão sistemática não nega a importância da revisão narrativa, no entanto, este método apresenta um caráter descritivo-discursivo muitas vezes pouco conclusivo, de modo a ser utilizado como método para suprir a lacuna da inconclusão deixada pelas revisões narrativas

(Gomes; Caminha, 2014). Esta metodologia é frequentemente utilizada em pesquisas da área de medicina e biologia (Atallah; Castro, 1998). Em outras áreas do conhecimento, como engenharia e arquitetura, podem auxiliar na identificação de metodologias para avaliar o conforto térmico (Perilo; Campos; Abreu-Harbrich, 2017).

Nesta tese, realizou-se uma revisão sistemática acerca das metodologias utilizadas em estudos de conforto térmico em espaços abertos, visando atualizar o estado da arte sobre o tema. A revisão seguiu orientações presentes nos estudos realizados por Gomes e Caminha (2014); Castro (2001); De-La-Torre-Ugarte-Guanilo *et al.* (2011), que oferecem diretrizes específicas para o desenvolvimento de revisões sistemáticas. Apesar de apresentarem abordagens distintas, todos compartilham o objetivo de responder a questões específicas por meio de critérios pré-definidos e bem estabelecidos, reduzindo o viés e aumentando a confiabilidade e a replicabilidade dos resultados.

Embora esses trabalhos forneçam diretrizes valiosas, é importante destacar que eles não foram originalmente desenvolvidos para a área de engenharia. Por isso, as orientações foram adaptadas para atender aos objetivos deste estudo. A condução de uma revisão sistemática exige a definição de protocolos e um planejamento detalhado, com descrição clara de todos os processos e etapas, assegurando a transparência e confiabilidade da metodologia. A seguir, serão apresentadas as etapas percorridas para a realização desta revisão sistemática.

Essa revisão sistemática foi estruturada em três etapas: Planejamento, Execução e Finalização. Cada etapa compreende uma sequência de passos estabelecidos para seu desenvolvimento.

O Planejamento abrange seis passos principais:

- 1- Definição do tema: “Diferenças metodológicas encontradas na avaliação do conforto térmico humano em espaços urbanos”.
- 2- Verificação de necessidade da RS: Foram realizadas buscas nas bases de dados Scopus, à procura de trabalhos que já realizaram revisões literárias ou sistêmicas sobre o tema abordado nos últimos 10 anos.
- 3- Formulação da pergunta: “Existe a necessidade de padronização das metodologias utilizadas nos estudos de conforto térmico em espaços urbanos?”
- 4- Estratégia utilizada para a coleta de dados: revisão sistemática em bases de dados a partir de critérios pré-estabelecidos.
- 5- Local da coleta: Base de dados Scopus.
- 6- Escolha de critérios: os seguintes critérios foram estabelecidos:

- Palavras-chave de busca: As palavras-chave escolhidas foram: “*Thermal comfort*” AND “*Comfort methods*” AND “*Open spaces*” OR “*Outdoor spaces*”.
- Local de busca: Bases de dados Scopus.
- Período de exploração: Apenas artigos publicados nos anos de 2010 a 2022.
- Relevância: Admitidos apenas artigos publicados em revista de Qualis A1 a B3 de acordo com a última atualização da Capes.
- Idioma: Palavras-chave escritas em inglês, mas com filtro para português e inglês.
- Tipo de material: Apenas artigos.

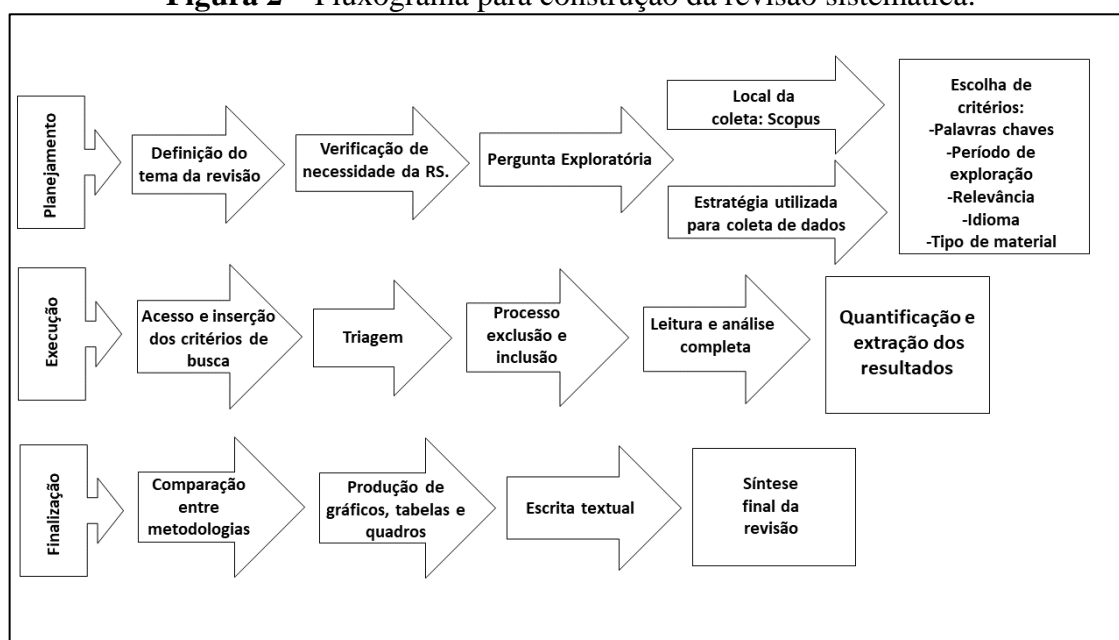
Na etapa de Execução, foi realizada a coleta, análise e interpretação dos dados em seis passos:

- 1- Acesso e inserção dos critérios de busca: inseridos os critérios descritos na etapa de planejamento.
- 2- Triagem: Os trabalhos foram organizados por título. Títulos e resumos foram lidos e verificados quanto aos critérios pré-estabelecidos.
- 3- Processo de exclusão: Foram excluídos os trabalhos que não contemplavam os critérios pré-estabelecidos na etapa de planejamento. Também foram excluídos os artigos duplicados e indisponíveis por completo.
- 4- Processo de inclusão: A busca na plataforma Scopus não resultou em pesquisas de nível nacional, sendo incluídos, nessa amostra, nove artigos publicados em nível nacional. Esses artigos apresentam informações relevantes sobre o tema e satisfazem os critérios estabelecidos na revisão sistemática.
- 5- Leitura e análise completa: Os artigos que passaram pelo processo de exclusão foram lidos por completo e selecionados para a planilha metodológica.
- 6- Quantificação e extração das informações: Além de dados quantitativos, foram extraídos: autor; título; objetivo; método utilizado; índices de conforto; estatística; equipamento; local de medição; variáveis ambientais; período de medições; número de pontos da coleta; clima local; público-alvo da amostra; estrutura dos questionários; ano de publicação e revista.

A etapa de Finalização organizou, discutiu e sintetizou a construção do manuscrito em quatro passos:

- 1- Comparação entre metodologias: Neste ponto, realizou-se uma análise comparativa entre as metodologias utilizadas por diferentes autores para predição do conforto térmico humano em espaços abertos, utilizando as informações extraídas na fase de execução.
- 2- Produção de gráficos, tabelas e quadros: A partir dos dados organizados em planilhas, foram construídos gráficos, tabelas e quadros para exibir as informações encontradas, facilitando a visualização e a compreensão das análises.
- 3- Escrita textual: Em posse dos dados coletados e analisados, iniciou-se a escrita do manuscrito.
- 4- Síntese final da revisão: Para a finalização do manuscrito, foi realizada a revisão final de todo o material para minimizar possíveis inconsistências.

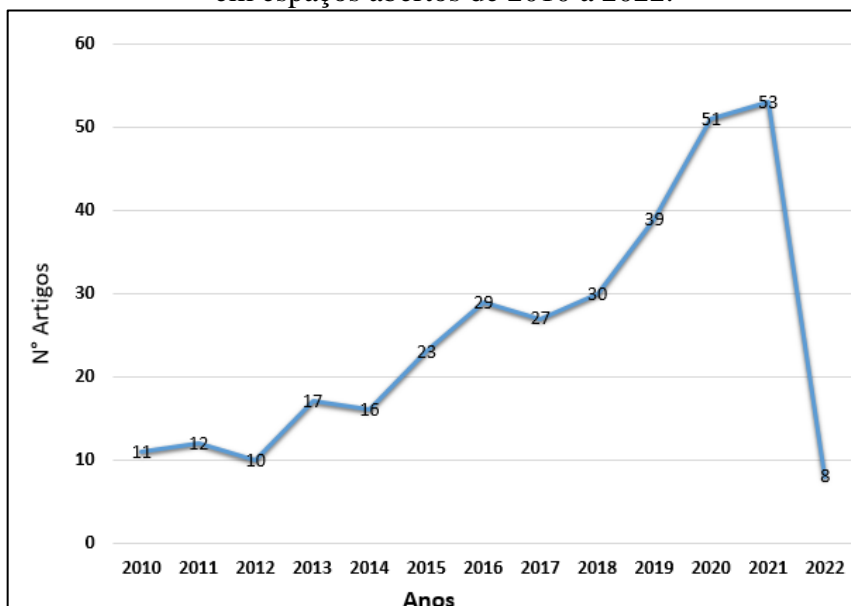
**Figura 2** – Fluxograma para construção da revisão sistemática.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A coleta de dados realizada na base de dados Scopus, a partir dos critérios pré-estabelecidos na fase de planejamento, resultou em 359 artigos. Através do ícone de análise dos resultados da pesquisa disponibilizado na base Scopus, foi possível obter um panorama da evolução das metodologias utilizadas em estudos de conforto térmico em espaços abertos. Os estudos na área de conforto térmico em espaços abertos aumentaram consideravelmente ao longo dos últimos 10 anos, mais significativamente a partir de 2016.

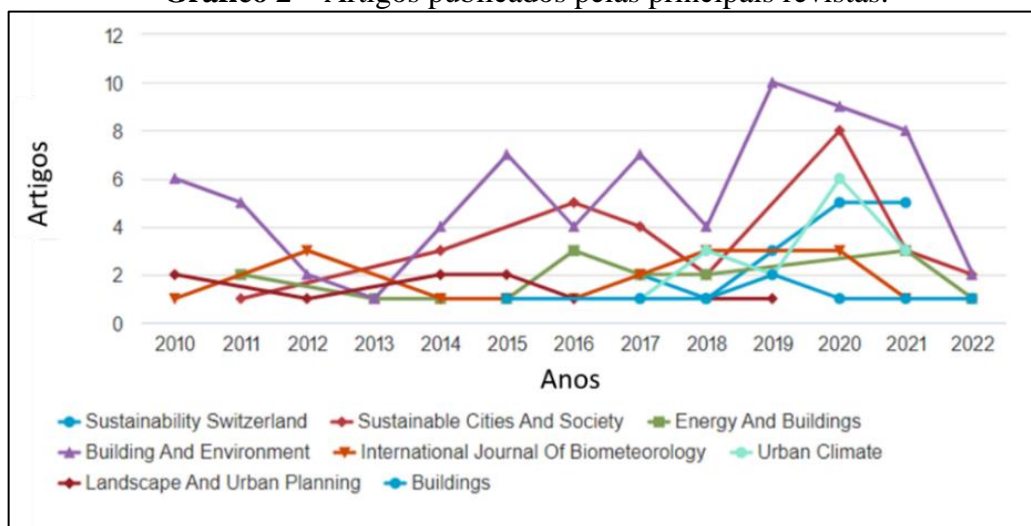
**Gráfico 1** – Evolução dos estudos de conforto térmico em espaços abertos de 2010 a 2022.



Fonte: Scopus, 2022.

Os artigos foram publicados em revistas com renomado reconhecimento científico, principalmente na *Building and Environment* (69 artigos), *Sustainable Cities and Society* (28), *Energy and Buildings* (16) e *Urban climate* (15).

**Gráfico 2** – Artigos publicados pelas principais revistas.



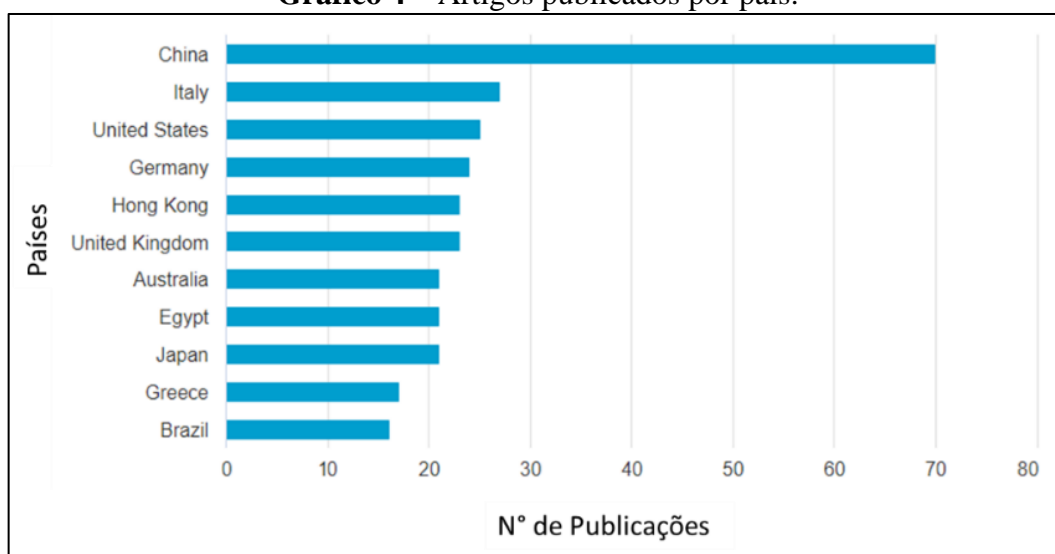
Fonte: Scopus, 2022.

Dentro deste período, os cinco autores com mais publicações sobre o tema foram Matzarakis, A. (11), Hong, B. (10), Nikolopoulou, M. (8), Shooshtarian, S. (8) e Krüger, E. (7).

**Gráfico 3 – Artigos publicados por autores.**

Fonte: Scopus, 2022.

A maior parte desses estudos foi realizada na China (70), Itália (27), Estados Unidos (25) e Alemanha (24). O Brasil aparece na 11.<sup>a</sup> posição, com 17 estudos.

**Gráfico 4 – Artigos publicados por país.**

Fonte: Scopus, 2022.

Mesmo com o acesso de um e-mail institucional, muitos artigos desse levantamento inicial não estavam disponíveis na sua forma gratuita/*online* integralmente, sendo possível o *download* e leitura de 177 artigos da amostra inicial de 326. Embora a amostra não represente todo o estado da arte referente ao tema pesquisado, os resultados finais reúnem uma amostra representativa de 50 estudos desse universo.

Dos 177 artigos baixados, foram excluídos os artigos com o título fora do tema (3); duplicados (18); utilizaram apenas ferramentas de simulação computacional (35); avaliaram o conforto térmico apenas através do *design* urbano (20); foram realizados em espaços internos



ou semiabertos (21); investigaram o impacto da vegetação na amenização do clima urbano (10); analisaram as configurações de edificações e calor emitido por materiais (8); utilizaram análise de cobertura do solo através de imagens de satélites e mapas térmicos (5); eram revisões de literatura (4); incompletos ou com baixo *qualis* (3) e utilizavam individualmente outras metodologias (8), por exemplo, câmaras artificiais, termografia e modelos 3D. Ao final, 42 artigos foram admitidos pelos critérios da revisão. Ao todo, foram excluídos 135 artigos. É importante ressaltar que foram admitidos apenas artigos que se utilizaram da associação entre métodos quantitativos (monitoramento microclimático) e subjetivos (aplicação de questionários de conforto). A tabela 8 detalha os resultados.

**Tabela 8 – Artigos excluídos da amostra após a triagem.**

Motivo de exclusão	Quantidade
Duplicados	18
Simulação computacional	35
Design urbano	20
Espaços internos ou semiabertos	21
Estruturas verdes e vegetação urbana	10
Edificações e materiais	8
Cobertura do solo	5
Revisões de literatura	4
Incompletos e baixo <i>qualis</i>	3
Fora do tema	3
Outras metodologias	8
<b>Total</b>	<b>135</b>

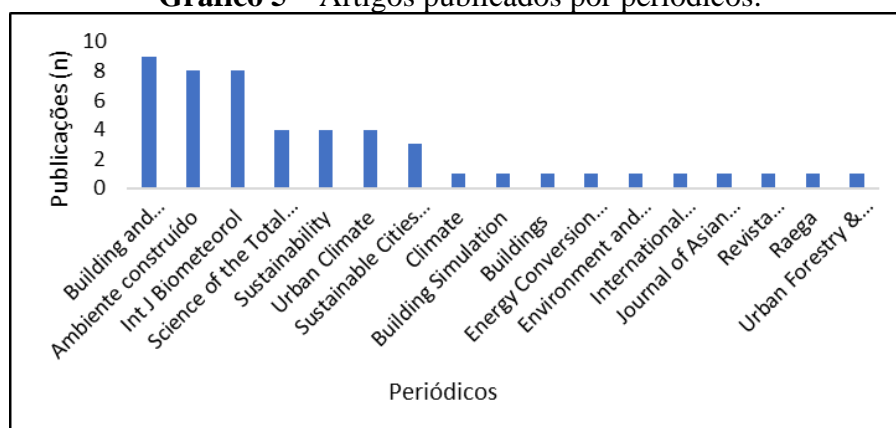
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Como não foram encontrados artigos de nível nacional a partir dos critérios de busca selecionados dentro da base de dados Scopus, foram incluídos oito artigos de nível nacional encontrados fora da base de dados Scopus. No entanto, os artigos selecionados atendiam aos critérios pré-estabelecidos no processo metodológico da revisão sistemática, contendo informações relevantes sobre o tema, contribuindo significativamente com os avanços da temática em estudo. Além disso, elevaram a amostra para 50 artigos.

Dos 50 artigos que contemplam essa revisão sistemática, foram encontrados 142 autores e coautores diferentes, o que mostra um crescimento significativo na produção de estudos acerca de conforto térmico em espaços abertos nos últimos anos. A maior parte dos artigos apresentava de 3 a 5 autores por publicação, 17 autores apareceram em mais de um estudo, seja como primeiro autor ou coautor. Destaca-se o número representativo de trabalhos realizados por pesquisadores chineses. Os pesquisadores com maior representatividade foram Hong, B.

(8) e Krüger, E. (7). Os 50 artigos estavam distribuídos em 17 periódicos diferentes, 7 apresentaram mais de um artigo, foram eles: *Building and Environment* (9); *Ambiente construído* (8); *Internacional Journal Biometeorology* (8); *Science of the Total Environment* (4), *Sustainability* (4); *Urban Climate* (4) e *Sustainable Cities and Society* (4).

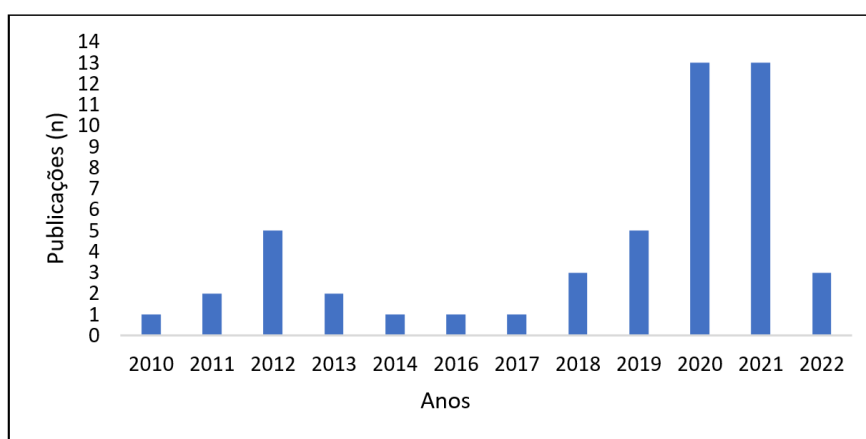
**Gráfico 5 – Artigos publicados por periódicos.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Ao analisar o período de publicação da amostra, percebe-se que, nos últimos anos, o interesse pela temática tem crescido exponencialmente. Entre os anos de 2019 e 2021, há um aumento significativo em publicações, com 32 artigos publicados. Fatores externos, como mudanças climáticas, políticas públicas e até mesmo a pandemia de COVID-19, podem ter incentivado mais pesquisas sobre o conforto térmico e uso de espaços abertos. O ano de 2022 apresenta redução, no entanto, este número não reflete o total de publicações do período, pois os dados correspondem ao início de 2022.

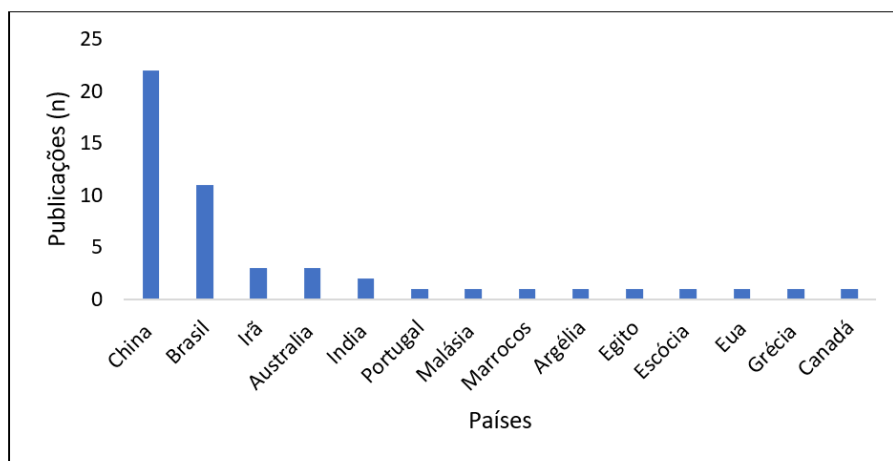
**Gráfico 6 – Artigos publicados entre 2010 e 2022.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os 50 artigos foram realizados em 33 cidades de 15 países, com grande contribuição da China (22); Brasil (11); Irã, Austrália e Índia (8) e Escócia (2). Os demais países apresentaram apenas uma contribuição.

**Gráfico 7** – Artigos publicados por países entre 2010 e 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

As demais informações coletadas acerca das principais metodologias utilizadas nos estudos de conforto térmico humano em espaços urbanos (estratégias, locais, equipamentos, normas reguladoras, questionários, índices de conforto térmico, entre outras) foram apresentadas na forma de tabelas e quadros ao longo do referencial teórico (Capítulo 2) deste manuscrito.

Com o desenvolvimento da pesquisa em curso, para atualizar o estado da arte, no ano de 2024 realizou-se uma nova busca por artigos na base dados Scopus entre o período de 2022 a 2024, estabelecendo os mesmos critérios da revisão sistemática para o período de 2010 a 2022. A busca resultou em 33 artigos, dos quais 6 foram selecionados após o processo de exclusão, esses artigos foram acrescentados nas tabelas da revisão sistemática. Deste modo estes dados não aparecem nos Gráficos de 1 a 7 e também na Tabela 8.

### 3.2 Construção do questionário para avaliação térmica subjetiva

A proposta de questionário apresentada baseou-se em informações de 50 estudos publicados em âmbito nacional e internacional, abrangendo 17 periódicos diferentes no período de 2010 a 2022. Os artigos foram organizados em planilhas no *software* Excel, onde foram extraídas informações sobre dados pessoais, aclimatação, atividade e questões subjetivas. Além

disso, foram consultadas as normas reguladoras ISO 10551/1995, ISO 7730/2005 e ASHRAE 55/2010.

Após uma análise detalhada, elaborou-se um questionário para avaliação dinâmica (longitudinal) em estudos de conforto térmico em espaços abertos. Dada a abrangência do estudo, o questionário também inclui questões sobre percepção ambiental, como avaliação do nível de iluminação, ruído e qualidade do ar.

Devido à natureza da pesquisa, que envolve seres humanos e saúde, o questionário foi submetido à apreciação do Conselho de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba – CCS/UFPB, sendo aprovado por meio do parecer 6.018.64.

A proposta de questionário está estruturada em 3 blocos: primeiro, dados pessoais e biológicos; segundo, percepção subjetiva; e terceiro, percepção subjetiva em relação ao ponto anterior.

O primeiro bloco – dados pessoais e biológicos – refere-se à caracterização dos participantes, contendo as informações gerais (data, hora, ponto, profissão e vestimenta) e biológicas (sexo, idade, peso, altura, comorbidade e naturalidade).

**Quadro 1 – Bloco I – Caracterização do participante**

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)?		

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o processo de coleta de dados para avaliar o conforto térmico, é importante abordar uma série de aspectos para garantir que as informações obtidas sejam representativas e precisas. É fundamental registrar a data de aplicação do questionário, incluindo o dia, mês e ano, e a aplicação deve ocorrer simultaneamente com o monitoramento microclimático. Além disso, é aconselhável que a coleta de dados abranja, pelo menos, duas estações climáticas distintas, uma mais quente e outra mais fria, permitindo comparações significativas ao longo do tempo.

Quanto ao horário, é fundamental registrar o horário inicial e final da entrevista, levando em conta que o organismo humano pode levar um tempo para se adaptar às condições térmicas

do ambiente. Sugere-se realizar medições diurnas entre 8 e 17 horas; no caso de experimentos noturnos, das 18 às 20 horas, com registros a cada 1 minuto.

A identificação do sexo biológico do entrevistado é necessária, pois homens e mulheres podem apresentar percepções e preferências térmicas distintas diante das mesmas condições microclimáticas (Jin; Liu; Kang, 2020). Para obter amostras mais homogêneas, é importante manter um equilíbrio entre a quantidade de homens e mulheres participantes do experimento.

A idade também é um fator que pode influenciar na sensação térmica, pois idosos, crianças e adultos podem apresentar intervalos de conforto distintos (Yao *et al.*, 2022; Shih *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2021).

Pessoas com comorbidades podem apresentar zonas de conforto diferente de pessoas saudáveis (Yin *et al.*, 2011), sendo relevante registrar essa informação.

Identificar a profissão dos entrevistados é interessante, especialmente para trabalhadores em ambientes urbanos, onde a percepção e a preferência térmica podem ser influenciadas pelas atividades realizadas. Ainda assim, há poucos estudos sobre o conforto térmico de trabalhadores em ambientes externos (Rancura, 2011).

A taxa metabólica referente à atividade foi expressa  $W/m^2$  (mas pode também ser convertida em MET). Já os valores da vestimenta são expressos na unidade CLO, disponíveis nas normas ISO 9920/07, ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010).

Recomenda-se também identificar o tempo de residência ou estadia na cidade em estudo. Exposições frequentes a determinada condição térmica ou tipo de clima podem levar o indivíduo a adaptação fisiológica ou psicológica, aumentando ou diminuindo a tolerância a determinada condição térmica (Hirashima, 2014).

O segundo bloco – percepção subjetiva – trata das perguntas sobre sensação, conforto e preferência térmica. Nos estudos de conforto térmico, os parâmetros subjetivos correspondem principalmente aos votos de sensação, conforto e preferência térmica em relação ao ambiente térmico, expresso por meio de perguntas com valores em escalas estruturadas, apresentadas nas normas ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2010).

Nesta proposta, a pergunta de sensação térmica refere-se à interpretação inconsciente de resposta do organismo em relação ao ambiente (Johansson *et al.*, 2014; Knez; Thorsson, 2006), envolve a sensação em relação às variáveis microclimáticas e está relacionada com o calor sentido pelo indivíduo. Expressa em escala de 7 pontos com valores de -3 muito frio a +3 muito calor, com 0 neutro, de acordo com a norma ISO 10551(1995).

A pergunta de conforto térmico refere-se ao estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (ASHRAE 55, 2010) expresso em escala 4

pontos presentes nas normas ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2010). Os valores vão de 0 “neutro” a 3 “muito desconfortável”. A preferência térmica refere-se a como o indivíduo gostaria que as variáveis climáticas estivessem atuando no momento, de acordo com a sua vontade, expressa em uma escala de 7 pontos de -3 muito mais frio a +3 muito mais quente, com 0 sem mudanças, sugerida pela norma ISO 10551(1995).

Por se tratar de um estudo mais abrangente, além das questões subjetivas de conforto térmico, este bloco apresenta também questões sobre percepção lumínica (em escala de 5 pontos, que vão de -2 Muito insatisfeito a +2 muito satisfeito, com 0 indiferente); ruído e qualidade do ar expresso em escala de 4 pontos que vão de 0 sem incômodo a 3 extremamente incomodado. O quadro a seguir detalha as questões e escalas subjetivas utilizadas.

**Quadro 2 – Questões subjetivas para avaliação ambiental.**

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 à intensidade de luz neste ponto, como você se sente?						
-2		-1		+1		+2
Muito insatisfeito		Insatisfeito		Satisfeito		Muito satisfeito
5) Em relação ao nível de ruído neste ponto, como você se sente?						
0		1		2		3
Sem incômodo		Um pouco incomodado		Muito incomodado		Extremamente incomodado
6) Em relação à qualidade do ar neste ponto, como você se sente?						
0		1		2		3
Sem incômodo		Um pouco incomodado		Muito incomodado		Extremamente incomodado

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O terceiro bloco – percepção subjetiva em relação ao ponto anterior – trata sobre a natureza dinâmica do estudo com método longitudinal e realiza comparações subjetivas entre os pontos investigados ao longo do percurso, avaliando a percepção ambiental do ponto atual em relação ao ponto anterior. Essa abordagem busca avaliar a sensibilidade das pessoas em distinguir as diferentes condições ambientais ao longo do percurso.

**Quadro 3** – Questões de percepção subjetiva em relação ao ponto anterior.

7) Em relação ao ponto anterior, você considera que o ambiente térmico deste ponto é:		
0	1	2
Mais frio	Semelhante	Mais quente
8) Em relação ao ponto anterior, você considera que a intensidade da luz deste ponto é:		
0	1	2
Menos intensa	Semelhante	Mais intensa
9) Em relação ao ponto anterior, você considera que o nível de ruído deste ponto é:		
0	1	2
Menos ruidoso	Semelhante	Mais ruidoso
10) Em relação ao ponto anterior, você considera que a qualidade do ar neste ponto é:		
0	1	2
Menos poluído	Semelhante	Mais poluído

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 3.2.1 Validação do questionário por especialistas

Para validar o questionário, foi utilizado o Coeficiente de Validade de Conteúdo, proposto por Hernandez-Nieto (2002). Esse procedimento permite a mensuração quantitativa e avaliação da validade de conteúdo através de uma escala *Likert* de 1 a 5 com nível de aceitação de 0,0 a 1,0. Atribuídos através de avaliação de especialistas. Valores menores de 0,70 representam clareza, pertinência e adequação inaceitáveis; valores iguais ou maiores de 0,70 representam clareza, pertinência e adequação aceitáveis, e valores iguais a 1,0 representam clareza, pertinência e adequação excelentes. Etapas para o cálculo de CVC:

- a) Com as notas dos juízes (1 a 5), calcula-se a média das notas de cada item ( $M_x$ ).

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^J x_i}{J}$$

Sendo,

$M_x$  = média das notas de cada item;

$X_i$  = nota atribuída para cada questão;

$J$  = número de juízes.

- b) Com a média das notas de cada item ( $M_x$ ), calcula-se CVC inicial para cada item ( $CVC_i$ ), dividindo-se por 5 (máxima nota possível do avaliador).

$$CVC_i = \frac{M_x}{V_{Máx}}$$

Sendo,

$CVC_i$  = CVC inicial para cada item;

$M_x$  = média das notas de cada item;

$V_{máx}$  = máxima nota possível.

- c) Divide-se 1 pelo número de juízes avaliadores, elevando ao mesmo número de avaliadores para calcular erro (PEi).

$$Pe_i = \left(\frac{1}{J}\right)^J$$

Sendo,

Pei = erro;

J = número de juízes.

- d) Subtrai-se o valor do  $CVC_i$  pelo valor do Pei para obter-se o o CVC final (CVCf).

$$CVC_c = CVC_i - Pe_i$$

Sendo,

CVCf = CVC final;

$CVC_i$  = CVC inicial;

PEi = erro.

- e) Por fim, calcula-se o coeficiente total (CVCt) para cada ítem de clareza, pertinência e adequação, subtraindo-se a média do  $CVC_i$  pela média do PEi.

$$CVC_t = M_{cvc_i} - M_{pe_i}$$

Para acesso e avaliação dos especialistas (juízes), a proposta de questionário foi transformada digitalmente em *Google Forms* e encaminhado para o e-mail de 10 avaliadores de nível de especialistas, mestres e doutores, que atuam nas áreas de conforto ambiental (térmico, lumínico e acústico) a longa data.

A análise de concordância entre os avaliadores foi conduzida utilizando duas abordagens complementares: o Percentual de Concordância e o coeficiente de concordância de Kendall's W.

Inicialmente, calculou-se o Percentual de Concordância, uma métrica prática que avalia a proporção de respostas idênticas entre avaliadores. Para isso utilizou-se a seguinte formula:



$$\text{Percentual de Concordância} = \left( \frac{N \text{ de concordâncias}}{N \text{ total de respostas}} \right) \cdot 100$$

Embora útil para uma visão inicial, essa métrica não considera a concordância parcial ou a concordância por acaso. Para garantir maior robustez, utilizou-se o coeficiente de concordância de Kendall's W, que mede o grau de concordância geral entre avaliadores em respostas ranqueadas ou ordinais. Sua fórmula é dada por:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}$$

Sendo:

m= Número de avaliadores.

n= Número de itens avaliados.

S= Soma das variâncias das classificações em relação à média dos rankings atribuídos.

O coeficiente de concordância de Kendall's W foi escolhido por sua robustez em lidar com distribuições enviesadas, sendo preferível a outras métricas, como Fleiss Kappa, que é sensível a desequilíbrios nas categorias, assim como o Coeficiente de Correlação Intraclass - ICC, menos adequado para dados ordinais.

Assim, enquanto o Percentual de Concordância forneceu uma visão inicial, Kendall's W trouxe maior confiabilidade, identificando de forma robusta a consistência geral nas respostas dos avaliadores.

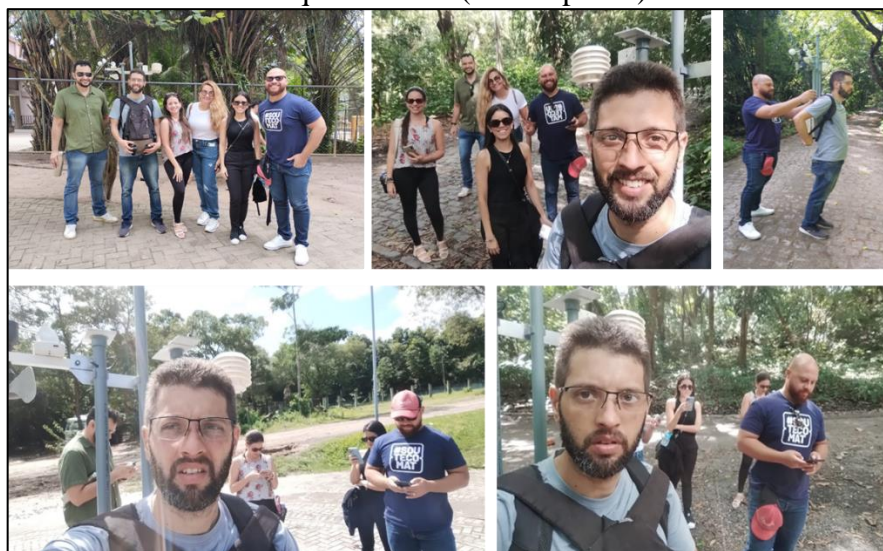
### 3.2.2 Validação do questionário por participantes

Após a validação por especialistas, o questionário foi submetido à avaliação dos participantes, que incluiu a aplicação dele em uma amostra representativa da população-alvo. O propósito foi assegurar que o questionário fosse confiável e compreensível antes de ser amplamente empregado em pesquisa.

Posteriormente à aplicação do questionário desenvolvido, em um estudo-piloto, os participantes compartilharam suas impressões sobre a experiência de resposta. Isso abrangeu observações sobre a clareza das instruções, a pertinência das perguntas e outras dificuldades

encontradas durante o processo de resposta. Com o *feedback* dos participantes, pequenos ajustes foram realizados para facilitar o entendimento das perguntas.

**Figura 3** – Testagem de viabilidade da estrutura do questionário (estudo piloto).



Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 3.3 Desenvolvimento e construção do protótipo de mochila bioclimática

Embora esta pesquisa se concentre no estudo de conforto térmico, diante da possibilidade de produzir um protótipo de baixo custo capaz de monitorar não apenas as variáveis microclimáticas frequentemente utilizadas nesses estudos, mas também outras variáveis ambientais mais abrangentes como iluminação, ruído e qualidade do ar, em parceria com pesquisadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), foi desenvolvido um protótipo portátil, em forma de mochila, para monitoramento ambiental de baixo custo, denominado de PLEMS (sigla em inglês para *Portable Low-cost Environmental Monitoring System*). O protótipo é composto não apenas por sensores microclimáticos de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura de globo, mas também de sensores de iluminação, ruído e qualidade do ar (concentração de CO<sub>2</sub>) e pressão atmosférica, além de um Sistema de Posicionamento Global (GPS). O sistema apresenta também um registrador de dados automático, um relógio de tempo real e um módulo de cartão de memória portátil (Memória Flash). Devido à quantidade de sensores instalados no PLEMS, utilizou-se um microcontrolador intermediário ESP32.

A idealização do PLEMS baseou-se em pesquisas internacionais e nacionais, com o objetivo de que a mochila incorporasse sensores de baixo custo capazes de realizar uma

avaliação abrangente das condições ambientais no meio urbano. Assim, optou-se por selecionar aqueles que atendiam o critério da norma ISO 7726 (1998) e que apresentavam menores custos de fornecimento, considerando o preço do sensor.

**Tabela 9** – 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)
GPS GY-NEO6MV2	u-blox®	Latitude, Longitude Velocidade	27 s para inicializar e 1 s entre medições sucessivas	Leitura em coordenadas geográficas: (n/a)	5 metros (n/a)
AHT10	ASAIR®	Temperatura do ar	5 < 30 s	-40 a 85 °C (10 a 40 °C)	± 0,3 °C (± 0,5 °C)
		Umidade relativa do ar	8 s	0 a 100 % (0,5 a 3,0 kPa)	± 2 % (0,15 kPa)
DS18B20	Maxim Integrated Products®	Temperatura (globo)	0,75 s	-55 a 125 °C (10 a 40 °C)	± 0,5 °C (± 2 °C)
ANBR-1	WRF Comercial®	Velocidade do vento	3,1 s	0,19 a 37,5 m/s (0,05 a 1,0 m/s)	< ±5 % (±0,05 a 0,10 m/s)
MQ-135	Winsen®	Concentração de CO2	1 s	10 a 1000 ppm (n/a)	±5% ou ± 50 ppm (n/a)
BH1750- FVI GY-30	ROHM Semicondutor®	Lux ambiente	<1 s	1 < 65.535 Lux (n/a)	± 20 % (n/a)
BMP180	Bosch Sensortec®	Pressão Atmosférica	<0,75 s	300 < 1100 hPa (n/a)	± 0,06 hPa (n/a)
KY-038	JOY-IT®	Ruído ambiente	1 s	10 Hz a 50 kHz (n/a)	Não informado (n/a)

Fonte: Adaptado de Ihlenfeld (2024).

A parte física (*hardware*) do PLEMS é composta, em grande parte, por componentes de sistema elétrico utilizados em edificações. A base da mochila é um quadro de distribuição de energia que protege a placa ilhada de tamanho 10 por 15 cm, na qual estão conectados todos os sensores através de terminais *borne*, ligados por cabos blindados coloridos para facilitar a identificação dos sensores. A tampa externa do quadro de distribuição protege a tela de cristal líquido (LCD), que exibe a grandeza que está sendo mensurada e o valor registrado a cada 60 segundos. Além disso, guarda a placa ilhada de fibra.

Três hastes de eletroduto PVC rígido  $\frac{3}{4}$  compõem a estrutura: duas laterais de 80 cm e uma central de 1m. Nas hastes laterais, estão os sensores de ruído, CO<sub>2</sub>, iluminação e pressão atmosférica. Os fios são acomodados dentro do tubo, e os sensores são fixados no topo. Como suporte para os sensores, foram produzidas duas pequenas bases fixadoras com placas de PVC de 2mm.

A haste central abriga o sensor de temperatura do globo, dentro de uma bola de tênis de mesa oficial de 40 milímetros de diâmetro, pesando 2,74g, confeccionada em acrílico nitrilo butadieno estireno (ABS), com cerca de 0,86 mm de espessura, inicialmente branca, pintada na cor cinza grafite (código 11202401404), valor da emissividade de 0,9 (ASHRAE 55/2005).

O termômetro de globo cinza de 40 mm tem sido amplamente utilizado em diversos estudos ao ar livre, como os realizados por Thorsson *et al.* (2007) e Johansson *et al.* (2018), e tem mostrado bons resultados frente aos globos feitos de metal.

Cada haste foi protegida por um tubo de espuma de polietileno, normalmente usados na instalação de ar-condicionado, para garantir mais conforto ao usuário do protótipo. Para a sustentação estrutural das hastes de PVC, elas foram fixadas a duas barras de alumínio de 11cm por abraçadeiras plásticas. Nas extremidades das barras de alumínio, são fixados o anemômetro de copo e a barreira radiante impressa em plástico PLA, por uma impressora 3D (de acesso livre Thingiverse). No último prato da barreira, foi inserido filme de papel alumínio, de acordo com as recomendações de Ham (2015), protegendo o sensor de temperatura do ar e a umidade do ar.

A *Powerbank* de 5V foi fixada externamente sobre o quadro de distribuição, com auxílio de um suporte plástico, a fim de evitar qualquer interferência nos sensores e facilitar o ligar e o desligar da mochila. O dispositivo GPS também foi fixado externamente sobre o quadro de distribuição para melhorar o sinal de localização e tornar as coordenadas geográficas mais precisas possível.

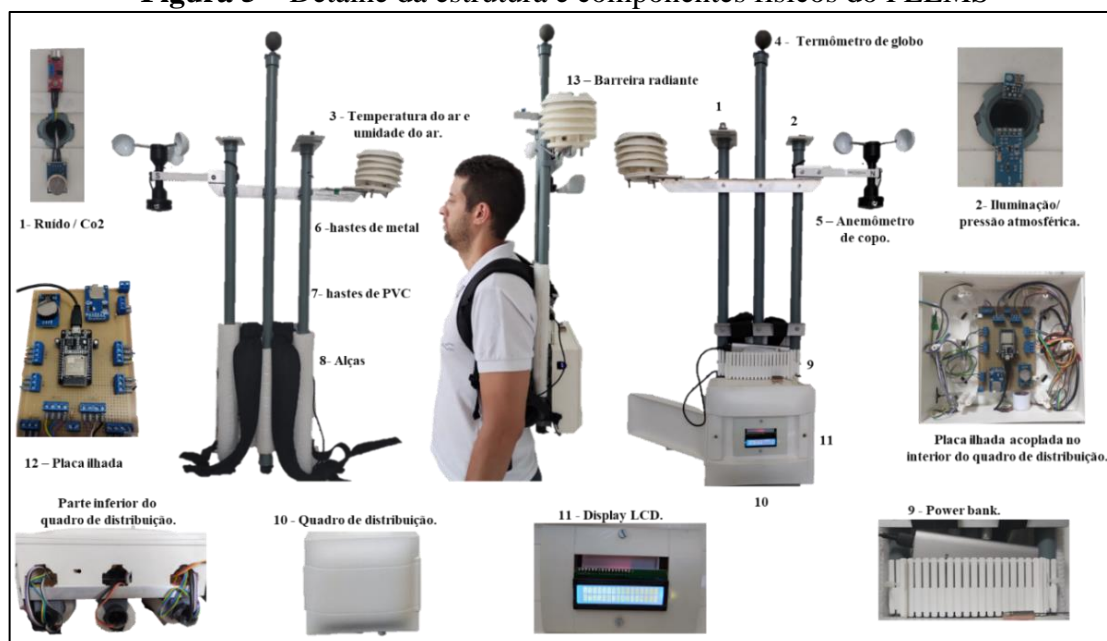
Por fim, as alças da mochila foram costuradas na barra de alumínio inferior e fixadas por abraçadeiras de nylon na parte inferior do quadro de distribuição. Através do regulador da alça, foi possível ajustar a ergonomia, de acordo com a altura do usuário.

**Figura 4** – Croqui do protótipo PLEMS



Fonte: Leder, 2024.

**Figura 5** – Detalhe da estrutura e componentes físicos do PLEMS



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A parte do *software* do PLEMS refere-se à programação do sistema operacional que compõe as instruções e comandos que o *hardware* deve seguir. O microcontrolador ESP32 instalado no PLEMS utiliza linguagem de programação C/C++, o que possibilita o controle e a

interação de vários dispositivos conectados ao microcontrolador. O desenvolvimento do código do PLEMS ocorreu de forma incremental, adicionando sensor por sensor ao sistema. As conexões elétricas foram otimizadas, utilizando o *software EasyEDA* para a criação e a edição de diagramas elétricos. Para modelar a placa no *Fritzing*, utilizou-se um *software CAD (Computer aided-design)* para *design de hardware* eletrônico, que permite a prototipagem e a construção dos circuitos permanentes.

Descrições detalhadas da programação, dos sensores e dos preços dos componentes do PLEMS podem ser encontradas em Ihlenfeld (2024); Ihlenfeld *et al.* (2023) e Krüger *et al.* (2023). Esses estudos apresentam uma análise mais completa dos procedimentos de programação, instalação, especificações técnicas e custos dos sensores.

### 3.3.1 Aferição e calibração dos sensores de Ta, Tg, Ur e Va

O processo de aferição e calibração consistiu em comparar e ajustar as leituras dos sensores de PLEMS para corresponder ao padrão de referência conhecido quando necessário. Esses processos foram realizados para garantir a precisão e a confiabilidade dos sensores de PLEMS, atestando sua viabilidade para coleta de variáveis ambientais em estudos de conforto térmico ao ar livre.

O processo de calibração dos sensores de PLEMS foi realizado em ambiente interno, no mês de junho de 2023. Utilizou-se um confortímetro SENSU devidamente calibrado como equipamento de referência, posicionando-o junto ao PLEMS sobre uma mesa, a 1m de distância do piso, na sala do laboratório de conforto ambiental Labcon-UFPB. Durante o período de medição, a sala permaneceu fechada, sem acesso de pessoas, com portas e janelas fechadas e sem uso de ar-condicionado. O PLEMS registrou dados a cada 1 minuto e meio (1,5 min), e o SENSU, a cada 1 minuto, por 2 horas. Foi respeitado um período de estabilização de 15 minutos dos equipamentos, antes do início das medições. Um conjunto de 60 dados do PLEMS e 60 dados do SENSU foram extraídos para comparação.

**Figura 6 – Calibração PLEMS x SENSU.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

As grandezas ambientais  $T_a$ ,  $T_g$ ,  $U_r$  e  $V_a$  foram calibradas através de estatística de regressão, de acordo com o esquema a seguir.

1- Aferição com equipamentos de referência:

- Os sensores do PLEMS foram aferidos com os equipamentos de referência para as quatro grandezas ambientais relacionadas ao conforto térmico.

2- Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis:

- Adotou-se a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis (valor-p) para comparar grupos independentes com uma variável resposta quantitativa.

3- Análise de regressão:

- Foi realizada uma análise de regressão para cada grandeza ambiental:
  - Calculou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para avaliar a proximidade da inclinação da reta de regressão.
  - Quanto maior o valor de  $R^2$ , melhor foi o ajuste do modelo linear à amostra.

4- Erro Médio Absoluto (EMA):

- Utilizou-se o erro médio absoluto (EMA) como indicador para determinar a aplicação da equação de regressão com viés de calibração:
- Calculou-se o EMA como a média absoluta entre os dados coletados e simulados no processo de calibração, fornecendo uma medida da concordância entre os dados medidos e simulados.

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N}$$

sendo,

Pi = valor previsto (equipamento de referência);

Oi = valor observado;

N = número de medições realizadas.

### 3.4 Aplicação e avaliação do equipamento móvel e do questionário propostos

Os estudos de conforto térmico em espaços abertos têm sido desenvolvidos por pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, dependendo dos objetivos a serem alcançados. Os métodos utilizados para coleta de dados dessas pesquisas se diferenciam.

Basicamente, as pesquisas utilizam de metodologias transversais e longitudinais, sendo, no cenário atual, a transversal predominante. Diferente do método transversal, pesquisas longitudinais utilizam-se de mesma amostra e de equipamentos de monitoramento microclimático móveis que se deslocam por um percurso em diferentes pontos da malha urbana. Embora esta metodologia colete menor volume de dados, permite controlar mais rigorosamente as variáveis coletadas e analisar mais detalhadamente as mudanças ao longo do tempo, facilitando a identificação de tendências, padrões e causas subjacentes de mudança no conforto térmico em espaços ao ar livre.

Diante do exposto, adotou-se, nesta pesquisa, uma metodologia longitudinal, visando ter um controle maior sobre o histórico térmico dos participantes. Deste modo, foram estabelecidos seis pontos com cenários distintos em um percurso de 1,5 km no interior de um parque urbano em João Pessoa, uma cidade litorânea de clima tropical quente e úmido localizada no nordeste do Brasil.

A seguir, serão descritas as características da área de estudo, a definição do percurso e dos pontos de medição; o monitoramento das variáveis ambientais (microclimáticas), a aplicação do questionário de avaliação subjetiva de percepção térmica, o tratamento e análises de dados, resultados e conclusão.

#### 3.4.1 Características da área de estudo.

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,



Paraíba, entre as coordenadas 7°06'51.32''S e 34°52'38.70''O, implantado no Bioma Mata Atlântica, composta por um ecossistema florestal classificado como Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas.

O Parque Zoobotânico Arruda Câmara é popularmente conhecido como “Bica”, abriga uma variedade de espécies da fauna e flora endêmicas e exóticas, é frequentado por moradores e turistas de várias regiões para contemplação da natureza, prática de atividades físicas, passeios, recreação, sociabilidade e descanso. Foi criado em 1921 e inaugurado em 1922.

Em 1980, foi reconhecido pelo IPHAEP (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba) como bem de interesse histórico estadual e, em 1999, foi registrado junto ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) como parque zoobotânico.

João Pessoa possui um macroclima tropical quente e úmido (Am-Köppen-Geiger), com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, que vai de abril a agosto, e uma estação seca, de setembro a março. As médias anuais de temperatura do ar estão em torno de 25 °C, média mínima de aproximadamente 23 °C e média máxima de cerca de 28 °C. Durante a estação chuvosa, a precipitação mensal pode ultrapassar 150 mm, especialmente nos meses de maio e junho. Já na estação seca, a precipitação é significativamente menor, com novembro sendo o mês mais seco, apresentando precipitação média de cerca de 34 mm. A média da umidade relativa do ar é alta durante todo o ano, em torno dos 80 % em julho e caindo para cerca de 70 % em setembro.

**Figura 7** – Mapa de Localização da área de estudo.



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

### 3.4.2 Definição do percurso e dos pontos de medição.

Inicialmente, foram realizadas incursões para investigar a fisionomia da trilha ecológica contemplada pelo parque, observando-se fatores gerais relacionados à distância percorrida, direção e localização geográfica, acessibilidade, tempo para percurso completo, segurança para os participantes e locais para acomodação de equipamentos. Outras características, como o tipo do passeio, presença da vegetação ao longo do percurso, exposição à radiação solar, presença de corpos hídricos e edificações, também foram observadas. A Figura 8 apresenta a estrutura do parque.

**Figura 8** – Mapa do PZBAC para orientação dos visitantes.



Fonte: PMJP – PZBAC, 2024.

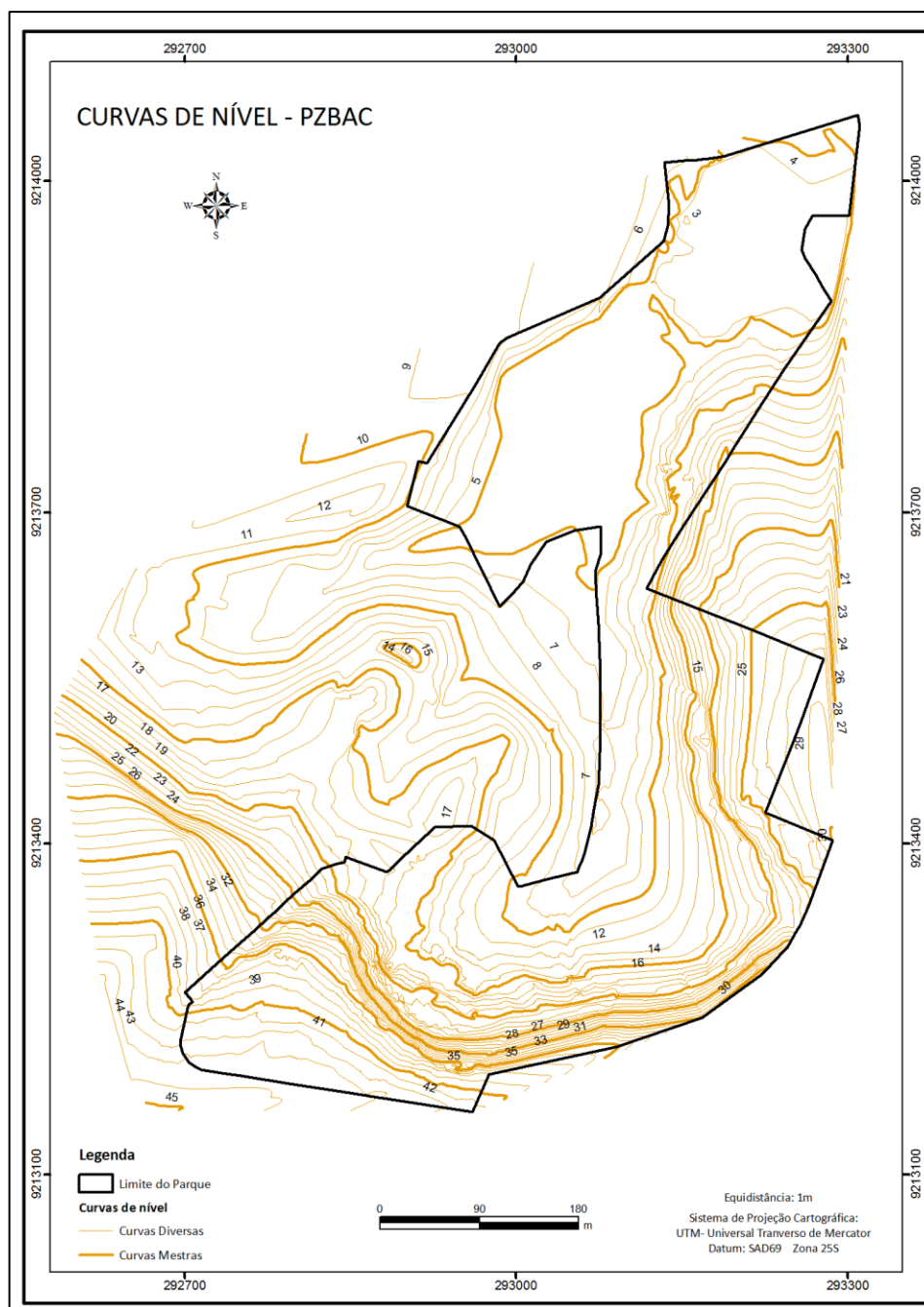
O Parque Zoobotânico Arruda Câmara possui uma topografia acidentada, característica do Baixo Planalto Costeiro, com sedimentos Plio-Pleistocênicos da Formação Barreiras. Na porção norte, encontra-se sob Planícies Inundáveis compostas por Depósitos Colúvio-Aluviais, com predominância de 3 tipos de solo na área: Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelhos Amarelos, Solos Aluviais. A ocupação do solo é representada por 7 classes: água, vegetação arbórea, vegetação arbórea-arbustiva, área construída, vias, gramíneas, solo exposto, sendo a vegetação arbórea mais representativa com 75% de ocupação (Silva, 2013).

As curvas de nível do Parque Zoobotânico Arruda Câmara destacam uma topografia diversificada, com variações de altitude que podem influenciar diretamente no microclima e o conforto térmico dos usuários. Áreas mais elevadas, expostas ao vento, podem proporcionar uma sensação térmica mais agradável em dias quentes, enquanto regiões mais baixas, protegidas por encostas e sombreada pela vegetação, podem reter umidade e oferecer temperaturas mais amenas.

A atividade de caminhar nessa topografia, também pode afetar o conforto térmico, especialmente em porções mais íngremes, onde o esforço físico da subida aumenta a produção de calor corporal. Em contrapartida, as áreas planas oferecem maior facilidade e menor desgaste térmico.

A figura 9 apresenta uma análise detalhada da topografia do Parque Zoobotânico Arruda Câmara, destacada pelas curvas de nível que evidenciam as variações de relevância da área.

**Figura 9** - Delimitação das curvas de nível da área do PZBAC.

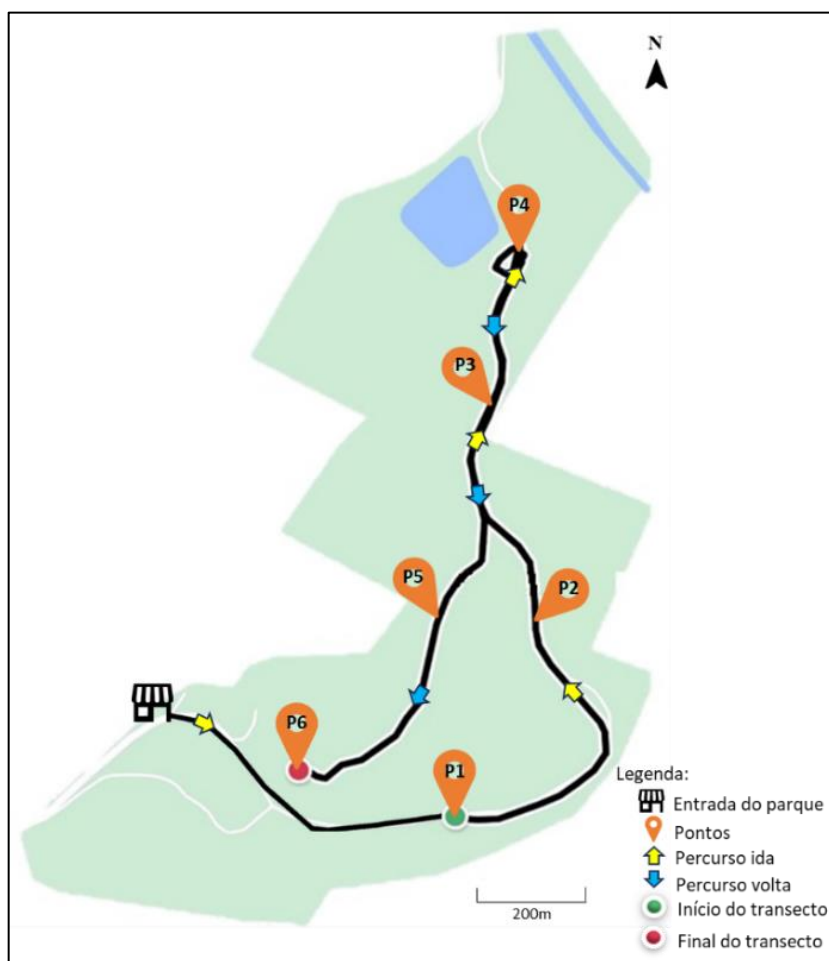


Fonte: Silva, 2013.

Com base nas informações coletadas, foram selecionados seis pontos de interesse para a realização da pesquisa ao longo de 1,5 km (percurso total da trilha, sentido ida e volta). Determinou-se também a distância entre os pontos e velocidade da caminhada de até 4 km/h. Nestas condições, é possível realizar o percurso total da trilha em até 30 minutos. Em cada um dos 6 pontos, foram reservados 5 minutos para que o PLEMS registrasse dados microclimáticos e os participantes pudessem responder ao questionário. Assim, o tempo total do percurso aumentou em 30 minutos, totalizando 1 (uma) hora.

Após a definição do percurso e escolha dos pontos, foi realizada a descrição de cada ponto ao longo do percurso através de observações, mapeamento e registro fotográfico. O mapeamento da rota do percurso foi desenhado com auxílio do aplicativo *Adidas Running*®. Este é um aplicativo de corrida que utiliza o GPS do celular para mapear uma rota percorrida em um mapa, através de uma representação cartográfica padrão. Além disso, é capaz de gravar informações de velocidade, distância percorrida e tempo decorrido (Figura 10).

**Figura 10** – Mapa de localização dos pontos no percurso.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

O ponto 1 está localizado no início da trilha do parque, logo após a área dos recintos dos animais. O passeio, neste ponto, é pavimentado com paralelepípedos, impermeável. A vegetação é robusta, com uma ampla variedade de espécies arbustivas e arbóreas típicas da Mata Atlântica. As árvores, com alturas entre 10 e 20 metros, proporcionam sombra, criando um ambiente agradável para os visitantes.

O ponto 2 é semelhante ao ponto 1: possui uma grande diversidade de espécies arbustivas e arbóreas que margeiam a trilha, oferecendo sombra. No entanto, o passeio é permeável, com solo exposto de areia batida, diferenciando-se um pouco do ponto anterior.

O ponto 3 está situado próximo à área de convivência na parte final do parque, perto das lanchonetes, do embarque do trenzinho e do muro de contenção. O passeio, neste ponto, é impermeável, com piso intertravado de concreto. A vegetação é mais esparsa e composta principalmente por arbustos e algumas árvores, resultando em áreas com sol e sombra intercaladas.

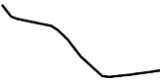


























O ponto 4 está na parte final do parque, próximo a uma lagoa. O solo é impermeável, coberto por piso intertravado de concreto. É a área mais aberta do parque, com poucas árvores que não fornecem sombra suficiente, tornando-o o ponto mais exposto à radiação solar.

O ponto 5 está localizado na área mais baixa do parque, entre duas pequenas pontes de madeira. Ele possui um leito de água ao longo do percurso. O passeio é permeável, com solo de terra úmida rico em matéria orgânica e coberto por serrapilheira. A vegetação é fechada e exuberante, com várias árvores de médio e grande porte, tornando-o o ponto mais sombreado do percurso.

O ponto 6 é o último do percurso. Localizado no início do parque na área de recreação, é um espaço aberto, edificado com recintos de animais, parque infantil e área administrativa. O passeio é impermeável de paralelepípedo, exceto no parquinho, que é permeável com areia. A vegetação arbórea, algumas com até 30 metros, sombreia o local, mas não totalmente, com espaços expostos ao sol ou sol filtrado.






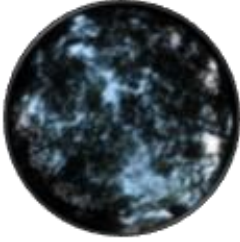








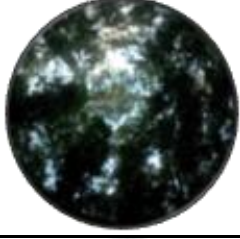
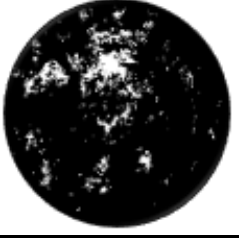




Tabela 10 – Caracterização dos pontos e percurso.

Pontos	Distância (m)	Tempo (min)	Percurso	Imagens
Entrada do parque	270	03:52	 Entrada para 1	  
1	300	04:25	 1 para 2	  
2	280	04:15	 2 para 3	  
3	210	03:02	 3 para 4	  
4	410	05:59	 4 para 5	  
5 e 6	190	03:07	 5 para 6	     

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O registro fotográfico dos pontos foi realizado através de câmera convencional de *smartphone*. As imagens de fator do céu visível (FCV) foram registradas com lente olho de peixe acoplada a uma câmera Nikon modelo D90, com lente *fish-eye* de 4 mm acoplada a um tripé a 1,20 m do solo, apontada para o céu, na posição norte. As máscaras de sombra e o índice de FCV foram gerados através do *software Gap Light Analyzer*, um *software* de código aberto, utilizado na análise de imagens em estudos de vegetação para avaliar parâmetros de distribuição da luz no ambiente (Tabela 11).

Tabela 11 – Fotografias hemisféricas e FCV.

Ponto	Foto hemisférica	Máscara de sombra	FCV	Experimento
1			0,403	
2			0,174	
3			0,634	
4			0,828	
5			0,092	
6			0,282	

Fonte: Elaboração própria, 2024.



### 3.4.3 Monitoramento microclimático - Aspectos instrumentais

O monitoramento microclimático foi realizado em dois períodos distintos: úmido (julho e agosto de 2023) e seco (dezembro de 2023 e janeiro de 2024). Ao todo, foram realizadas 11 campanhas no período úmido e 9 no período seco. Em ambos os períodos, o monitoramento ocorreu em dia com condições atmosféricas padronizadas (céu claro, sem precipitação e baixa velocidade do ar), das 8 às 16 horas. As variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do globo e velocidade do ar foram registradas de modo dinâmico através de um percurso pedonal.

Para garantir a confiabilidade dos dados, foram realizadas, de forma complementar, comparações entre os registros do PLEMS e dois equipamentos estacionários de referência instalados dentro do parque urbano. Os dados estacionários foram coletados por uma estação microclimática Davis Vantage Pro 2 e um Confortímetro SENSU. Adicionalmente, um *data logger* HOBO U12 foi acoplado ao PLEMS para permitir comparações dinâmicas.

Devido à indisponibilidade de equipamentos, não foi possível utilizar o SENSU e a DAVIS em ambos os períodos do estudo. Para maximizar a comparação entre o maior número possível de equipamentos com o PLEMS, optou-se por usar o SENSU e a DAVIS em períodos climáticos distintos, permitindo, assim, uma análise comparativa mais abrangente dos dispositivos disponíveis.

Durante o monitoramento microclimático dinâmico realizado pelo PLEMS, no período úmido, uma estação *Davis Vantage Pro 2*, foi instalada no ponto 1. A estação foi fixada à altura de 1,10m, com o anemômetro 1,40 m, conforme recomendações da ISO 7726/1998. A estação Davis registrou dados a cada 1 min.

A *Davis Vantage pro 2*, projetada pela empresa *Davis Instruments*, que produz equipamentos de alta qualidade para monitoramento climático, é composta por sensores de temperatura e umidade do ar, anemômetro de copo com pá de vento, piranômetro de silício e coletor de água de chuva.

**Tabela 12** – Especificações dos sensores de estação *Davis Vantage Pro 2*.

Sensor	Resolução por unidade de medida	Intervalo de medição	Precisão
Ta°C	0,1 °C	-40 °C a +65 °C	±0,5 °C
Ur%	1 %	1% a 100 %	±3 %
Va m/s	0,4 m/s	1 a 80 m/s	±1 m/s
Rad. S. W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup>	0 a 1.800 W/m <sup>2</sup>	±3 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o período seco, foi instalado um confortímetro Senu no mesmo ponto, em um tripé a 1,10m de altura (ISO 7726/1998). O SENSU registrou dados a cada 1 minuto de modo estático. Embora diferente da estação *Davis Vantage Pro 2*, que foi produzida para monitoramento climático em ambiente externo, o confortímetro SENSU foi produzido pela empresa Senu Tecnologia Ambiental, para avaliação do conforto térmico em espaços internos. Ainda assim, por ter apresentado resultados comparáveis com o PLEMS nos testes em ambiente interno, considerou-se que seria relevante utilizar o SENSU em condições semelhantes de ambiente ao ar livre. O SENSU é composto por sensores de temperatura e umidade do ar; anemômetro de fio e uma esfera metálica preta de 15 cm para o termômetro de globo.

**Tabela 13** – Especificações dos sensores do Confortímetro Senu.

Sensor	Resolução por unidade de medida	Intervalo de medição	Precisão
Ta°C	0,1 °C	-10 °C a +50 °C	±0,2 °C
Ur%	1 %	0% a 100 %	±3 %
Va m/s	0,01 m/s	0,01 m/s a 5 m/s	±0,03 m/s
Tg°C	0,1 °C	-10°C a 120 °C	±0,5 °C

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em ambos os períodos, um *data logger* HOB0 U12, produzido pela *Onset Computer Corporation*, foi acoplado a umas das hastes do PLEMS para permitir comparações dinâmicas, além das comparações com as estações fixas. O HOB0 U12 foi fixado de modo centralizado com fita dupla face na haste horizontal superior do PLEMS a 1,20 m de altura, abaixo dos sensores do PLEMS, de modo a não causar interferências, com registros a cada 1 minuto.

O *data logger* HOB0 U12 é um dispositivo capaz de registrar as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e iluminância, esta última não foi utilizada nesta pesquisa. Por ser um *data logger* versátil, pode ser utilizado para uma variedade de aplicações de monitoramento de dados, incluindo ambientes externos. No entanto, é importante garantir que ele esteja instalado protegido contra os elementos externos por um abrigo ou barreira térmica.

**Tabela 14** – Especificações dos sensores do HOB0 – U12.

Sensor	Resolução por unidade de medida	Intervalo de medição	Precisão
Ta°C	0,03 °C	-20 °C a +70 °C	±0,3 °C
Ur%	0,03 %	5% a 95%	±2,5 %
Iluminância lux	1 lux	10,764 lux a 32,292 lux.	±5 %

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Como explicito mais detalhadamente no tópico 3.5 deste manuscrito, O PLEMS é um protótipo de mochila bioclimática desenvolvido em parceria entre pesquisadores da

Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) para realização de monitoramento microclimático em ambientes urbanos. É composto por sensores de microclimáticos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura de globo, que atendem aos requisitos estabelecidos para a classe C (conforto) da norma ISO 7726 (1998). O termômetro de globo utilizado no PLEMS foi construído com uma bola de tênis de mesa oficial de 40mm, originalmente de cor branca, mas pintada na cor cinza claro, de acordo com as orientações apresentadas por Thorsson *et al.* (2007).

**Tabela 15** – Especificações dos sensores microclimáticos do PLEMS.

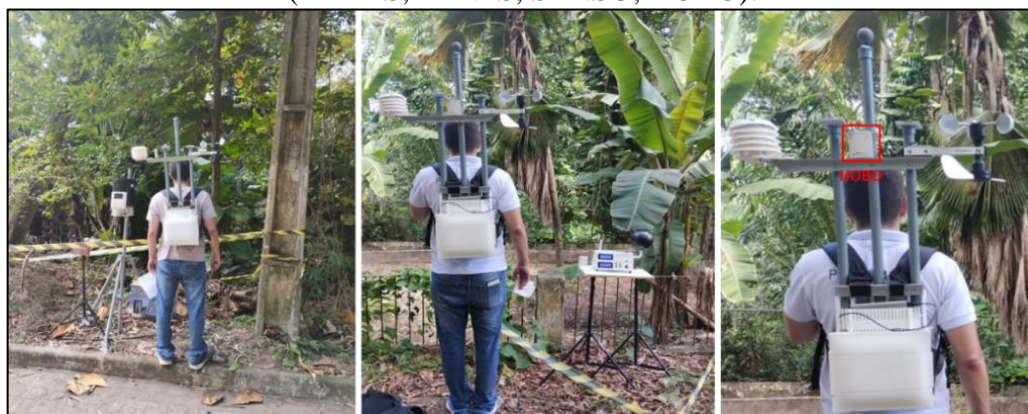
Sensor	Resolução por unidade de medida	Intervalo de medição	Precisão
Ta°C	0,01 °C	-40 a 85 °C	±0,3 °C
Ur%	0,02 %	0% a 100 %	±2 %
Va m/s	0,02 m/s	0,2 a 37 m/s	±0,5 m/s
Tg°C	0,06 °C	-55 a 125 °C	±0,5 °C

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o período úmido, o PLEMS registrou dados a aproximadamente 1,5 minutos, utilizando como equipamento de referência a estação microclimática Davis Vantage Pro 2. No período seco, após aperfeiçoamentos na programação do sistema do PLEMS, os dados foram registrados a cada 1 minuto. Essa atualização foi necessária para alinhar o tempo de registro do PLEMS com os demais equipamentos de referência, que registraram dados a cada 1 minuto.

Em cada um dos 6 pontos, o usuário do PLEMS permaneceu parado na posição norte verdadeiro por 5 minutos. Assim, durante o período úmido, foi possível coletar 4 registros por ponto, com intervalos de aproximadamente 1,5 minutos entre cada medição. No período seco, após ajustar o tempo de registro para 1 minuto, foi possível coletar 5 registros em cada ponto.

**Figura 11** – Equipamentos de monitoramento microclimáticos (PLEMS, DAVIS, SENSU, HOBO).



Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### 3.4.4 Aplicação do questionário de avaliação subjetiva de percepção térmica

Simultaneamente ao monitoramento microclimático o questionário de avaliação subjetiva de percepção térmica foi aplicado aos participantes pré-selecionados. A quantidade de participantes por dia foi variável, dependendo da disponibilidade de voluntários. A quantidade de participantes da amostra foi determinada com base em outros estudos do tipo longitudinal captados através da revisão sistemática, de modo geral, os estudos longitudinais incluíram de 12 a 58 participantes (VANOS et al., 2012; GONÇALVES et al., 2019; HE et al., 2020). Durante o período chuvoso, o experimento conseguiu a participação de 50 voluntários.

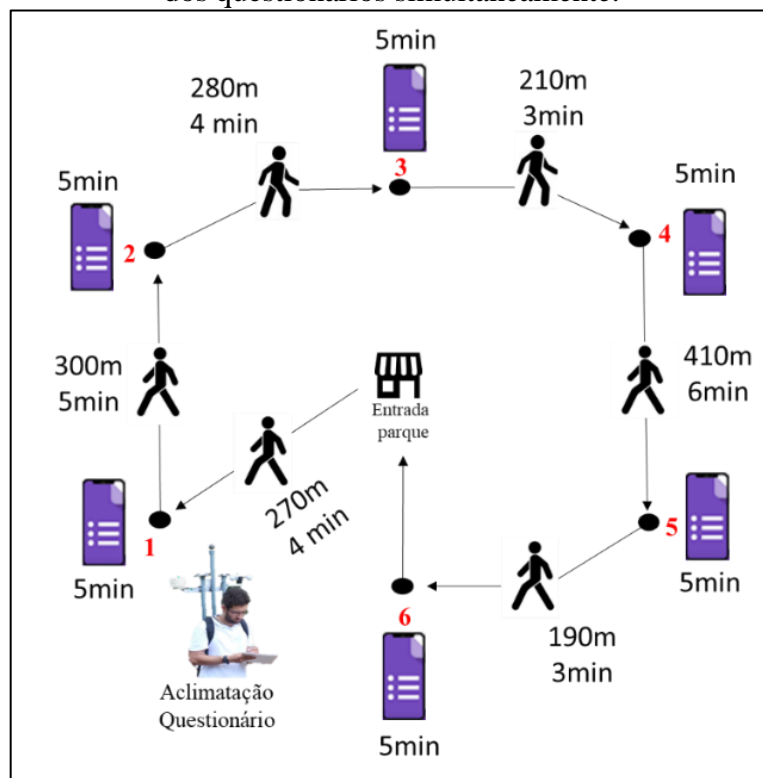
Durante o período seco, buscou-se manter o mesmo número de voluntários, totalizando 103 participantes. Os voluntários foram recrutados através de contatos pessoais com familiares, amigos e colegas de curso. Uma ferramenta importante para atrair mais voluntários foi a divulgação da pesquisa em redes sociais. Para incentivar a participação, foi oferecida entrada franca no parque e liberação para visita após a conclusão da pesquisa. A única exigência inicial foi a idade mínima de 18 anos para os participantes.

Para otimizar o armazenamento dos dados e o tempo das respostas, o questionário foi convertido em *Google Forms* acessado com auxílio de *smartphones*. O tempo de 5 minutos, em cada ponto, foi suficiente para que os participantes respondessem às perguntas, com tranquilidade, evitando erros nas respostas e perda de dados.

Inicialmente, ao entrarem no parque, os participantes percorreram uma distância de 270 metros até alcançarem o ponto inicial do experimento. Ao chegarem ao ponto 1, receberam instruções sobre a pesquisa e o percurso a ser percorrido.

Além disso, receberam os *links* do questionário via aplicativo de formulários em seus celulares e foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento (TCLE) de participação da pesquisa (exigidos pelo comitê de ética CCS-UFPB). Este momento durou 15 minutos, tempo necessário para a estabilização dos equipamentos e aclimação dos participantes. O tempo de permanência em cada ponto foi de 5 minutos. A partir do ponto 2, os participantes avaliaram de forma subjetiva as condições térmicas do ponto anterior.

**Figura 12** – Medições microclimáticas e aplicação dos questionários simultaneamente.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

### 3.5 Tratamento e análises de dados – Procedimentos estatísticos

Após a aferição entre os sensores do PLEMS com o equipamento de referência (SENSU), foi realizada uma análise de regressão para variáveis microclimáticas: temperaturas do ar, temperatura do globo e umidade relativa do ar. Esse método estatístico permite examinar a relação entre duas ou mais variáveis, sendo que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica o quão bem o modelo linear se ajusta aos dados. Quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo.

Além disso, foi adotada a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis (valor-p), que é utilizada para comparar dois ou mais grupos independentes em relação a uma variável quantitativa. A regressão linear, por sua vez, é um método amplamente utilizado em estatística quantitativa.

Para determinar a aplicação da equação de regressão com viés de calibração, foi utilizado o erro médio absoluto (EMA). O EMA representa a média das diferenças absolutas entre os dados coletados e os simulados no processo de calibração.

O processo de calibração está apresentado detalhadamente no item 3.3.1 deste manuscrito.

As variáveis microclimáticas e os dados dos questionários foram digitalizados, organizados e analisados estatisticamente através do Software Microsoft Excel® 2010.

Os questionários de avaliação subjetivas foram validados através do método de Coeficiente de Validade de Conteúdo (CVC), proposto por Hernandez-Nieto (2002), a concordância entre as respostas dos avaliadores foi analisada através do Percentual de Concordância e do Coeficiente de Concordância de Kendall's W, descrito no tópico 3.2.1 deste manuscrito.

Através de gráficos tipo *boxplot*, foram analisadas as estatísticas descritivas das variáveis subjetivas (questionários) e das variáveis microclimáticas ( $T_a$ ,  $U_r$ ,  $T_g$ ,  $V_a$  e  $T_{rm}$ ) e dos índices PET e UTCI. O gráfico *boxplot* é uma ferramenta gráfica eficiente para visualizar a distribuição de dados. Ele permite identificar a mediana (valor central), os quartis (Q1 e Q3), e a amplitude interquartil (IQR), que juntos mostram a dispersão e a centralidade dos dados. Também destaca os valores mínimos e máximos e simetria ou assimetria da distribuição dos dados.

Os índices UTCI e PET foram calculados a partir das variáveis microclimáticas: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura radiante média (calculada a partir dos valores da temperatura do globo), isolamento térmico do vestuário e taxa metabólica a com auxílio do *Software Rayman Pro 3.1* (Matzarakis; Rutz, 2010).

**Figura 13** – Interface do software para inserção de dados.

Fonte: Matzarakis; Rutz (2010).

Tanto o UTCI quanto o PET têm sido amplamente adotados por pesquisadores de conforto térmico no contexto urbano (Krüger, 2021; Krüger; Drach, 2016; Labaki *et al.* 2012). As categorias de estresse térmico do UTCI e PET estão expressas nas tabelas 16 e 17.

**Tabela 16** – 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 Krüger (2021).

**Tabela 17** – 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: Adaptado de Monteiro e Alucci (2008).

A velocidade do vento foi coletada a uma altura de 1,90m. O cálculo do UTCI necessita dos valores da velocidade do vento, em m/s, a 10 metros de altura. Para isso, foi utilizado o fator de conversão sugerido por Bröde *et al.* (2012).

$$va = vaxm * \frac{\log\left(\frac{10}{0,01}\right)}{\log\left(\frac{x}{0,01}\right)}$$

onde,

va = velocidade do vento a 10 metros de altura, em m/s;

vaxm = velocidade do vento medida à x metros, em m/s;

x = altura em relação ao chão em que o vento foi medido, em metros.

A partir dos dados de peso e altura foi possível calcular o índice de massa corporal (IMC) de cada participante.

$$\text{IMC} = \frac{\text{peso}}{\text{altura}^2}$$

onde,

IMC = índice de massa corporal;

peso = peso, em quilogramas;

altura = altura, em metros.

A Temperatura radiante média foi calculada a partir dos valores de temperatura do globo, através da equação de convecção forçada recomendada pela norma ISO 7726(1998).

$$\text{Trm} = [(\text{tg} + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot V_a^{0,6}}{\varepsilon_g + D^{0,4}} + (\text{tg} - \text{ta})]^{1/4} + 273$$

Onde,

Trm = temperatura radiante média, em °C;

tg = temperatura de globo, em °C;

Va = velocidade do ar, em m/s;

$\varepsilon_g$  = emissividade do termômetro de globo (adimensional);

D = diâmetro da esfera do termômetro de globo, em metros;

ta = temperatura do ar, em °C.

O valor da taxa metabólica assumida foi de 165 W/m<sup>2</sup> de acordo com a ISO 8896(2004), que corresponde à atividade de caminhar a uma velocidade de 4km/h.

Após o cálculo dos índices de conforto e das análises descritivas dos três conjuntos de variáveis (subjativa, microclimáticas e índices de conforto térmico), foi realizada a verificação de normalidade das variáveis através do teste Shapiro-Wilk a um nível de significância de 95%. Como as variáveis qualitativas e quantitativas não obedeceram a uma distribuição normal, para verificar a existência de associação entre estes dois grupos de variáveis, foi preferível a correlação de Spearman ao nível de confiança de 95%.

Para estabelecer um intervalo de conforto térmico entre os visitantes, foram gerados gráficos de dispersão tipo bolha em função das variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico. A variável sensação térmica foi tomada como reta Y, e as variáveis climáticas e índices de conforto foram tomadas como reta X. Como valor da terceira variável, tomou-se a frequência dos votos em cada categoria.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados referentes à validação dos instrumentos de coleta de dados subjetivos (questionários); a calibração dos sensores térmicos do PLEMS e a aplicação do método em um estudo de caso, além das discussões e da confrontação com pesquisas similares.

### 4.1 Validação dos questionários.

Os resultados apontaram que o CVC para clareza, pertinência e adequação avaliados por 11 juízes são satisfatórios (Tabela 18). Todas as 10 questões dos questionários obtiveram valor de CVC entre 0,8 e 0,9. Esses valores representam a aceitabilidade e a viabilidade do questionário para serem aplicados nos estudos de conforto térmico em espaços abertos.

**Tabela 18** – Coeficiente de Validade de Conteúdo, conforme a clareza e a pertinência – avaliação final dos juízes.

Questão	Clareza	Pertinência	Adequação
1	0,96	0,96	0,95
2	0,91	0,96	0,93
3	0,95	0,96	0,93
4	0,98	0,96	0,95
5	0,87	0,91	0,93
6	0,87	0,95	0,93
7	0,87	0,93	0,93
8	0,95	0,95	0,91
9	0,93	0,95	0,93
10	0,93	0,89	0,91

Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### 4.1.1 Análise de concordância entre avaliadores

A concordância entre os votos dos avaliadores foi analisada para clareza, pertinência e adequação. Nas três situações analisadas, os resultados do questionário, avaliado por 11 especialistas, demonstraram um alto nível de concordância geral. As categorias que mais

receberam votos foram "Concordo parcialmente" e "Concordo totalmente" As Tabelas 19, 20 e 21 apresentam a distribuição de votos em termos absolutos para cada categoria.

**Tabela 19-** Distribuição dos votos em números absolutos para clareza.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente	Total de respostas
1	0	0	0	2	9	11
2	0	1	0	2	8	11
3	0	0	1	1	9	11
4	0	0	0	1	10	11
5	0	1	0	4	6	11
6	0	1	0	4	6	11
7	0	1	1	2	7	11
8	0	0	1	1	9	11
9	0	1	0	1	9	11
10	0	0	1	2	8	11
<b>Total</b>	0	5	4	20	81	110

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Tabela 20-** Distribuição dos votos em números absolutos para pertinência.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente	Total de respostas
1	0	0	0	2	9	11
2	0	0	0	2	9	11
3	0	0	1	0	10	11
4	0	0	0	2	9	11
5	0	1	0	2	8	11
6	0	0	1	1	9	11
7	0	1	0	1	9	11
8	0	0	1	1	9	11
9	0	1	0	0	10	11
10	0	0	1	4	6	11
<b>Total</b>	0	3	4	15	88	110

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Tabela 21-** Distribuição dos votos em números absolutos para adequação.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente	Total de respostas
1	0	0	0	3	8	11
2	0	0	0	4	7	11
3	0	0	1	2	8	11

4	0	0	0	3	8	11
5	0	0	1	2	8	11
6	0	1	0	1	9	11
7	0	1	0	1	9	11
8	0	0	1	3	7	11
9	0	1	0	1	9	11
10	0	1	0	2	8	11
<b>Total</b>	0	4	3	22	81	110

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para o quesito clareza, de modo geral o percentual de concordância foi de aproximadamente 74% das respostas dos especialistas na categoria "Concordo totalmente", enquanto 18% corresponderam à categoria "Concordo parcialmente". Em contrapartida, as categorias "Discordo totalmente" e "Discordo parcialmente" juntas somaram apenas 5% das respostas. Já a categoria "Nem concordo, nem discordo" correspondeu a 4% das respostas. (ver Tabela 22).

**Tabela 22** - Distribuição percentual dos votos para clareza.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
1	0%	0%	0%	18%	82%
2	0%	9%	0%	18%	73%
3	0%	0%	9%	9%	82%
4	0%	0%	0%	9%	91%
5	0%	9%	0%	36%	55%
6	0%	9%	0%	36%	55%
7	0%	9%	9%	18%	64%
8	0%	0%	9%	9%	82%
9	0%	9%	0%	9%	82%
10	0%	0%	9%	18%	73%
<b>Total</b>	0%	5%	4%	18%	74%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os resultados para o quesito pertinência, foram semelhantes aos resultados da clareza, o percentual geral de concordância foi de aproximadamente 80% das respostas dos especialistas na categoria "Concordo totalmente", enquanto 14% corresponderam à categoria "Concordo parcialmente". Por outro lado, as categorias "Discordo totalmente" e "Discordo parcialmente" juntas somaram apenas 3% das respostas. Já a categoria "Nem concordo, nem discordo" correspondeu a 4% das respostas (ver Tabela 23).

**Tabela 23** - Distribuição percentual dos votos para pertinência.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
1	0%	0%	0%	18%	82%
2	0%	0%	0%	18%	82%
3	0%	0%	9%	0%	91%
4	0%	0%	0%	18%	82%
5	0%	9%	0%	18%	73%
6	0%	0%	9%	9%	82%
7	0%	9%	0%	9%	82%
8	0%	0%	9%	9%	82%
9	0%	9%	0%	0%	91%
10	0%	0%	9%	36%	55%
<b>Total</b>	0%	3%	4%	14%	80%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os resultados para o quesito adequação, também foram semelhantes aos resultados da clareza e pertinência, o percentual geral de concordância foi de aproximadamente 74% das respostas dos especialistas na categoria "Concordo totalmente", enquanto 20% corresponderam à categoria "Concordo parcialmente. Por outro lado, as categorias "Discordo totalmente" e "Discordo parcialmente" juntas somaram apenas 4% das respostas. Já a categoria "Nem concordo, nem discordo" correspondeu a 3% das respostas (ver tabela 24).

**Tabela 24** - Distribuição percentual dos votos para adequação.

Pergunta	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Nem concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
1	0%	0%	0%	27%	73%
2	0%	0%	0%	36%	64%
3	0%	0%	9%	18%	73%
4	0%	0%	0%	27%	73%
5	0%	0%	9%	18%	73%
6	0%	9%	0%	9%	82%
7	0%	9%	0%	9%	82%
8	0%	0%	9%	27%	64%
9	0%	9%	0%	9%	82%
10	0%	9%	0%	18%	73%
<b>Total</b>	0%	4%	3%	20%	74%

Fonte: Elaboração própria, 2024

Juntos, esses resultados sugerem que os avaliadores estavam alinhados e favoráveis às afirmações apresentadas no questionário. Para os três quesitos observados a discordância entre os avaliadores foram baixas, o que demonstra que poucas vezes os especialistas ficaram neutros em relação às perguntas avaliadas

Para avaliar a consistência e o grau de concordância entre os especialistas, foi realizado o cálculo do coeficiente de concordância de Kendall's W. para clareza, pertinência e adequação. O coeficiente  $W = 0,781$  para clareza;  $0,650$  para pertinência e  $0,721$  para adequação demonstram que as concordâncias são substanciais entre os avaliadores e refletem um alinhamento considerável nas respostas.

Além disso, o teste de significância estatística apresentou p-valor menor que o nível de significância de  $0,05$  para os três quesitos analisados. Reforçando que a concordância observada é consistente e confiável, dando validade a robustez ao processo avaliativo.

De forma complementar o valor de  $r = 0,756$  para clareza;  $0,611$  para pertinência e  $0,746$  para adequação, corroboram com a força da relação entre as classificações realizadas pelos avaliadores, mostrando uma correlação moderada a forte.

A Tabela 25 apresenta a análise completo.

**Tabela 25** - Coeficiente de Concordância de Kendall's W para clareza, pertinência e adequação.

Kendall's W	Clareza	Pertinência	Adequação
W	0,7810	0,6505	0,7715
r	0,75666667	0,611666667	0,746111111
chi-sq	31,24	26,02	30,86
df	4	4	4
p-value	2,735E-06	3,13521E-05	3,26944E-06

Fonte: Elaboração própria, 2024

Para testar a eficiência e a viabilidade da estrutura do questionário proposto, o mesmo foi aplicado com cinco participantes em estudo-piloto realizado em um parque urbano na cidade de João Pessoa, Paraíba. Com a ferramenta proposta, foi possível coletar as informações necessárias para a avaliação subjetiva do conforto térmico. A partir do *feedback* dos participantes, pequenos ajustes foram realizados na formatação do arquivo *forms* e em expressões para facilitar o entendimento das perguntas. O resultado final do questionário está apresentado no item 3.4 desta tese. Os dados obtidos por meio dos questionários do estudo-piloto foram analisados mediante estatística descritiva, os resultados estão apresentados resumidamente na Tabela 26 e nos Gráficos 8, 9, 10 e 11.

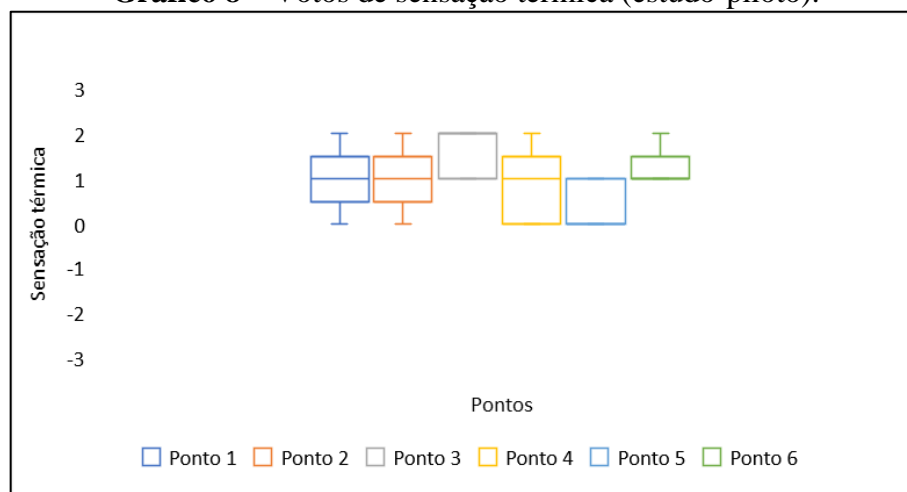
Por ser um estudo piloto, a mostra é pequena (5 participantes) sendo 2 homens e 3 mulheres, com média de 72 kg, 29 anos e 1,66 m de altura. Os participantes não possuíam comorbidades, apenas um era natural de João Pessoa, os demais de cidades de clima semelhante, como Recife e Natal (ver Tabela 26).

**Tabela 26**– Descrição das variáveis pessoais (estudo-piloto).

Parâmetro	Categoria	Estatística descritiva
N	-	5
Sexo Biológico	Masculino	2
	Feminino	3
Peso (kg)	Média	72
	Mínimo	47
	Máximo	100
Idade	Média	29
	Mínimo	27
	Máximo	31
Altura (m)	Média	1,66
	Mínimo	1,52
	Máximo	1,83
Comorbidade	Sim	0
	Não	5
Naturalidade	João Pessoa- PB	1
	Outros	4
Atividade	Caminhando	5
Vestimenta (Clo)	Média	0,44
	Mínimo	0,31
	Máximo	0,52
Permanência na cidade	1 até 10 meses	1
	1 até 4 dias	3
	1 ano ou mais	1

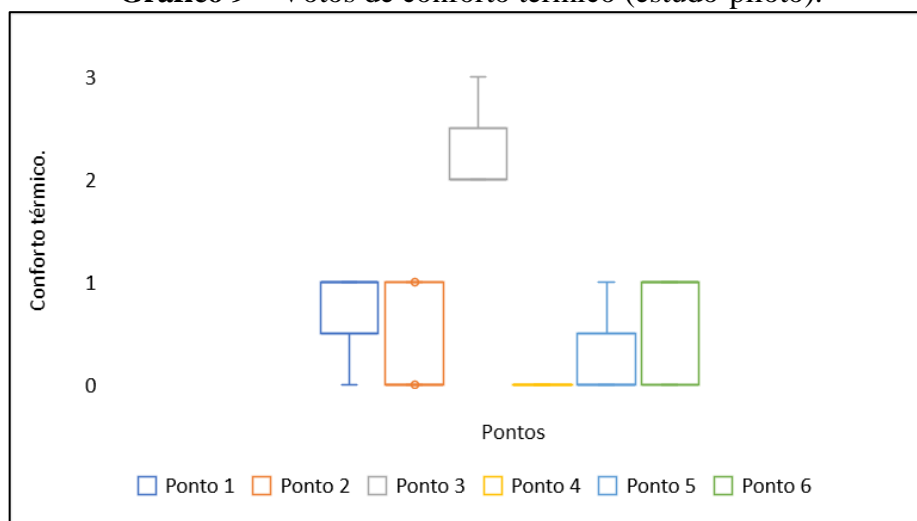
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O Gráfico 8 mostra que no ponto 1 a sensação térmica predominante foi de “pouco de calor”, no ponto 2 também prevaleceu a sensação de “pouco de calor”, no ponto 3 a sensação térmica predominante foi de “calor”, 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", o ponto 5 foi o único com sensação térmica predominante “neutra”, No ponto 6 a sensação foi de “pouco de calor”.

**Gráfico 8 – Votos de sensação térmica (estudo-piloto).**

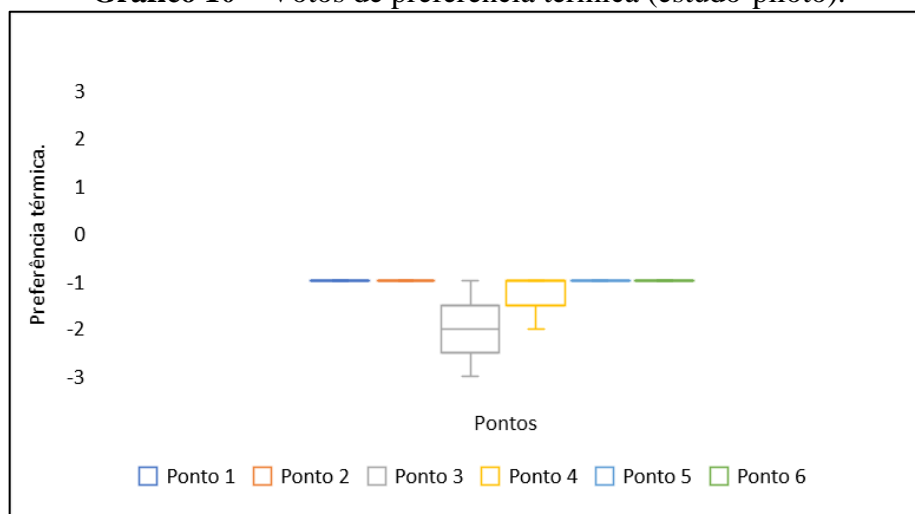
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em relação ao conforto térmico, o Gráfico 9 mostra que o ponto 1 foi considerado “pouco desconfortável”, o ponto 2 diferente do ponto 1 foi considerado “confortável”, no ponto 3 o ambiente foi considerado “desconfortável”, no ponto 4 todos os participantes consideraram o ambiente “confortável”, o ponto 5 o ambiente térmico também foi considerado “confortável”, por fim o ponto 6 o ambiente térmico foi considerado como “pouco desconfortável.”

**Gráfico 9 – Votos de conforto térmico (estudo-piloto).**

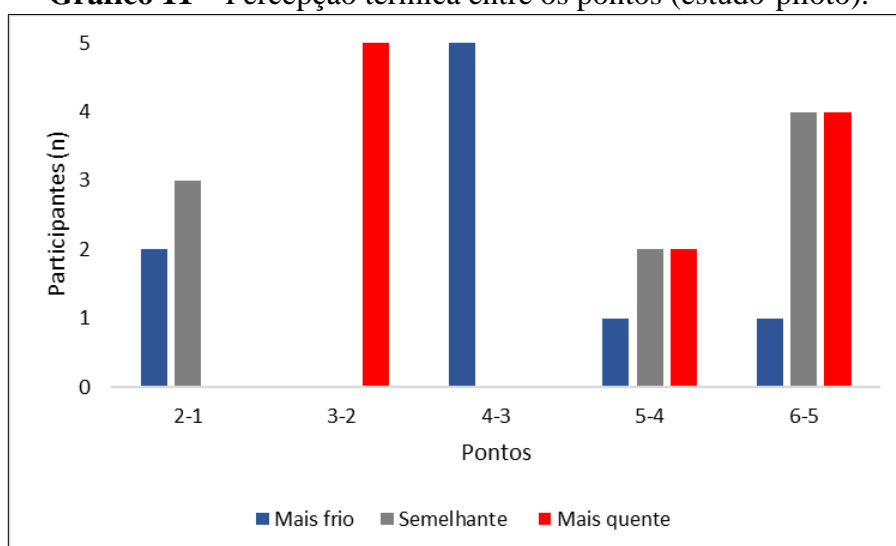
Fonte: Elaboração própria, 2024.

O gráfico 10 mostra que nos pontos 1, 2, 5 e 6 a preferência foi por um ambiente “um pouco mais frio”, já no ponto 3 a preferência foi por um ambiente “muito mais frio” e no ponto 4 a maioria expressou preferência por um ambiente “mais frio”.

**Gráfico 10** – Votos de preferência térmica (estudo-piloto).

Fonte: Elaboração própria, 2024.

O Gráfico 11 mostra a avaliação térmica do ambiente em comparação com o ponto anterior. 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, o ponto 4 em relação ao ponto 3 foi considerado termicamente mais frio, o ponto 5 em relação ao ponto 4 obteve votos em todas as categorias, por fim o ponto 6 foi considerado mais quente que o ponto 5.

**Gráfico 11** – Percepção térmica entre os pontos (estudo-piloto).

Fonte: Elaboração própria, 2024.

De modo geral, o questionário utilizado mostrou-se viável para a aplicação de estudos de conforto térmico dinâmico em espaços abertos, de forma mais ampla, já que cumpriu sua



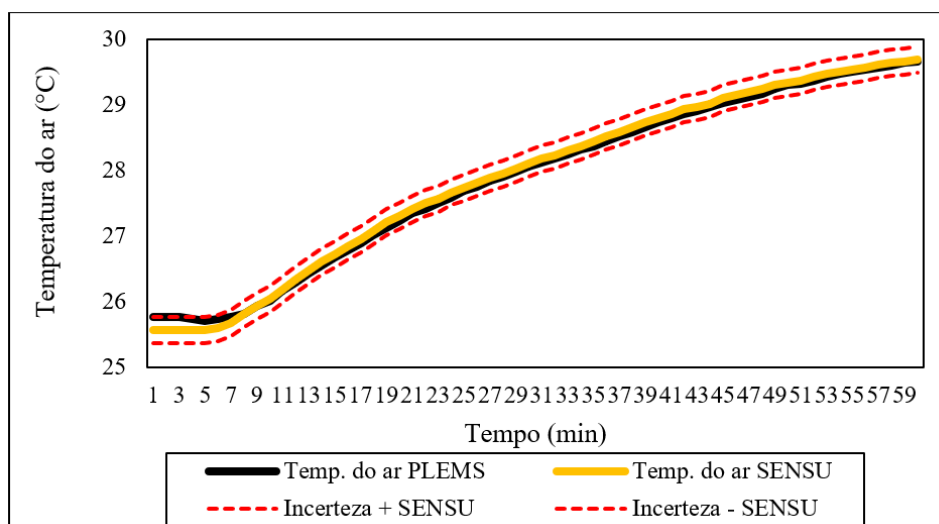
função de coletar as informações biológicas e avaliar a sensação, o conforto e a preferência térmica dos participantes de forma eficiente.

#### 4.2 Aferição e calibração dos sensores de PLEMS.

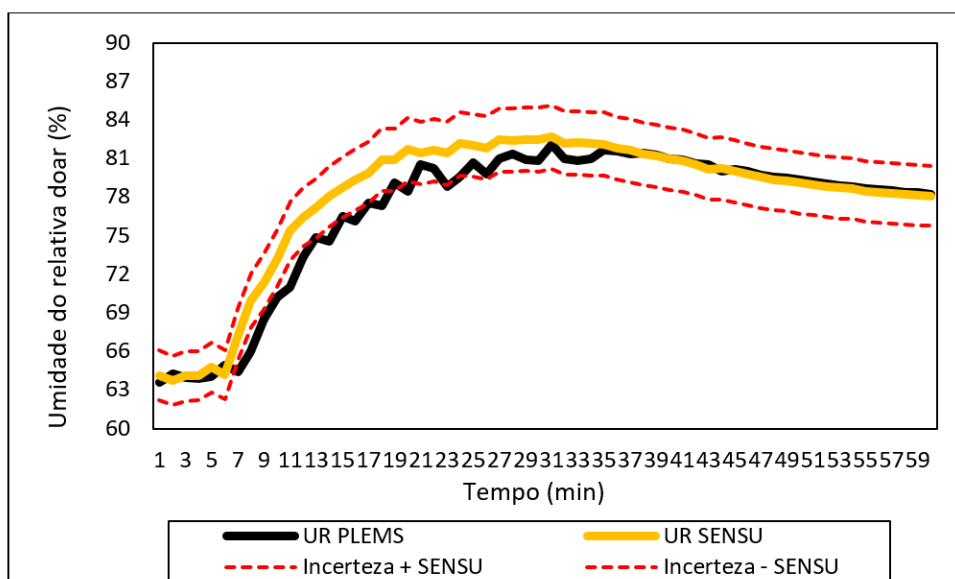
Os gráficos 12, 13 e 14 apresentam a aferição entre o PLEMS e o confortímetro SENSU (equipamento de referência) por uma hora de medição em ambiente interno para as variáveis ambientais temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura do globo. Em cada gráfico, a linha contínua na cor preta representa os dados registrado pelo PLEMS, enquanto a linha contínua na cor amarela representa o calibrador (SENSU). As linhas tracejadas na cor vermelha representam os limites superiores e inferiores da faixa de erro de medição dos sensores do SENSU.

As medições de temperatura do ar (Gráfico 12) registradas pelo PLEMS mostram um alinhamento consistente em relação às medições do equipamento de referência SENSU, permanecendo dentro das faixas de incertezas aceitáveis. Por outro lado, as medições da umidade do ar (Gráfico 13) e temperatura do globo (Gráfico 14) apresentaram algumas divergências, com pontos fora das faixas de incerteza do SENSU.

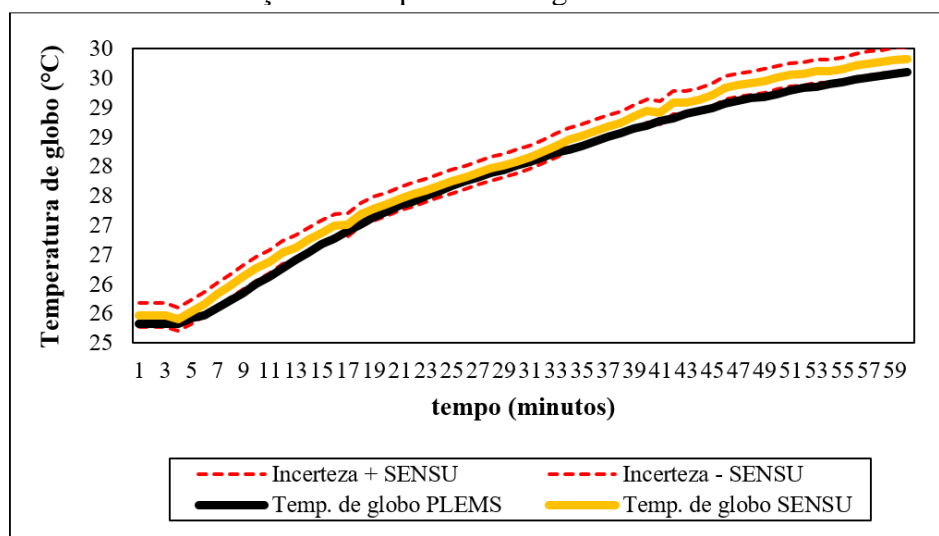
**Gráfico 12** – Aferição da temperatura do ar entre PLEMS e SENSU.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 13** – Aferição da umidade relativa do ar entre PLEMS e SENSU

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 14** – Aferição da temperatura do globo entre PLEMS e SENSU.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Após aferir os sensores do PLEMS com os sensores do equipamento de referência, observou-se que os valores registrados por PLEMS se encontram dentro da faixa de erro das medições do equipamento de referência, exceto a umidade relativa do ar, que apresentou uma variabilidade inicial mais acentuada, e a temperatura do globo, que foi levemente mais próxima ao limite inferior.

Na análise de Kruskal-Wallis, não foram encontradas diferenças significativas (valor- $p < 0,05$ ) entre os grupos analisados, já que o valor- $p$  foi maior que 0,05 para as três variáveis microclimáticas analisadas (Tabela 27). Assim, mesmo sendo opcional, aplicou-se uma

estatística de regressão linear para garantir a confiabilidade dos sensores, principalmente em relação à umidade relativa do ar e à temperatura do globo que apresentaram algumas divergências durante a aferição.

**Quadro 4** – Hipótese para teste de Kruskal-Wallis.

Hipótese
H0 As distribuições da amostra são iguais entre os diferentes grupos analisados.
H1 As distribuições da amostra não são iguais entre os diferentes grupos analisados.
p<0,05 não rejeita a hipótese nula, não existe diferenças entre os grupos.
p>0,05 rejeita a hipótese nula, existe diferenças entre os grupos.

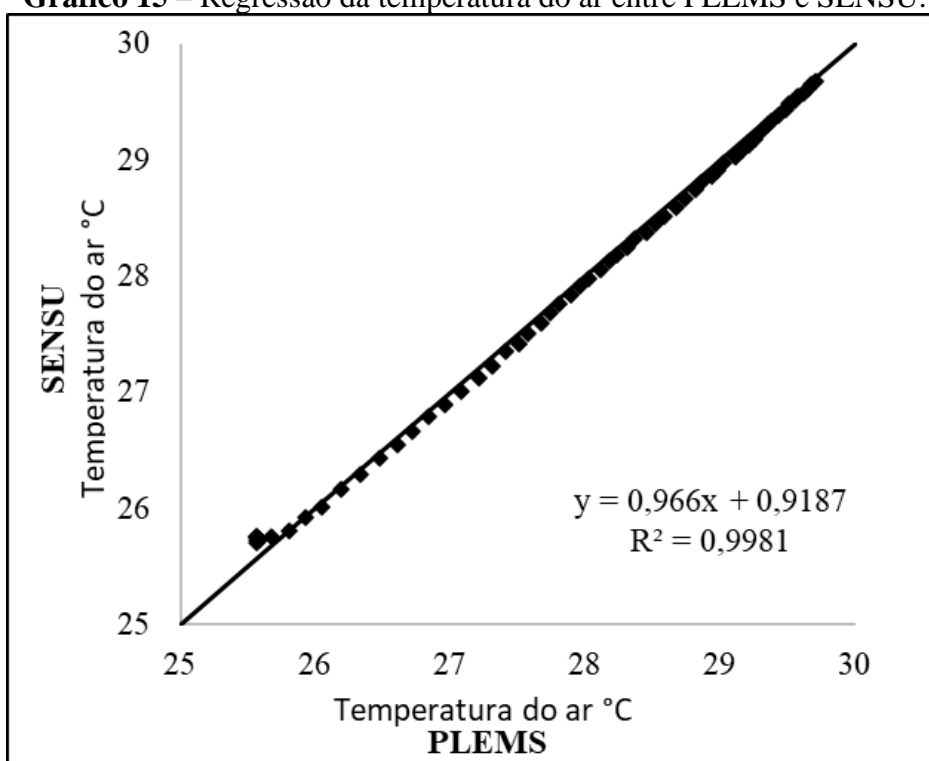
Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Tabela 27** – Resultados do teste de Kruskal-Wallis.

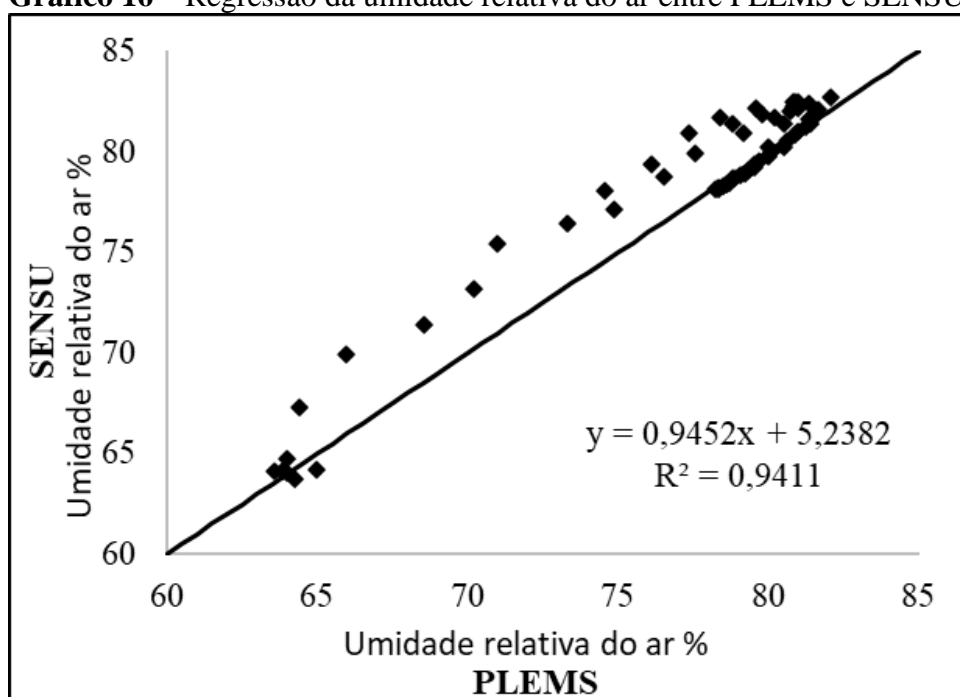
Kruskal-Wallis Test	Temp. ar PLEMS	Temp. ar SENSU	UR PLEMS	UR SENSU	Temp. globo PLEMS	Temp. globo SENSU
median	28,095	28,145	79,18	79,655	28,045	28,115
rank sum	3612,5	3647,5	3305	3955	3458	3802
count	60	60	60	60	60	60
r <sup>2</sup> /n	217502,6042	221737,6042	439240	182050	260700,4	4E+05
H-stat		0,0084		2,91		0,815
H-ties		0,0084		2,91		0,815
df		1		1		1
p-value		0,9268		0,088		0,367
alpha		0,05		0,05		0,05
sig		no		no		no

Fonte: Elaboração própria, 2024.

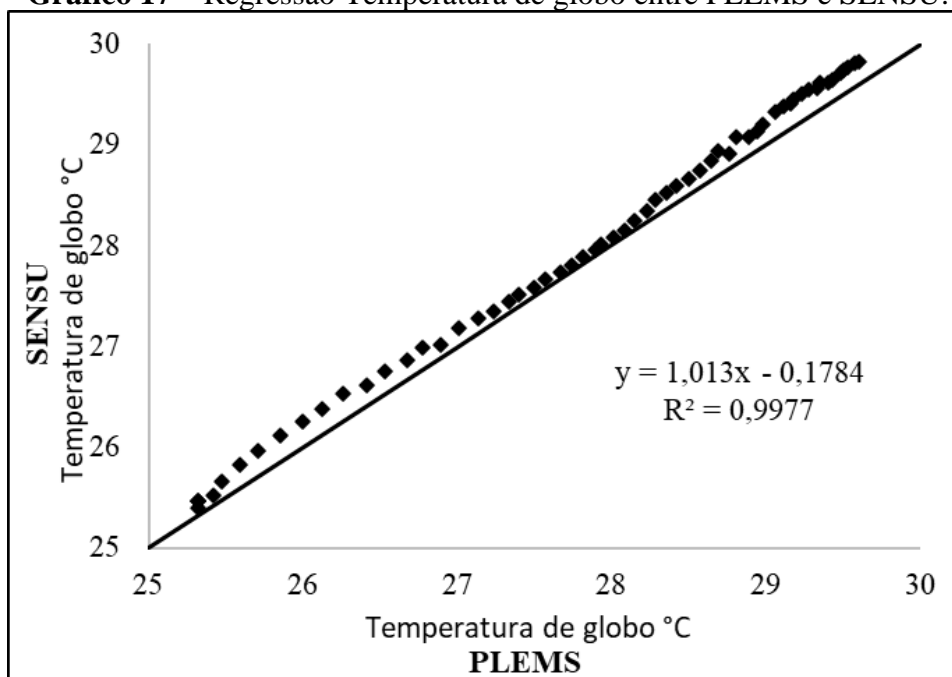
Os gráficos 15, 16 e 17 apresentam a regressão entre os valores registrados por PLEMS e por SENSU, para as três seguintes grandezas ambientais: temperatura do ar ( $R^2 = 0,9981$ ), umidade relativa do ar ( $R^2 = 0,9411$ ), temperatura do globo ( $R^2 = 0,9977$ ). Os valores de  $R^2$  próximo a 1 mostram que as variáveis estão bem ajustadas. Ainda assim, a equação ( $y = 0,9452 + 5,2382$ ) mostrou que, para as medições de umidade relativa, há uma pequena subestimação inicial do SENSU em comparação com o PLEMS.

**Gráfico 15** – Regressão da temperatura do ar entre PLEMS e SENSU.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 16** – Regressão da umidade relativa do ar entre PLEMS e SENSU.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 17** – Regressão Temperatura de globo entre PLEMS e SENSU.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o procedimento de calibração, as grandezas físicas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo apresentaram variações, conforme indicado a seguir. O erro médio absoluto foi utilizado como indicador para determinar a aplicação da equação de regressão com viés de calibração, sempre que essa aplicação reduzia o erro médio absoluto.

De modo geral, a calibração foi mais eficaz para a temperatura do globo, resultando em uma redução significativa no EMA (0,12). Para a umidade relativa do ar, a redução do EMA (0,02) foi menos expressiva. Já para a temperatura do ar, a calibração não foi eficaz. Embora o  $R^2$  apresente um bom ajuste, o EMA aumentou após a calibração. Deste modo, a calibração para a temperatura do ar não foi aplicada à síntese final do processo.

Ainda assim, após esse procedimento, é possível afirmar que os sensores instalados em PLEMS reproduzem com precisão as variáveis ambientais dentro da faixa de calibração realizada, tornando a mochila adequada para testes de avaliação de desempenho em campo.

**Tabela 28** – Informações sobre o ensaio de calibração dos Sensores de PLEMS.

Variável ambiental	Faixa de observação	EMA	valor-p	Regressão Linear	$R^2$	EMA calibrado
Temperatura do ar	25 a 29 °C	0,07	0,9268	$y = 0,966x + 0,9187$	0,9981	---
Umidade do ar	62 a 83 %	1,19	0,0880	$y = 0,9452x + 5,2382$	0,9411	1,17
Temperatura de globo	25 a 29 °C	0,18	0,3666	$y = 1,013x - 0,1784$	0,9977	0,06

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em virtude da diferença entre o anemômetro de copo (PLEMS) e de fio quente (SENSU), e da baixa circulação de ar na sala de teste, não foi possível aferir e calibrar o sensor de velocidade do ar. A baixa circulação de ar dentro da sala foi insuficiente para acionar o anemômetro de copo.

Isso ocorre porque o anemômetro de fio quente é mais sensível a pequenas variações de fluxo de ar, medindo a velocidade do ar com base na taxa de resfriamento de um fio aquecido. Já o anemômetro de copo depende da rotação de copos movidos pelo ar, o que requer um fluxo de ar mais forte para funcionar. Deste modo, o anemômetro de copo do PLEMS não conseguiu detectar as pequenas variações na circulação de ar da sala.

De acordo com Johansson, *et al.* (2014), anemômetros de copo e hélice podem não ser apropriados se forem esperadas baixas velocidades do vento, uma vez que possuem um valor limite abaixo do qual as velocidades do vento não podem ser registradas. Já os anemômetros de fio quente e de esfera quente podem medir baixas velocidades do vento, mas têm um limite superior de velocidade do vento.

No entanto, no estudo realizado por Ihlenfeld (2024) com uma versão do PLEMS, contendo o mesmo conjunto de sensores, construída para um estudo de caso em Curitiba, no clima subtropical mesotérmico Cfb (Köppen-Geiger), um teste de calibração mais abrangente foi conduzido em uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC). Nesse teste, a comparação entre o anemômetro de copo do PLEMS e o anemômetro de hélice do KESTREL 3000 apresentou resultados mais satisfatórios em relação à variável de velocidade do ar.

Com maior disponibilidade de equipamentos de referência, o autor conseguiu também aferir e calibrar os demais sensores ambientais do PLEMS, quando necessário, atestando a viabilidade do protótipo em reproduzir com exatidão as variáveis ambientais dentro das faixas de calibração realizadas, tornando o PLEMS apto para os testes de avaliação de desempenho em campo.

### **4.3 Descrição geral da amostra**

Foram realizados 20 dias de coleta, sendo 11 dias no período úmido (09/07/2023 a 10/08/2023) e 9 dias no período seco (27/12/2023 a 20/01/2024). O experimento abrangeu os horários de 9 às 16 horas. O tempo de realização de cada dia de experimento foi de aproximadamente 1 hora. O mínimo de participantes por dia foi de 2, e o máximo, de 8, totalizando 103 voluntários, sendo 50 participantes no período úmido e 53 no período seco.

Vale destacar que, dos 53 participantes no período seco, 25 também participaram do experimento no período úmido. A Tabela 29 detalha os resultados.

**Tabela 29** – Descrição da coleta período úmido e seco.

Período Úmido	Horas (24h)	Participantes	Período Seco	Horas (24h)	Participantes
09/07/2023	11:55 às 12:45	4	27/12/2023	14:15 às 15:15	5
11/07/2023	11:00 às 11:55	4	28/12/2023	09:30 às 10:25	5
13/07/2023	13:50 às 14:40	2	04/01/2024	14:40 às 15:35	5
15/07/2023	11:20 às 12:20 13:50 às 14:40	5 2	06/01/2024	10:10 às 11:10 15:20 às 16:15	2 4
18/07/2023	14:15 às 15:20	4	07/01/2024	10:30 às 11:30	5
21/07/2023	11:00 às 12:00	4	09/01/2024	15:20 às 16:10	4
23/07/2023	10:50 às 11:50	7	13/01/2024	09:50 às 10:50 14:50 às 15:50	2 5
29/07/2023	14:00 às 14:55	5	14/01/2024	10:05 às 11:05 15:10 às 16:05	3 5
30/07/2023	13:40 às 14:30	4	20/01/2024	11:05 às 12:00	8
06/08/2023	15:10 às 16:00	5	----	----	----
10/08/2023	15:10 às 16:00	4	----	----	----
<b>Total</b>	11 dias 11h 20min	50	9 dias	11h 20min	53

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Dos 103 voluntários do experimento, 41 eram homens, e 62 eram mulheres. Os participantes pesavam em média 74 kg – o indivíduo mais leve foi uma mulher de 47kg, e o mais pesado, um homem de 125 kg. A média de altura foi de 1,67 m, sendo o indivíduo mais baixo uma mulher de 1,50 m, e o mais alto, um homem de 1,86 m. O cálculo de IMC (índice de massa corpórea) indicou que 52 participantes possuem valores de IMC entre 18,5 e 24,9 (categoria normal); por outro lado, 48 participantes possuem IMC de 25,0 a 30,0 (categorias de sobrepeso e obeso). No total, 10 participantes declararam possuir algum tipo de comorbidade além da obesidade (4), sendo elas: hipertensão (4) e hérnia de disco (2). Em relação à obesidade, após calculado o IMC a partir dos dados antropométricos, 23 participantes apresentavam obesidade, embora não se sentissem inseridos nessa categoria.

O aumento de peso da população brasileira foi demonstrando recentemente em um estudo “Covitel 2023”, realizado pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em parceria com a organização global de saúde pública *Vital Strategies*. Revelou que 56,8 % dos brasileiros estão com excesso de peso. A pesquisa também destaca que 22,8 % da população está obesa. Este levantamento abrangeu dados do primeiro trimestre de 2023.

A Tabela 30 mostra que dos 103 participantes, 91 tinham idade entre 20 e 39 anos, 74 eram naturais de João Pessoa, e 29, de outras cidades; desses 29, apenas 7 não eram de cidades da região Nordeste. O isolamento proporcionado pela vestimenta estimado em unidade “*Clo*” foi diversificado, mas, de modo geral, representam vestimentas típicas para um passeio no parque em regiões de clima tropical quente (basicamente camiseta, shorts ou bermuda, calçados e roupas íntimas), em média 0,39 *Clo*. Por se tratar de um estudo de avaliação dinâmica, todos os participantes realizavam a atividade de caminhar.

**Tabela 30** – Caracterização geral dos participantes.

Parâmetro	Categoria	Período Úmido	Período Seco	Total
N	Nº de participantes	50	53	103
Sexo Biológico	Masculino	19	22	41
	Feminino	31	31	62
Idade	20 a 29 anos	21	21	42
	30 a 39 anos	25	24	49
	40 a 50 anos	3	5	8
	50 a 60 anos	1	2	3
	Acima de 60 anos	0	1	1
Peso (kg)	Média	72	75	74
	Mínimo	47	49	47
	Máximo	115	125	125
	Desvio padrão	17	19	18
Altura (m)	Média	1,66	1,67	1,67
	Mínimo	1,50	1,50	1,50
	Máximo	1,86	1,83	1,86
	Desvio padrão	0,07	0,07	0,07
Vestimenta ( <i>Clo</i> )	Média	0,44	0,35	0,39
	Mínimo	0,18	0,19	0,18
	Máximo	0,62	0,61	0,62
	Desvio padrão	0,13	0,13	0,13
IMC (Índice de massa corpórea)	Magro	1	2	3
	Normal	28	24	52
	Sobrepeso	8	17	25
	Obeso	13	10	23
Comorbidade	Sim	5	5	10
	Não	45	48	93
Naturalidade	João Pessoa- PB	35	39	74
	Outros	15	14	29
Atividade	Caminhando	50	53	103
Permanência na cidade	Dias	3	1	4
	Semanas	0	1	1
	Meses	0	0	0
	Anos	47	51	98

Fonte: Elaboração própria, 2024.



#### 4.4 Descrição das condições atmosféricas nos dias de coleta

Com base nos dados registrados pela estação de monitoramento climático A320 do Instituto de Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de João Pessoa, a aproximadamente 2 km do Parque Arruda Câmara, as condições atmosféricas durante a coleta do período úmido registraram temperatura do ar média de 26,2 °C a 28,1 °C; umidade relativa média de 62,4 % a 76,7 %, exceto para o dia 30/07/2023, que foi superior 80 %; velocidade do ar média baixa em todo período, inferior a 2 m/s; e radiação global média superior a 1.000.000 kJ/m<sup>2</sup>, exceto para o dia 09/07/2023, quando foi inferior. A Tabela 31 apresenta os resultados.

**Tabela 31** – Condições atmosféricas durante a coleta no período úmido (INMET).

Período úmido	Ta (°C) média	Ur (%) média	Va(m/s) média	Rg (Kj/m <sup>2</sup> ) média	Precipitação (mm) média
09/07/2023	27,3	76,7	1,4	937154,6	0
11/07/2023	26,8	70,9	1,6	1522309,2	0
13/07/2023	27,3	73,9	1,0	1699891,1	0
15/07/2023	27,5	74,1	1,0	1092153,9	0
18/07/2023	26,4	77,8	1,4	1119319,3	0
21/07/2023	27,4	62,4	1,4	1755561,8	0
23/07/2023	27,3	64,4	1,4	1532504,8	0
29/07/2023	26,9	67,3	1,5	1429311,0	0
30/07/2023	26,2	81,3	1,5	1261355,9	0
06/08/2023	28,1	67,3	1,4	1797102,5	0
10/08/2023	26,3	70,1	1,7	1258584,5	0

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para condições atmosféricas durante a coleta do período seco, a Tabela 32 mostra que a temperatura do ar média se elevou em relação ao período úmido, registrando médias de 29,4 °C a 30°C, o que é plausível para a estação do ano mais quente. A umidade relativa média manteve-se entre 61 % e 70 %; a velocidade do ar média permaneceu inferior a 2 m/s e a radiação global média manteve-se superior a 1.000.000 kJ/m<sup>2</sup>. Exceto para os dias 13, 14 e 20/07/2023, esses valores atípicos podem estar relacionados a condições climáticas específicas, como dias nublados ou erros da estação ao registrar os dados.

**Tabela 32** – Condições atmosféricas durante a coleta no período Seco (INMET).

Período seco	Ta (°C) média	Ur (%) média	Va(m/s) média	Rg (Kj/m²) média	Precipitação (mm) média
27/12/2023	29,4	68,4	1,1	1728114,6	0
28/12/2024	30,0	61,8	1,5	1468469,2	0
04/01/2024	29,6	67,9	1,9	2192227,4	0
06/01/2024	30,0	64,9	1,5	1937645,5	0
07/01/2024	29,4	62,6	1,1	2346419,5	0
09/01/2024	29,9	65,6	1,4	1855833,9	0
13/01/2024	29,5	69,9	1,7	2010,8	0
14/01/2024	29,6	66,5	1,4	1840,8	0
20/01/2024	29,8	65,6	1,4	2328,6	0

Fonte: Elaboração própria, 2024.

É importante ressaltar que, para essa análise, foram considerados apenas os valores diurnos de 9 às 16 horas (horário das coletas) para cada dia de coleta. As variáveis climáticas foram registradas pela estação do INMET a cada hora; deste modo, a média é resultado de 8 registros para cada dia de coleta. Para garantir a viabilidade da pesquisa, as coletas foram realizadas em horários sem precipitação.

#### 4.4.1 Monitoramento microclimático Davis Vantage Pro 2, Sensu e Hobo U12

Para o período úmido, a estação *Davis Vantage Pro 2*, fixada estaticamente no ponto 1, registrou temperaturas do ar média de 27,7 °C a 30,3 °C; umidade do ar média de 59,4 % a 75,3 %; velocidade do ar inferior a 2 m/s e não registou precipitação. Quando comparado com o monitoramento do INMET, a estação *Davis* apresentou médias de temperatura do ar relativamente mais elevadas para o período, o que evidencia como, em escala local, o clima urbano pode ser afetado.

Para o período seco, o Confortímetro Sensu, fixado estaticamente no ponto 1, registrou temperaturas do ar média de 29,7 °C a 31,3 °C; umidade do ar média de 61,5 % a 74 %; temperaturas do globo de 30,4 °C a 31,3 °C; velocidade do ar média inferior a 2 m/s e ausência de precipitação. Em comparação ao mesmo período monitorado pelo INMET, as condições climáticas foram semelhantes, com leve aumento para a temperatura do ar média.

O monitoramento dinâmico realizado através do HOB0 U12, instalado no PLEMS durante o período úmido, mostra uma variação significativa nas médias de temperatura do ar de 28,3 °C a 30,6 °C e médias de umidade do ar 60,1 % a 76,6 %. Já no período seco, a

temperatura do ar média variou de 29,7 °C a 32,6 °C, e a umidade relativa média variou de 63,8 % a 77,2 %.

As tabelas com detalhes do monitoramento microclimático realizado pela DAVIS, pelo SENSU e pelo HOBO U12 estão exibidas nos apêndices A, B, C e D ao final desta tese.

#### 4.4.2 Monitoramento microclimático dinâmico geral PLEMS

Esta primeira análise microclimática realizada com o PLEMS abrange os dados registrados durante a execução dinâmica do experimento, incluindo todos os registros coletados nos seis pontos e o tempo de trajeto.

Para o período úmido, o PLEMS registrou temperaturas do ar média de 27,9 a 29,7 °C; umidade do ar média de 65,3 a 81,8 %; temperaturas do globo média de 28,1 a 31,7 °C; velocidade do ar média de 0 m/s e sem precipitação. Em comparação ao mesmo período monitorado pelo INMET, o PLEMS registrou temperaturas do ar média mais altas; umidade do ar semelhante com algumas diferenças pontuais e velocidade do ar média igual a 0 m/s. As Tabelas 33 e 34 detalham o monitoramento por completo.

**Tabela 33** – Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS período úmido.

Período úmido	Ta (°C) média	Ur (%) média	Tg (°C) média	Va (m/s) média
09/07/2023	29,1	80,3	30,9	0,0
11/07/2023	28,5	78,0	29,8	0,0
13/07/2023	28,7	75,7	30,4	0,0
15/07/2023	28,8	76,9	30,4	0,0
	28,7	80,2	29,6	0,0
18/07/2023	27,9	81,8	28,8	0,0
21/07/2023	28,6	65,3	30,3	0,0
23/07/2023	28,9	69,2	30,9	0,0
29/07/2023	29,7	71,2	31,0	0,0
30/07/2023	28,9	71,1	30,9	0,0
06/08/2023	28,7	73,5	31,7	0,0
10/08/2023	27,9	76,7	28,1	0,0

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para o período seco, o PLEMS registrou temperaturas do ar média de 29,7 a 31 °C; umidade do ar média de 74,5 a 94,0 %; temperaturas do globo média 30,2 a 33,7 °C. A velocidade do ar média apresentou comportamento semelhante à estação úmida com moda de 0,0 m/s influenciando os valores médios. Em comparação ao mesmo período monitorado pelo INMET, o PLEMS registrou médias de temperaturas do ar relativamente próximas de 29 °C a 31 °C. As médias para umidade relativa do ar foram substancialmente mais altas no PLEMS, com valores de até 94 %.

**Tabela 34** – Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS período seco.

<b>Período seco</b>	<b>Ta (°C) média</b>	<b>Ur (%) média</b>	<b>Tg (°C) média</b>	<b>Va (m/s) média</b>
27/12/2023	30,1	81,7	32,0	0,0
28/12/2023	30,5	78,7	33,7	0,0
04/01/2024	29,9	88,7	31,9	0,0
06/01/2024	30,2	83,7	32,0	0,0
	29,9	83,3	31,2	0,0
07/01/2024	31,0	74,5	33,5	0,0
09/01/2024	30,0	84,1	31,3	0,0
13/01/2024	29,7	93,9	31,8	0,0
	29,5	94,0	30,2	0,0
14/01/2024	30,2	85,1	31,9	0,0
	29,7	90,9	30,5	0,0
20/01/2024	30,7	80,4	32,8	0,0

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em comparação com os dados dinâmicos coletados com o HOBO U12 para o período úmido, o PLEMS apresentou menor variação nas médias de temperatura do ar e umidade do ar mais altas com maior variabilidade para o PLEMS. Já para o período seco, o PLEMS apresentou médias de temperatura do ar moderadamente mais baixas, enquanto o HOBO U12 registrou médias mais baixas da umidade relativa do ar. De modo geral, o PLEMS realizou registro mais consistente e estável em relação às médias da temperatura do ar, enquanto HOBO U12 apresentou maior variação. Já a umidade do ar foi maior e mais variável para o PLEMS.

Em geral, as diferenças entre PLEMS e HOBO U12 estão atribuídas às especificações dos sensores e ao ambiente para o qual foram projetados. Além disso, é importante notar que, pela impossibilidade de montagem, o HOBO U12 não foi protegido por nenhum tipo de abrigo ou escudo de radiação solar, conforme indicado pelo fabricante para medições em ambientes externos. A ISO 7726/1998 afirma que os sensores de temperatura e umidade do ar podem ser expostos a radiação direta, porém devem estar protegidos por abrigo adequado para minimizar o exagero radioativo entre o instrumento e seus arredores.

#### 4.4.3 Monitoramento microclimático dinâmico PLEMS por ponto

Durante o período úmido, o PLEMS registrou dados em aproximadamente 1 minuto e meio (1,5 min), sendo possível, em 5 minutos parado em cada um dos 6 pontos, realizar 4 registros. Em 11 dias de coletas, foram realizadas 12 campanhas, já que, no dia 15/07/2023, foram realizadas duas campanhas, uma de manhã e outra à tarde. Deste modo, as análises a seguir possuem 48 registros por ponto.

Os seis pontos apresentaram médias de temperatura do ar em torno dos 28 °C, exceto o ponto 2, que registrou média superior aos 29 °C. A diferença entre a maior (29,1 °C no ponto 2) e a menor média (28,4 °C nos pontos 4 e 6) é de 0,7 °C, o que indica uma variação pequena entre os pontos. O menor valor de temperatura do ar (26,8 °C) foi registrado nos pontos 4 e 5. Esses dois pontos possuem características bem diferentes, sendo o ponto 4 uma área mais aberta, com solo impermeável e exposta a radiação solar direta, enquanto o ponto 5 está localizado em uma área de mata, bem sombreada e de solo permeável.

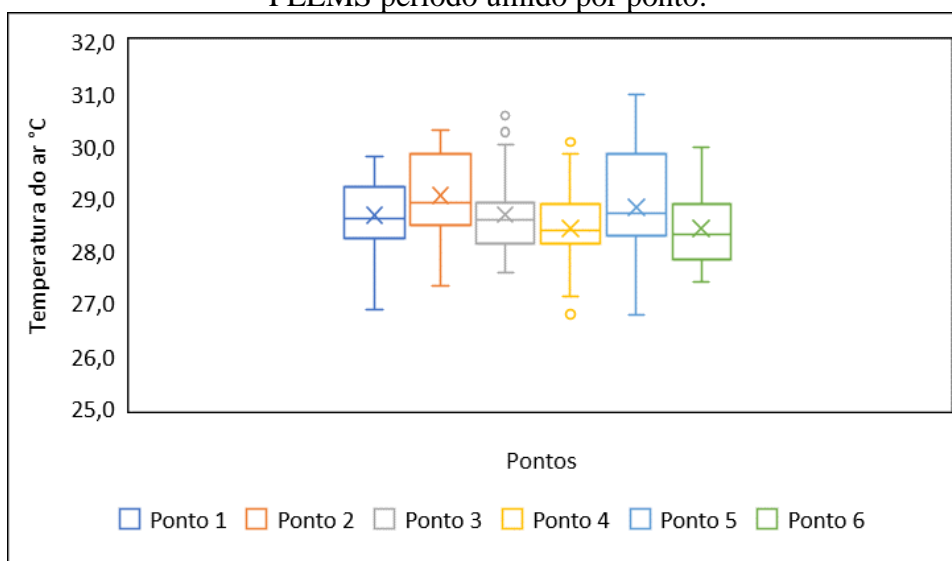
No entanto, é possível que a presença dos corpos aquáticos próximos aos dois pontos, juntamente com a temperatura do ar elevada, favoreça o processo evaporativo, retirando calor do ambiente. Gómez *et al.* (2013) constataram que as lâminas de água, ou lagoas, inseridas no ambiente urbano, podem amenizar as condições térmicas dos espaços urbanos em que estão localizadas, por terem um albedo menor do que sua área ao redor.

O ponto 5 (mais densamente vegetado) apresentou o maior valor máximo (31 °C), embora muitas pesquisas demonstrem o efeito mitigador da vegetação nas condições térmicas urbanas (e.g., Bueno-Bartholomei, 2003; Abreu; Labaki, 2010; Dacanal *et al.*, 2010; Gonçalves *et al.*, 2019) quando não bem planejada, a vegetação pode intensificar o desconforto térmico, ao invés de mitigá-lo. Ao compararem as condições térmicas de ruas arborizadas e não arborizadas na cidade de Valência (Espanha) Gómez *et al.* (2013) observaram que a cobertura arbórea foi essencial para reduzir a radiação direta sobre usuários do espaço urbano, no entanto em alguns pontos monitorados a copa das árvores mais baixas e com folhagem densas, dificultaram a circulação do vento, impactando a ventilação e o conforto térmico, destacando a importância do planejamento para implementação da vegetação no ambiente urbano.

O ponto 3 registrou a temperatura mínima mais alta de 27,6 °C e média de 28,7 °C, com uma dispersão um pouco maior. Possivelmente, a vegetação mais esparsa e o solo pavimentado influenciaram no aumento das temperaturas.

Por fim, o ponto 6, situado na área de recreação, registrou média de 28,4 °C e a menor variação de temperatura (0,4 °C). A presença de sombra da vegetação e das edificações e a mistura de trechos com mais pavimentação e áreas mais permeáveis contribuíram para uma maior estabilidade térmica.

**Gráfico 18** – Monitoramento da temperatura do ar, PLEMS período úmido por ponto.

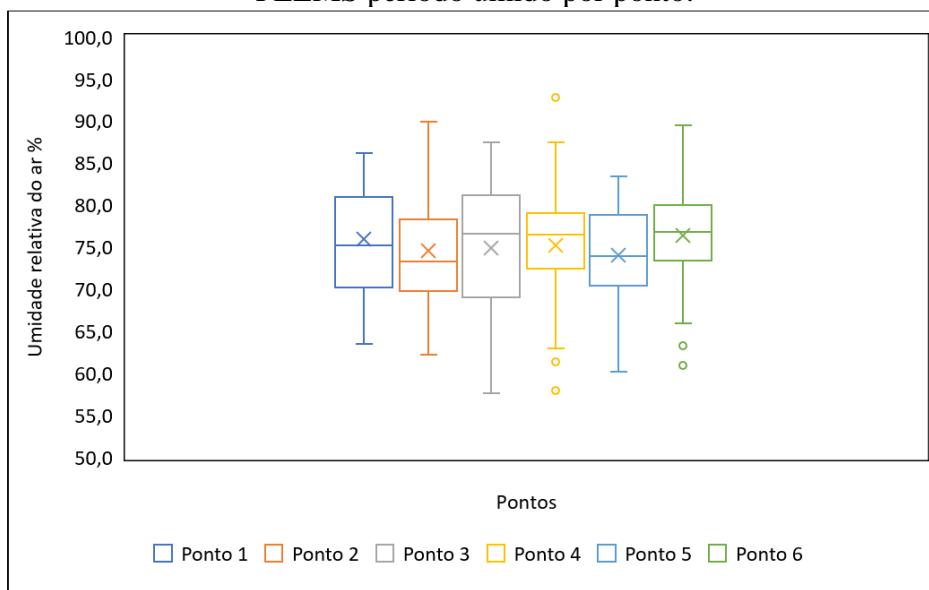


Fonte: Elaboração própria, 2024.

A média da umidade variou pouco entre os seis pontos, com o valor médio mais baixo no ponto 5 (74 %) e o mais alto no ponto 6 (76,3 %). Acompanhando inversamente a temperatura do ar, a umidade do ar mais baixa no ponto 5 está relacionada com a temperatura do ar mais alta (31 °C).

O ponto 5 ainda registrou o menor valor máximo (83,3 %), enquanto o ponto 4, que é mais exposto à radiação solar direta, apresentou maior valor máximo (92,7 %). Novamente, é possível observar que a proximidade com a lagoa diminuiu a temperatura do ar média (28,4 °C) e elevou a umidade do ar média (75,1 %), o que demonstra as condições ambientais dinâmicas deste espaço. Os pontos 3 e 4 registraram os menores valores mínimos (57 %); já o ponto 1 registrou o maior valor mínimo (63,4 %).

**Gráfico 19** – Monitoramento da umidade relativa do ar, PLEMS período úmido por ponto.

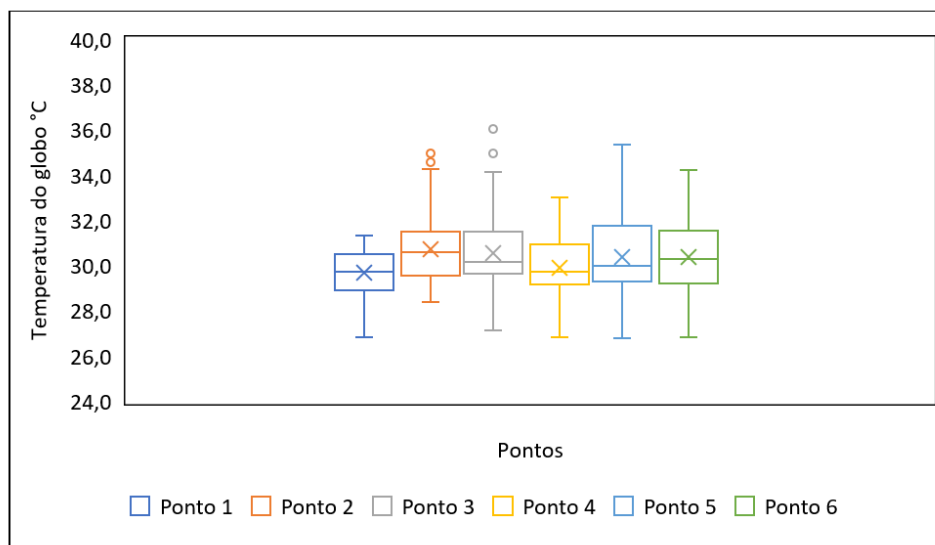


Fonte: Elaboração própria, 2024.

A temperatura do globo média mais alta foi registrada no ponto 2 (30,7 °C), variando pouco entre os pontos, sendo mais baixa no ponto 1 (29,7 °C). O ponto 2 registrou também o maior valor mínimo (28,4 °C), enquanto o ponto 1 apresentou menor valor máximo (31,3 °C). Os pontos 1 e 2 possuem características ambientais similares, exceto pelo tipo de solo, sendo o ponto 2 um pouco mais vegetado.

Mesmo em pontos mais vegetados, como o ponto 2 e 5, observam-se valores de temperatura do globo mais altos, o que parece estar relacionado às condições de temperatura do ar alta nesses pontos. Embora fosse de se esperar valores máximos menores nesses pontos devido ao sombreamento da vegetação sobre o globo, destaca-se que esse sombreamento não é total, sendo possível o sol atingir o solo, e, conseqüentemente, o termômetro de globo em determinados horários. Por outro lado, era esperado que o ponto 4 (mais exposto à radiação solar) registrasse temperatura de globo mais altas, o que não aconteceu, o que parece estar relacionado com as condições de temperatura do ar mais baixa nesse ponto. Novamente, a proximidade com o lago no ponto 4 contribuiu para manter a temperatura do globo, relativamente menos elevada, apesar da maior exposição à radiação solar direta.

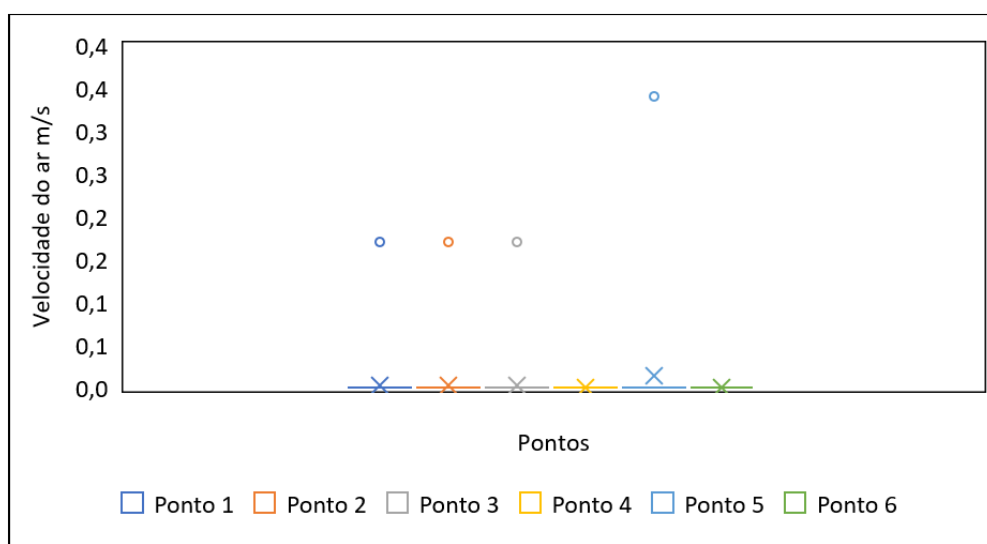
**Gráfico 20** – Monitoramento da temperatura do globo PLEMS período úmido por ponto.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A velocidade do ar foi baixa em todos os pontos, inferior a 0,5 m/s. Em ambientes com pouca circulação de ar, o calor absorvido pelo solo, vegetação e outras superfícies é dissipado mais lentamente, o que também contribui com os valores máximos elevados encontrados tanto para a temperatura do ar quanto do globo, principalmente no ponto 5.

**Gráfico 21** – Monitoramento da Velocidade do ar PLEMS período úmido por ponto.



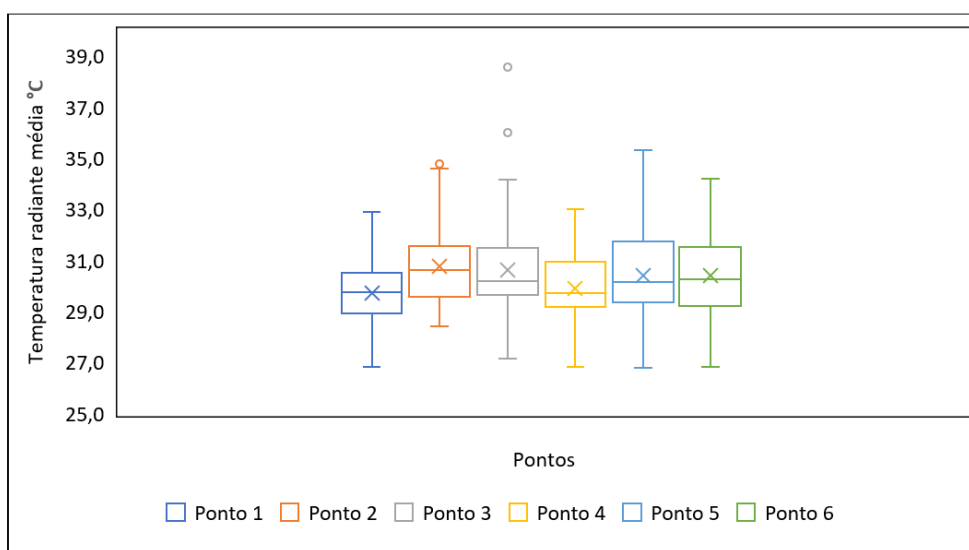
Fonte: Elaboração própria, 2024.

A média da temperatura radiante média foi uniforme entre os pontos, com média mínima no ponto 1 (29,7 °C) e média máxima no ponto 2 (30,7 °C). As medianas também estão bem próximas das médias em todos os pontos (entre 29 °C e 30 °C). O ponto 5 apresentou a menor



mínima (26,8 °C), a maior máxima foi registrada no ponto 3 (38,6 °C). De modo geral, a temperatura radiante média esteve mais próxima dos valores da temperatura do globo. O ponto 4 comportou-se da mesma forma que na temperatura do ar e do globo. Mesmo sendo mais exposto à radiação solar direta, apresentou desempenho térmico mais ameno em relação aos demais pontos.

**Gráfico 22** – Monitoramento da Temperatura radiante média PLEMS período úmido por ponto.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o período Seco, o PLEMS registrou dados a cada 1 minuto, sendo possível, em 5 minutos parado em cada um dos 6 pontos, realizar 5 registros. Em 9 dias de coletas, foram realizadas 12 campanhas, já que, nos dias 06/01, 13/01 e 14/01/2024, foram realizadas duas campanhas, uma de manhã e outra à tarde. Deste modo, as análises a seguir possuem 60 registros por ponto.

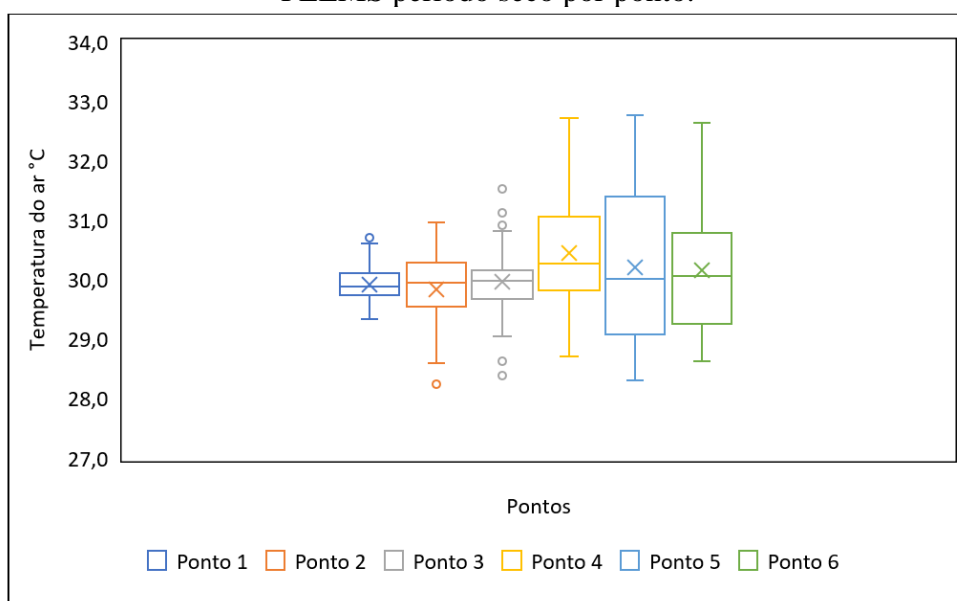
Os seis pontos apresentaram médias de temperatura do ar em torno dos 29 °C e 30 °C. A diferença entre a maior média (30,4 °C) no ponto 4 e a menor média (29,8 °C) no ponto 2 é de 0,6 °C. O menor valor de temperatura do ar (28,2 °C) foi registrado no ponto 2, e o maior, no ponto 5 (32,8 °C). Observa-se um aumento das temperaturas mínimas e máximas em relação ao período úmido. Mesmo assim, a variação entre os pontos é pequena.

Diferente do período úmido, o ponto 4 (mais exposto à radiação solar) apresentou, no período seco, temperaturas máximas, mínimas e médias do ar mais elevadas em comparação aos demais pontos. Esse comportamento sugere que, no período seco, a formação de nuvens é menos frequente, o que pode ter contribuído para temperaturas mais baixas no período úmido, quando dias nublados ou parcialmente nublados ocorrem com maior regularidade.

Os pontos 1 e 2 registraram as menores temperaturas médias e máximas em comparação com os demais locais. Observa-se que, durante esse período, esses dois pontos, por serem mais arborizados e abertos, apresentaram condições térmicas mais amenas. Isso destaca a importância da vegetação, mas também revela a necessidade de ventilação adequada. No ponto 5, que é mais densamente vegetado, era esperada a diminuição das temperaturas, mas o bloqueio da ventilação causado pela densidade das árvores resultou em uma maior variação nos dados e nas temperaturas máximas (32,8 °C) mais alta e mínima mais baixa (28,3 °C).

De modo geral, os pontos com características mais particulares, com densa vegetação (ponto 5), mais exposto à radiação solar (ponto 4) e com características mistas (ponto 6) mostraram maiores amplitudes, médias e máximas.

**Gráfico 23** – Monitoramento da temperatura do ar, PLEMS período seco por ponto.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

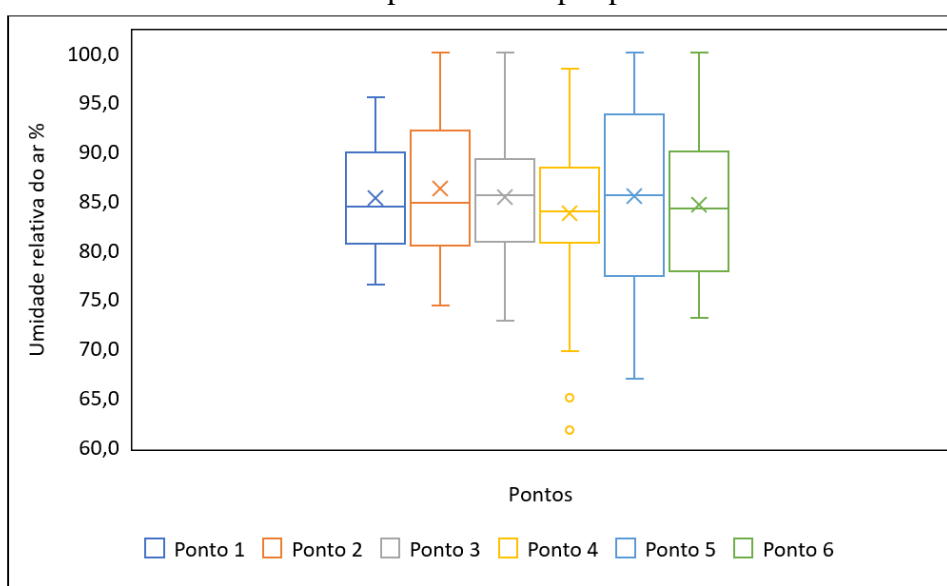
A média da umidade relativa do ar variou pouco entre os seis pontos, com o valor médio mais baixo no ponto 4 (83,7 %) e o mais alto no ponto 2 (86,1 %). Resultados mais altos que no período úmido. Os valores máximos de umidade relativa do ar entre 95 % e 100 % indicam que, em determinados momentos do dia, o ar atinge sua capacidade máxima de retenção de vapor d'água, ficando completamente saturado. Os pontos mais vegetados (pontos 2 e 5) registraram maior umidade do ar.

É possível que a alta umidade do ar no parque, neste período, esteja relacionada com o aumento da temperatura do ar, embora seja de se esperar que ambientes mais quentes tenham umidade mais baixa. A temperatura do ar mais alta também favorece o aumento da

quantidade de vapor de água no ar, resultado do aumento do processo de evaporação de corpos d'água e evapotranspiração das plantas presentes no interior do parque.

Dacanal *et al.* (2010) investigaram o impacto dos fragmentos florestais urbanos no conforto térmico em Campinas (SP). Ao comparar a umidade relativa do ar dentro dos bosques com os dados registrados pela estação meteorológica oficial da cidade, os pesquisadores constataram que a umidade relativa do ar é significativamente mais alta nos bosques do que na estação meteorológica.

**Gráfico 24** – Monitoramento da umidade relativa do ar, PLEMS período seco por ponto.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

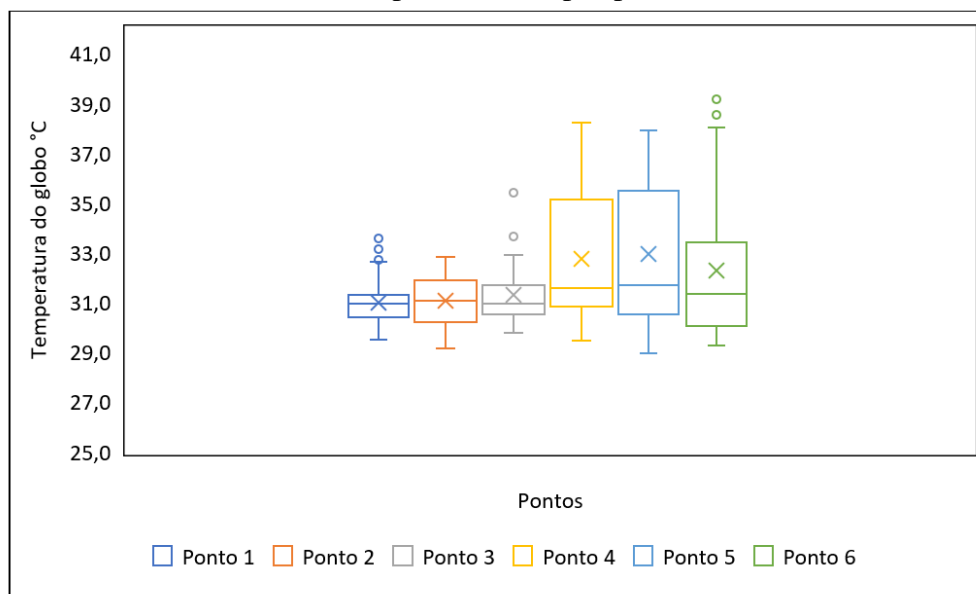
As temperaturas do globo, no período seco, foram consideravelmente mais altas que no período úmido, com máxima de até 39,1 °C no ponto 6. O menor valor da temperatura do globo foi registrado no ponto 5 (28,9 °C). As menores médias foram nos pontos 1 e 2, aproximadamente 31 °C; os demais pontos ficaram com médias acima dos 32 °C.

Os pontos 1, 2 e 3 apresentam valores mais concentrados, próximos às medianas; já os pontos 4, 5 e 6, valores mais dispersos, com medianas próximas aos valores mais baixos. Nota-se que, durante o período seco, o ponto 4 (mais exposto à radiação solar) apresentou um comportamento térmico diferente do período úmido, com valores médios e máximos mais altos que os pontos mais vegetados.

Possivelmente, devido à presença de pouca ou nenhuma nuvem no período seco, nesse período, a radiação solar atinge a superfície de forma mais intensa, elevando as temperaturas do globo. Diferente do período úmido, quando a maior presença de nuvens atua como barreiras

naturais para a radiação solar, reduzindo a quantidade de energia que atinge a superfície terrestre.

**Gráfico 25** – Monitoramento da Temperatura do globo  
PLEMS período seco por ponto.



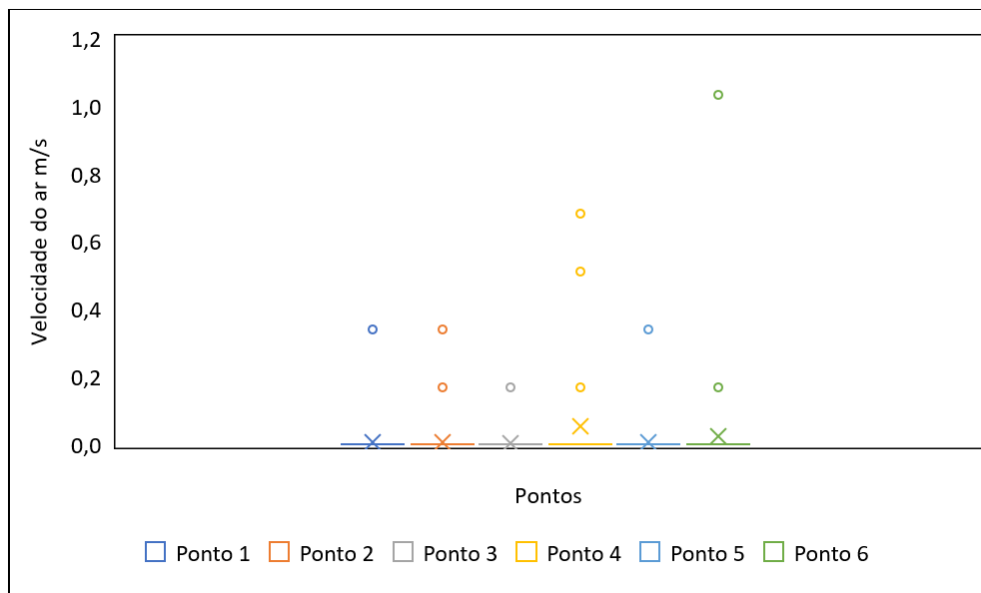
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Assim como no período úmido, a velocidade do ar foi baixa em todos os pontos, com médias inferiores a 0,5 m/s. Apesar disso, no período seco, o PLEMS conseguiu captar melhor a ventilação entre os pontos, com máxima de até 1 m/s no ponto 6.

A baixa velocidade do ar dentro do parque, de forma geral, foi confirmada pelos demais sensores instalados fixamente no ponto 1, por estar localizado em um terreno acidentado e inclinado, ficando abaixo da linha urbanizada da cidade. Essa configuração topográfica dificulta a entrada dos ventos nas camadas mais próximas ao solo, o que contribui para a baixa velocidade do ar dentro do parque.

Moura; Zanella (2010) afirmam que o vento é a variável meteorológica que mais contribui para o conforto térmico em áreas urbanas. No entanto, é também a mais impactada pelas modificações causadas pela urbanização.

**Gráfico 26 – Monitoramento da Velocidade do ar, PLEMS período seco por ponto.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

No período seco, a temperatura radiante média aumentou significativamente em relação ao período úmido, com o ponto 4 registrando a maior média (33,3 °C) e máxima (43,7 °C). Isso contrasta com o período úmido, quando o ponto 4 apresentou temperaturas radiantes mais baixas que os demais locais. Esse comportamento reforça a hipótese de que, no período seco, a baixa cobertura de nuvens permitiu uma maior incidência de radiação solar, elevando a temperatura radiante. Já no período úmido, a maior presença de nuvens diminuiu a radiação recebida, resultando em temperaturas radiantes mais baixas.

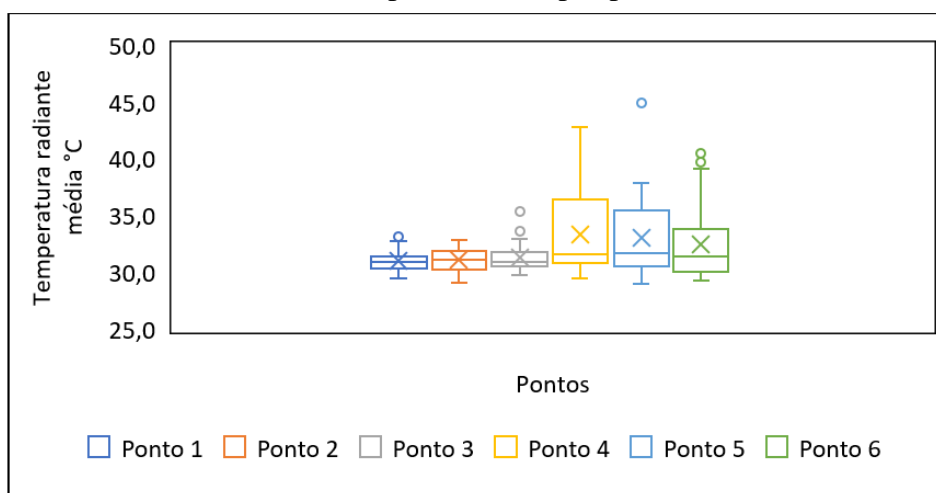
Os pontos 1, 2 e 3 apresentaram valores mais concentrados em torno das médias e medianas. Observa-se que os pontos 1, 2 e 6, que possuem um menor fator de visão do céu (FVC), ou seja, são mais obstruídos pela cobertura vegetal, registraram temperaturas radiantes mais baixas, evidenciando a importância da vegetação na redução da incidência de radiação solar direta.

Por outro lado, o ponto 5, que possui o menor FVC, não seguiu o mesmo padrão. Esse comportamento pode ser explicado pela baixa velocidade do ar dentro do parque e pela densidade da vegetação nesse ponto, o que dificulta a dissipação do calor. Em comparação, outros pontos com cobertura vegetal, porém mais abertos, apresentaram melhor ventilação, contribuindo para uma maior dissipação térmica.

Minella *et al.* (2011) analisaram o impacto do fator de visão do céu no microclima e no conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba, com medições realizadas em 15 pontos com

diferentes características urbanas. Embora tenham encontrado baixa correlação entre o microclima e o fator de visão do céu, os resultados revelaram uma relação entre a configuração urbana, a temperatura radiante média e a radiação solar.

**Gráfico 27** – Monitoramento da temperatura radiante média PLEMS período seco por ponto.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

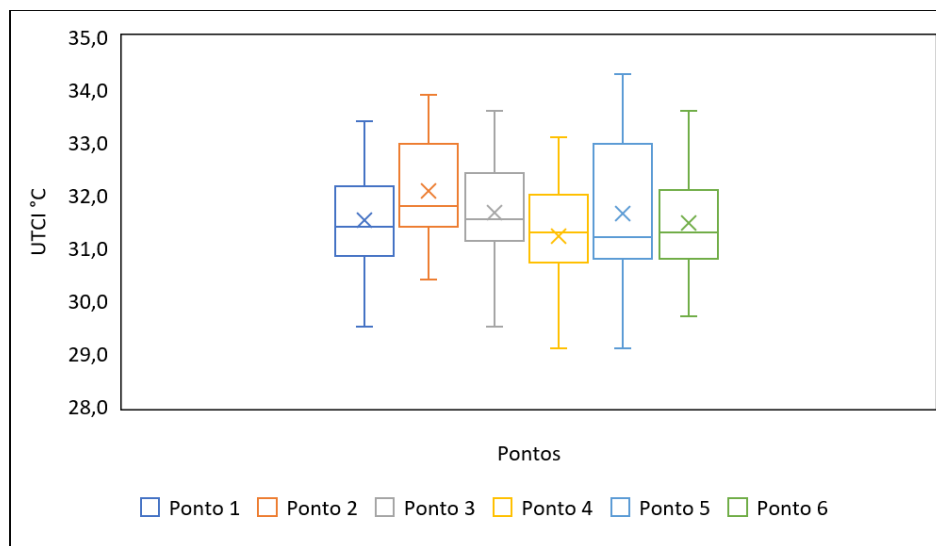
#### 4.5 Avaliação do conforto térmico por meio dos índices UTCI e PET

Os índices UTCI e PET foram calculados com o auxílio do software Rayman Pro 3.1 (Matzarakis, 2010). Os valores de isolamento térmico do vestuário foram expressos na unidade *Clo* com base nos valores encontrados na norma ISO 9920/07. A taxa metabólica assumida foi de  $165\text{W/m}^2$ , que corresponde à atividade de caminhar a  $4\text{km/h}$ , de acordo com a norma ISO 7730/05. Essas duas variáveis são necessárias para calcular o índice de conforto PET. Deste modo, considerou-se, no cálculo de PET, a média dos valores totais de cada período. No período úmido, o valor médio do isolamento do vestuário utilizado foi de  $0,44\text{ Clo}$ , e, no período seco, a média para o isolamento do vestuário foi de  $0,35\text{ Clo}$ . O conjunto da vestimenta, em ambos os períodos, correspondeu, basicamente, a combinações de roupas leves para um dia de caminhada no parque urbano em uma cidade de clima tropical quente e úmido.

Para o período úmido, os valores médios de UTCI em cada ponto foram relativamente próximos, entre  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com o ponto 2 apresentando a maior média de  $32,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e o ponto 4, a menor média,  $31,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os pontos 4 e 5 registraram os menores valores de UTCI ( $29,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), os valores de UTCI máximo estão nos pontos 3 e 5 ( $33,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $34,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), respectivamente.

Apesar das variações encontradas entre os pontos, todos estão nas faixas de “moderado estresse para o calor” (29 °C a 32 °C) e “forte estresse para o calor” (32,1 °C a 34 °C).

**Gráfico 28** – Avaliação do conforto térmico UTCI período úmido.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

O UTCI, no período seco, foi significativamente mais alto que no período úmido. Os valores médios de UTCI estiveram próximos entre os pontos, a média mais baixa (34,6 °C) no ponto 1 e a mais alta nos pontos 4 e 5 (35,6 °C). O maior valor máximo foi registado no ponto 6 (38,3 °C), e menor mínimo, no ponto no ponto 3 (33,1 °C).

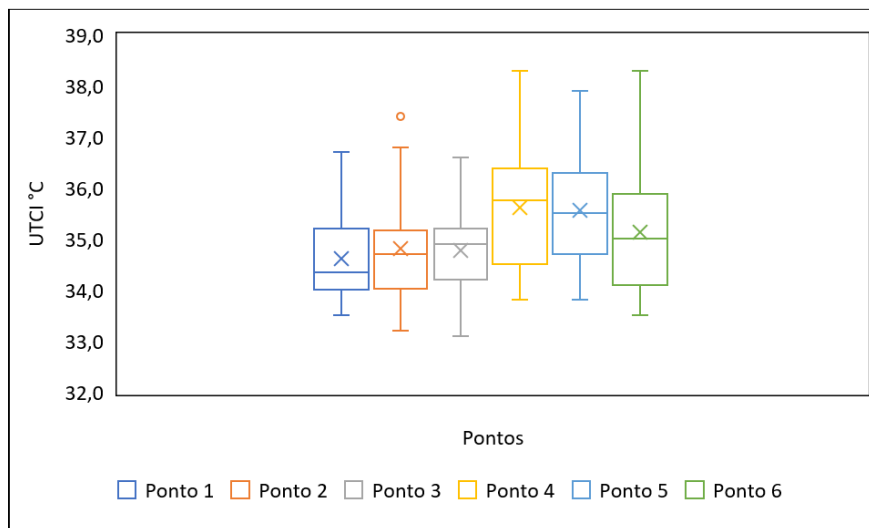
Os pontos 1, 2 e 3 apresentaram intervalos de UTCI mais estáveis. Nota-se que esses pontos divergem um pouco entre si, mas todos são sombreados e mais abertos, diferente do ponto 4, mais exposto à radiação solar direta. Como o UTCI está intrinsecamente correlacionado com a temperatura radiante média, os valores de UTCI foram significativamente mais altos neste ponto.

Observa-se que, assim como na temperatura do globo, as condições atmosféricas que, na estação úmida, apresentam dias parcialmente nublados com mais regularidade, diminuindo a incidência solar, no período seco, a baixa cobertura de nuvens permitiu a maior incidência de radiação solar sobre as superfícies.

No ponto 5, apesar de estar próximo a um córrego de rio e ser mais sombreado que os demais pontos, a densidade da vegetação funciona como barreira para a ventilação, dificultando a dissipação do calor. O ponto 6, que é mais diversos e edificado, também apresentou um comportamento com média e máximas mais altas.

Todos os pontos analisados estão dentro da categoria de “forte estresse para o calor” (33,5 °C a 37 °C), exceto os pontos 4 e 6, que se aproximam da faixa de “muito forte estresse para o calor”, atingindo até 38,3 °C.

**Gráfico 29** – Avaliação do conforto térmico UTCI período seco.

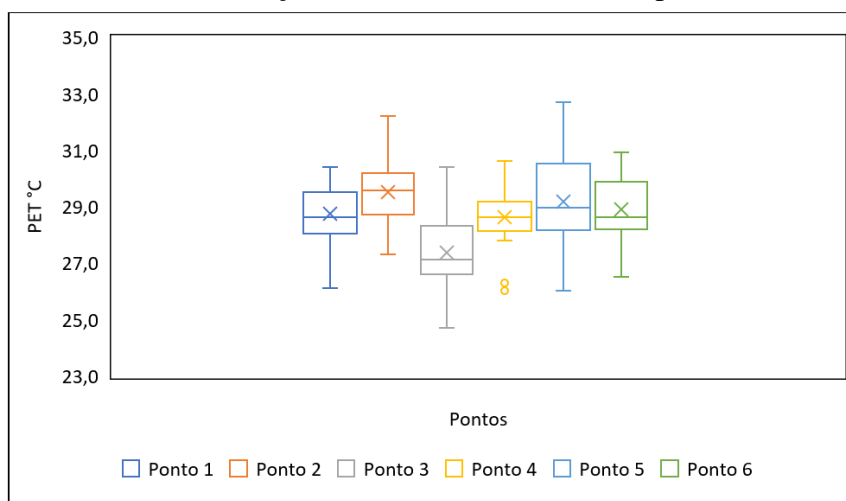


Fonte: Elaboração própria, 2024.

O PET, no período úmido, registrou a média mais alta no ponto 2 (29,5 °C) e média mais baixa no ponto 3 (27 °C). O menor valor mínimo foi registrado no ponto 3 (24,7 °C), e o maior valor máximo foi registrado no ponto 5 (32,7 °C).

Os pontos 1, 4 e 6 estão na faixa de pouco calor (26,1 a 30,9 °C). O limite inferior de 24,7 °C no ponto 3 aproxima-se da faixa neutra; já o máximo de 30,4 °C está na faixa de pouco calor. Os pontos 2 e 5, com valores máximos de até 32,7 °C, se aproximam da faixa de calor.

**Gráfico 30** – Avaliação do conforto térmico PET período úmido.



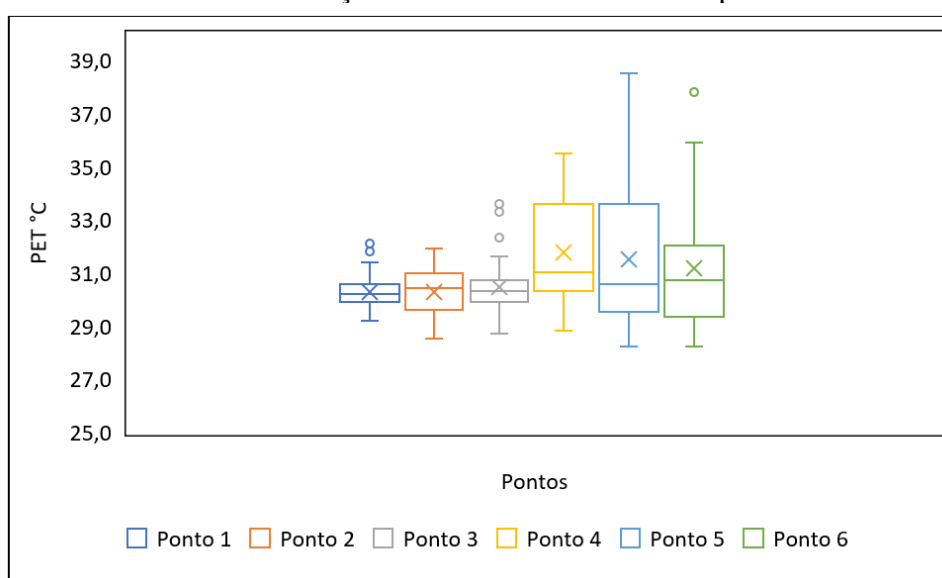
Fonte: Elaboração própria, 2024.



No período seco, o PET apresentou valores mais altos em comparação ao período úmido. O maior valor médio foi registrado no ponto 4 (31,7 °C), e menor, no ponto 2 (30,2 °C). Os menores valores mínimos foram registrados nos pontos 5 e 6 (28,2 °C), e maior máximo, no ponto 5 (38,5 °C). Os pontos 1, 2 e 3 apresentaram intervalos mais consistentes de 28 °C a 33 °C; já os pontos 4, 5 e 6 apresentaram intervalos mais amplos de 28 a 38 °C.

Mesmo com as variações encontradas entre os pontos, todos estão nas faixas de pouco calor (28,2 a 31 °C) e calor (31,9 a 38,5 °C).

**Gráfico 31** – Avaliação do conforto térmico PET período seco.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em comparação com o índice UTCI, o índice PET apresentou valores médios mais baixos nos dois períodos pesquisados.

#### 4.6 Avaliação da percepção térmica declarada.

A avaliação térmica declarada no período úmido foi composta pelas respostas de 50 participantes. No entanto, entre eles, 2 possuíam comorbidade (hipertensão), e 3 foram casos de não aclimação térmica. Estes 3 participantes não aclimatados eram do Estado de Santa Catarina e estavam em João Pessoa apenas há 4 dias. Embora o tempo de aclimação possa variar entre pessoas, de modo geral, considera-se que seria necessário ao menos uma semana para uma aclimação eficaz.

Pessoas com comorbidades podem ter respostas fisiológicas ao ambiente térmico diferentes das respostas de pessoas saudáveis, e pessoas não aclimatadas podem ter respostas térmicas temporárias que não refletem as condições de conforto típicas da população residente.

Ao considerarmos que a população real no ambiente urbano inclui pessoas com diferentes condições de saúde e níveis variados de aclimação, o que também acontece em relação aos frequentadores do parque, excluí-los poderia limitar a capacidade de representar os resultados para a população em geral.

Durante o período úmido no ponto 1, a sensação térmica predominante foi de “pouco de calor” (25), sendo considerado “confortável” (34), ainda assim, com preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (29).

No ponto 2, prevaleceu a sensação “neutro” (20); igualmente ao ponto 1, foi considerado “confortável” (38), tendo sido a preferência também por um ambiente “um pouco mais frio” (25).

Os pontos 1 e 2 são relativamente próximos, porém o ponto 2 possui solo permeável e mais cobertura vegetal, o que, provavelmente, influenciou a sensação de neutralidade. Ainda assim, ambos foram considerados confortáveis. Por outro lado, a pouca ventilação influenciou na preferência por um ambiente “um pouco mais frio”.

No ponto 3, a sensação térmica principal foi de “pouco de calor” (23), com ambiente térmico considerado “confortável” (32), e preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (29).

No ponto 4, a sensação térmica majoritária foi de “muito calor” (26), com ambiente térmico “pouco desconfortável” (19) e preferência por um ambiente “muito mais frio” (21). A exposição à radiação solar, neste ponto, foi determinante para a sensação de desconforto para o calor e preferência por um ambiente muito mais frio.

No ponto 5, a sensação térmica predominante foi de “pouco de calor” (18), com ambiente térmico considerado “confortável” (37) e preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (25). Mais uma vez, a presença da vegetação foi determinante para considerar o ambiente termicamente confortável. Ainda assim, não foi suficiente para manter a preferência por um ambiente “sem mudanças”.

Por fim, no ponto 6, prevaleceu a sensação de “pouco de calor” (24), com ambiente térmico “confortável” (24) e preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (25).

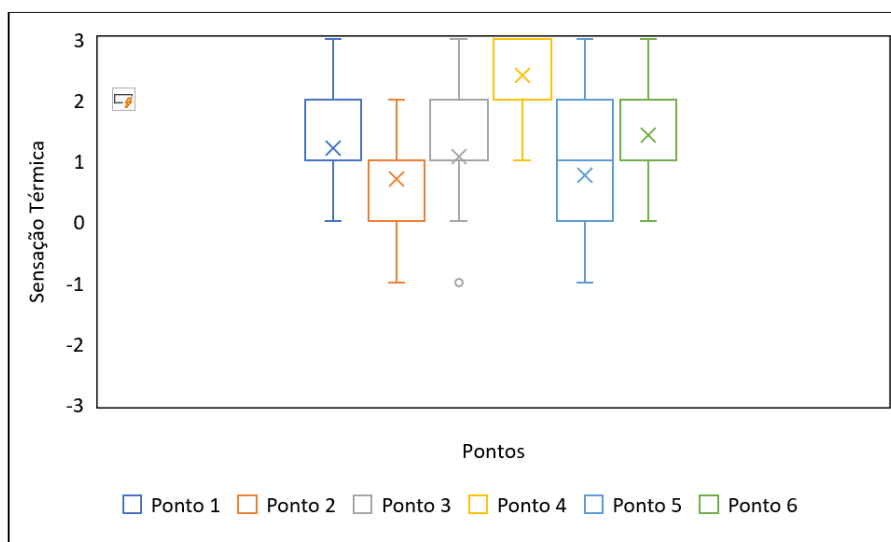
De modo geral, a sensação térmica variou entre os pontos: cinco dos seis pontos estão em categorias de pouco (pontos 1, 3, 5 e 6) ou muito (ponto 4) desconforto para o calor; apenas o ponto 2 foi classificado como termicamente neutro. Ainda assim, exceto pelo ponto 4, que foi

considerado termicamente “pouco desconfortável”, os demais pontos foram considerados termicamente “confortáveis”.

A condição térmica mais desconfortável no ponto 4 está relacionada à exposição dos participantes à radiação solar direta. Os pontos com pouca ou muita vegetação foram considerados termicamente confortáveis, apesar da predominância da sensação de pouco calor.

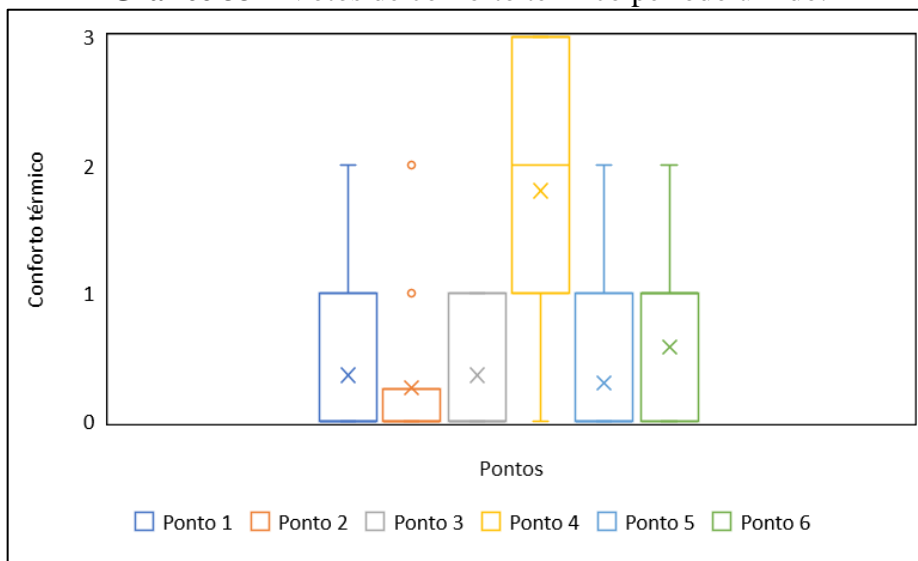
A exposição à radiação solar direta também influenciou nas respostas de preferência térmica, enquanto os demais pontos tiveram preferência por um ambiente “um pouco mais frio”. No ponto 4, a preferência foi por um ambiente “muito mais frio.”

**Gráfico 32** – Votos de sensação térmica período úmido.

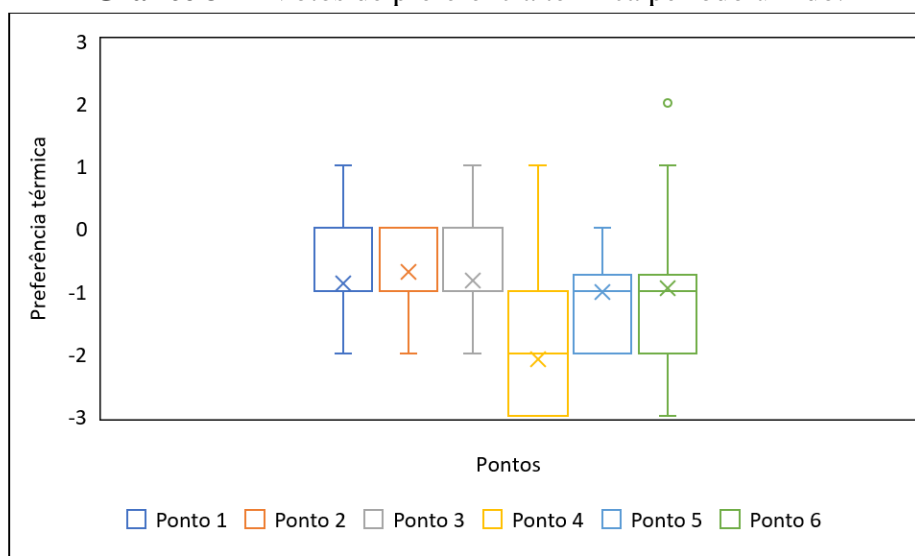


Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 33** – Votos de conforto térmico período úmido.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 34** – Votos de preferência térmica período úmido.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

A avaliação térmica declarada no período seco foi composta pelas respostas de 53 participantes, entre eles, 2 possuíam comorbidade (hipertensão) e 2 se consideraram obesos. Da mesma forma que no período úmido, toda a amostra foi considerada na análise avaliativa.

Durante o período seco, no ponto 1, a sensação térmica predominante foi de “calor” (25), sendo considerado “pouco desconfortável” (24), com preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (26).

No ponto 2, também prevaleceu a sensação térmica de “calor” (24), porém, diferente do ponto 1, foi considerado “confortável” (23), ainda assim, a preferência foi por um ambiente “um pouco mais frio” (25). Apesar das semelhanças entre os pontos 1 e 2, o solo permeável no ponto 2 aparenta ter amenizado as condições térmicas, possivelmente devido à menor irradiação térmica do solo.

No ponto 3, a sensação térmica permaneceu sendo de “calor” (48), com ambiente térmico considerado “pouco desconfortável” (23), e preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (23).

No ponto 4, a sensação térmica principal foi de “muito calor” (45), com ambiente térmico “muito desconfortável” (25) e preferência por um ambiente “muito mais frio” (38). De mesma forma que no período úmido, as condições de exposição à radiação solar do ponto 4 foram determinantes para a sensação de muito desconforto para o calor e preferência por um ambiente muito mais frio.

No ponto 5, a sensação térmica predominante foi de “pouco de calor” (27), com ambiente térmico considerado “confortável” (42) e preferência por um ambiente “um pouco

mais frio” (28). Mesmo em situações em que a temperatura do ar foi mais alta neste ponto, a presença da vegetação, bloqueando a radiação solar, foi decisiva para considerar o ambiente termicamente confortável.

Por fim, no ponto 6, prevaleceu a sensação de “pouco de calor” (23), com ambiente térmico “confortável” (27) e preferência por um ambiente “um pouco mais frio” (23).

Em comparação com o período úmido a sensação térmica no período seco apresentou maior desconforto para o “calor”, o que está relacionado com as temperaturas normalmente mais elevadas neste período.

Diferente do período úmido, nenhum ponto obteve sensação térmica “neutra”. Mesmo assim, as condições de conforto e pouco desconforto para o calor prevaleceram em todos os pontos, exceto no ponto 4, que apresentou condição térmica de “muito desconforto para o calor”.

Em todos os pontos, a preferência térmica foi por um ambiente um “pouco mais frio”, mesmo quando esse foi considerado “termicamente confortável”, novamente exceto o ponto 4, no qual a preferência foi por um ambiente “muito mais frio”.

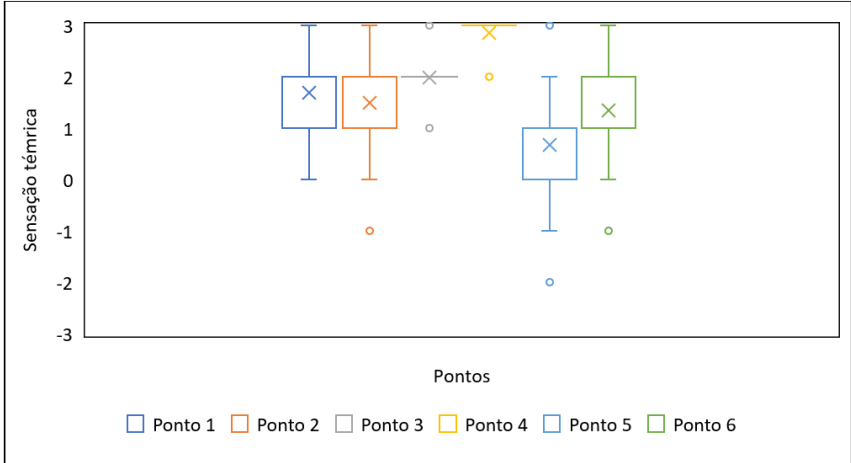
O ponto 4, apesar de apresentar condições microclimáticas semelhantes aos demais pontos, por ser menos sombreado, resultou nas piores condições na avaliação da sensação, conforto e preferência térmica.

A avaliação térmica evidenciou que a exposição à radiação solar direta influenciou significativamente o desconforto térmico dos participantes, sendo os locais mais expostos à radiação solar avaliados como mais desconfortáveis, enquanto os pontos com maior cobertura vegetal foram considerados menos desconfortáveis, mesmo com condições microclimáticas elevadas. O ponto 2, mais aberto e sombreado, teve o melhor desempenho térmico subjetivo, devido à melhor ventilação.

Labaki *et al.* (2011) verificaram a influência do sombreamento produzido por árvores sobre o conforto térmico e que o sombreamento de árvores influencia diretamente o conforto térmico, com a vegetação mais robusta atenuando até 97% da radiação solar e proporcionando temperaturas mais amenas, destacando sua importância para o conforto térmico urbano.

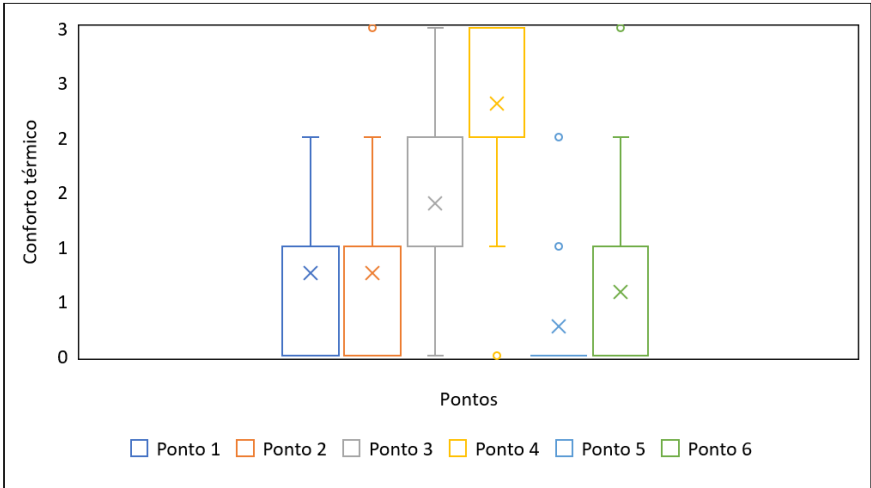
Labdaoui *et al.* (2021) demonstram que as árvores tiveram uma influência importante na percepção térmica. Pessoas em ambientes externos com cobertura verde mais densa expressaram maior conforto térmico e identificaram, na maioria das vezes, a temperatura como neutra, e espaços ao ar livre com árvores foram estimados como termicamente confortáveis.

**Gráfico 35 – Votos de sensação térmica período seco.**



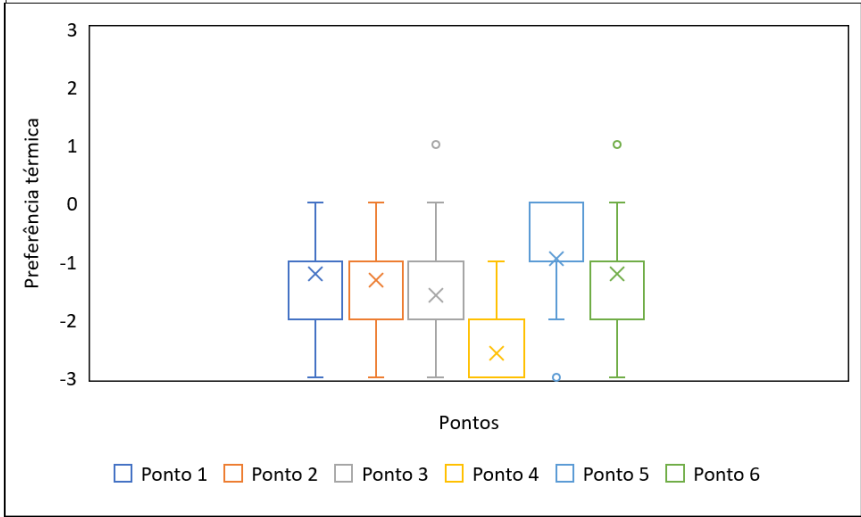
Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 36 – Votos de conforto térmico período seco.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 37 – Votos de preferência térmica período seco.**



Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### 4.6.1 Percepção do ambiente térmico entre os pontos

O gráfico 38 apresenta a avaliação térmica do ambiente em comparação com o ponto anterior no período úmido. Esta análise refere-se ao 3º bloco do questionário.

Comparando o ponto 2 com o ponto 1, a maioria dos participantes consideraram o ambiente “mais frio” (22), estando de acordo com a sensação térmica neste período, que foi de “pouco de calor” no ponto 1 e “neutro” no ponto 2.

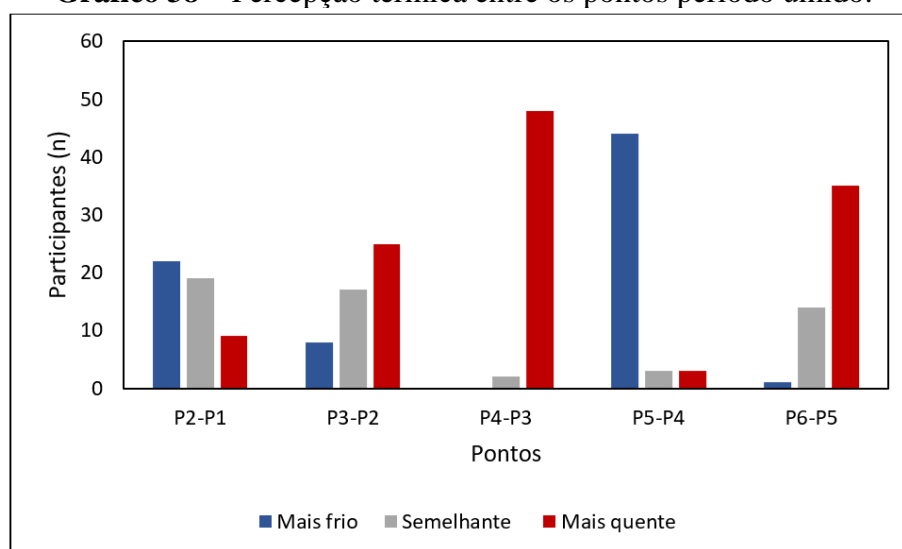
O ponto 3, em comparação com o ponto 2, foi considerado “mais quente” (25). Diferente dos pontos 1 e 2, que são locais bem arborizados, o ponto 3 é um pouco mais exposto à radiação solar, favorecendo a percepção de ser “mais quente”.

O ponto 4, em relação ao ponto 3, foi considerado “mais quente” (48). Compreende-se que o ponto 4 é ainda mais quente que o ponto 3. Novamente, percebe-se que a exposição à radiação solar foi um fator determinante na avaliação térmica do ambiente.

O ponto 5, em relação ao ponto 4, foi avaliado como “mais frio” (44). A densidade da vegetação diminuiu a exposição à radiação solar e favoreceu a percepção de um ambiente térmico mais frio.

O ponto 6 foi considerado “mais quente” (35) que o ponto 5. Apesar de ser uma área mais aberta e ventilada, o ponto 6 tem maior área de exposição à radiação solar.

**Gráfico 38** – Percepção térmica entre os pontos período úmido.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

O gráfico 39 apresenta a avaliação térmica do ambiente em comparação com o ponto anterior no período seco.

Comparando o ponto 2 com o ponto 1, a maioria dos participantes consideraram o ambiente termicamente “semelhante” (23), estando de acordo com a sensação térmica neste período, que foi de “calor” para os dois pontos.

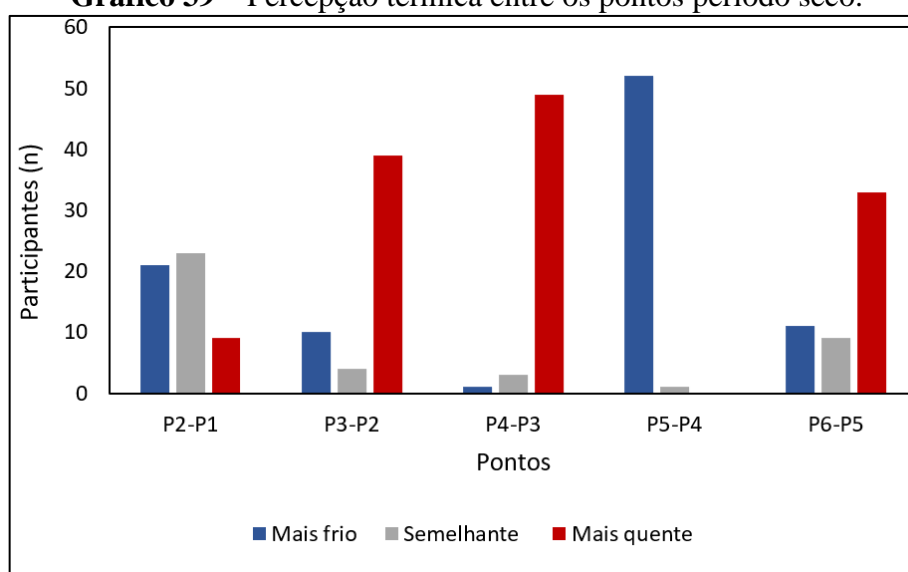
O ponto 3, em comparação com o ponto 2, foi considerado “mais quente” (39). Como exposto anteriormente, os pontos 1 e 2 são locais bem arborizados, e o ponto 3 é um pouco mais exposto à radiação solar, favorecendo a sensação de ser “mais quente”.

O ponto 4 em relação ao ponto 3 foi considerado “mais quente” por quase a totalidade da amostra (49). Fica ainda mais evidente que a exposição à radiação solar, principalmente no período mais seco, aumenta a sensação de maior desconforto térmico neste ponto.

O ponto 5, em relação ao ponto 4, foi avaliado como “mais frio” (52). A densidade da vegetação neste ponto foi ainda mais eficiente na percepção do ambiente térmico no período seco e favoreceu a percepção de um ambiente térmico “mais frio”.

O ponto 6 foi considerado “mais quente” (33) que o ponto 5. Apesar de ser uma área mais aberta e ventilada, o ponto 6 tem maior área de exposição à radiação solar.

**Gráfico 39** – Percepção térmica entre os pontos período seco.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

De modo geral, além das condições microclimáticas, outros fatores ambientais, como a vegetação, a cobertura do solo e exposição à radiação solar influenciaram nas respostas de percepção térmica dos participantes entre os pontos em ambos os períodos. Os pontos menos expostos à radiação solar (pontos 1, 2 e 5) foram associados a percepções térmicas mais próximas da neutralidade, enquanto os pontos mais expostos à radiação solar (pontos 3, 4 e 6) foram considerados mais termicamente desconfortáveis para o calor.



#### 4.7 Variáveis microclimáticas, sensação térmica e índices de conforto PET e UTCI

A sensação térmica e o conforto térmico declarado foram comparados com as faixas de conforto dos índices UTCI e PET, utilizando como referência as médias da temperatura do ar e temperatura radiante média de cada ponto.

Mesmo que, por si só, essas variáveis não sejam suficientes para avaliar completamente a sensação térmica, utilizando índices de conforto térmico e as repostas de percepção térmica subjetivas, é possível fornecer uma visão mais completa das condições térmicas de um ambiente.

Durante o período úmido, as condições térmicas foram um pouco mais amenas que no período seco, com intervalo de médias da temperatura do ar de 28,4 a 29,1 °C e média da temperatura radiante média de 29,7 a 30,7 °C. Neste intervalo, a sensação térmica subjetiva variou consideravelmente entre os pontos, de “neutro, pouco calor e muito calor”; já a avaliação do conforto térmico foi mais constante “confortável”, exceto pelo ponto 4, que foi de “pouco desconfortável”. O intervalo de temperatura do ar médio delimitado compreende as faixas de conforto térmico de PET e UTCI nas categorias de pouco calor (26 a 31 °C) e moderado estresse para o calor (26 a 32 °C), consecutivamente.

Observa-se que, mesmo em condições microclimáticas relativamente semelhantes, a sensação térmica pode variar consideravelmente. Por outro lado, percebe-se uma tolerância maior em relação ao calor, já que pontos com sensações térmicas diferentes foram avaliados como confortáveis.

Os índices PET e UTCI mostraram consistência em indicar um certo nível de estresse térmico para o calor em todos os pontos, coincidindo com as sensações térmicas declaradas pelos participantes, exceto no ponto 2, no qual prevaleceu a sensação de neutralidade. Curiosamente, este ponto teve a maior média de temperatura do ar (29,1 °C) e maior média de temperatura radiante média (30,7 °C), demonstrando a complexibilidade dos votos de avaliação subjetivas e que outros fatores, além das condições microclimáticas, influenciam na sensação térmica subjetiva. Neste experimento, a exposição à radiação solar foi a principal delas.

Ao realizarem um estudo longitudinal com quatro cenários pré-organizados, em um *campus* da Universidade Chinesa de Hong Kong, Cheng *et al.* (2012) observam que, no cenário sem proteção, onde os entrevistados se mantiveram sentados sob a radiação solar, a sensação de neutra caiu de 38 % para 29 %. Os indivíduos em cenários com proteção solar classificaram a condição de exposição solar como boa. Quando expostos diretamente ao sol, classificaram a condição de exposição solar como um pouco excessiva (ver Tabela 35).

**Tabela 35** – Comparação entre temperatura do ar, sensação térmica, UTCI e PET período úmido

Ponto	TA média (°C)	Sensação térmica	Conforto térmico	PET (°C)	UTCI (°C)
1	28,4	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
2	29,1	Neutro	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
3	28,7	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
4	28,4	Muito calor	Pouco desconfortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
5	28,8	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
6	28,4	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante o período seco, as condições térmicas foram mais quentes que no período úmido, com intervalo de médias da temperatura do ar de 29,8 a 30,4 °C e média da temperatura radiante média de 31 a 33,3 °C. Neste intervalo, a sensação térmica subjetiva variou entre “pouco calor, calor e muito calor”, diferente do período úmido, o qual não apresentou sensação de neutralidade e teve categorias de maior desconforto para o calor.

Os pontos 1, 2 e 3 que, durante o período úmido, estavam nas categorias de sensação térmica de “neutro e pouco calor”, no período seco, subiram para a categoria “calor”. Em relação ao conforto térmico do ambiente, os pontos 1 e 3 subiram da categoria “confortável” para “pouco desconfortável”; o ponto 2 manteve-se na categoria confortável.

O ponto 4 novamente apresentou o pior desempenho térmico, permanecendo a sensação de “muito calor” e conforto térmico subindo para a categoria “muito desconfortável”. Já os pontos 5 e 6 mantiveram-se nas mesmas categorias, sensação de “pouco de calor” termicamente “confortável”.

O intervalo médio de temperatura do ar de 29,8 a 30,4 °C compreende as faixas de conforto térmico de PET e UTCI nas categorias de “pouco calor” (26 a 31 °C) e “moderado estresse para o calor” (26 a 32 °C), consecutivamente.

Nota-se que, no período seco, o aumento das temperaturas, elevaram as categorias de desconforto para o calor, tanto na avaliação subjetiva, quanto as faixas dos índices térmicos. Ainda assim, determinados pontos (2, 5 e 6) permaneceram nas categorias de confortável, destacando novamente uma certa tolerância às condições microclimáticas mais quentes.

O intervalo médio da temperatura do ar apresentou PET e UTCI mais estáveis, de pouco calor e moderado estresse para o calor. Deste modo, nos pontos 1, 2, 3 e 4, há uma subestimação dos índices que classificam em faixas de conforto menos quentes “pouco calor”, enquanto a sensação declarada é de “calor” e “muito calor”.

Por fim, nos pontos 5 e 6, ambos os índices superestimaram a sensação térmica declarada. Enquanto a sensação foi de “pouco calor”, PET esteve na faixa de “calor”, e UTCI,

na faixa de” muito estresse para calor”. De modo geral, tanto PET quanto UTCI são índices que representaram bem as condições térmicas do ambiente. Ainda assim, observa-se que apenas os índices por si só não são suficientes para determinar as condições térmicas de um ambiente. A subjetividade das respostas de percepção térmica exhibe a dificuldade de caracterizar o conforto térmico em espaços abertos. Os detalhes estão na Tabela 36.

**Tabela 36** – Comparação entre temperatura do ar, sensação térmica, UTCI e PET período seco.

Ponto	TA média (°C)	Sensação térmica	Conforto térmico	PET (°C)	UTCI (°C)
1	29,9	Calor	Pouco desconfortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
2	29,8	Calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
3	30,0	Calor	Pouco desconfortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
4	30,4	Muito calor	Muito desconfortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
5	30,2	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor
6	30,1	Pouco de calor	Confortável	Pouco calor	Moderado estresse para o calor

Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### 4.8 Correlação entre variáveis subjetivas, microclimáticas e índices de conforto

As variáveis microclimáticas são variáveis quantitativas contínuas, por isso, assumem um valor real. Já as variáveis subjetivas são quantitativas categóricas, por isso, possuem valores agregados e não contínuos. Embora os valores de PET e UTCI sejam frequentemente interpretados em termos de categorias de estresse térmico, para ambos os índices, as categorias estão em escalas contínuas (em graus Celsius), podendo assumir qualquer valor dentro de um intervalo. Como as variáveis qualitativas e quantitativas não obedeceram a uma distribuição normal após o teste de Shapiro-Wilk ao nível de confiança de 95%, para verificar a existência de associação entre estes dois grupos de variáveis, foi preferível a correlação de Spearman ao nível de confiança de 95% (ver Tabelas 37 e 38).

**Tabela 37** – Teste de normalidade para variáveis ambientais.

Shapiro-Wilk Test p > 0,05.	Ta °C	Tg °C	Ur%	Va m/s	Trm °C
W-stat	0,966004	0,962635	0,979445	0,237891	0,939178482
p-value	6,97E-07	2,23E-07	0,000136	0,00	2,889E-10
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
normal	no	no	no	no	no

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Tabela 38** – Teste de normalidade para variáveis subjetivas.

Shapiro-Wilk Test p > 0,05.	Sensação térmica	Conforto térmico	Preferência térmica	Sensação térmica, ponto anterior
W-stat	0,90869	0,730583	0,851262	0,80646
p-value	4,23E-13	0,00	0,00	0,00
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
normal	no	no	no	no

Fonte: Elaboração própria, 2024.

A Sensação térmica apresentou correlações baixas, próximas de zero, mas positivas com as variáveis microclimáticas: temperatura do ar ( $r = 0,122$ ), umidade relativa do ar ( $r = 0,166$ ) e os índices PET ( $r = 0,117$ ) e UTCI ( $r = 0,183$ ). À medida que as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e os índices de conforto PET e UTCI aumentaram a sensação térmica, isso demonstrou uma tendência a se mover para categorias ligeiramente mais quentes. Tal contexto significa que o aumento dessas variáveis está associado a sensações térmicas mais quentes.

O conforto térmico também apresentou correlações positivas com as variáveis microclimáticas, temperatura do ar ( $r = 0,120$ ), umidade relativa do ar ( $r = 0,125$ ) e com os índices PET ( $r = 0,123$ ) e UTCI ( $r = 0,169$ ). De mesma forma, quando as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e os índices de conforto PET e UTCI aumentaram, o conforto térmico demonstrou uma tendência a passar para uma categoria de maior desconforto para o calor.

A preferência térmica apresentou correlações negativas com a umidade relativa do ar ( $r = -0,137$ ) e com o índice UTCI ( $r = -0,161$ ). Como, neste caso, as correlações foram negativas à medida que essas variáveis aumentaram (indicando um ambiente mais quente), a preferência térmica das pessoas tende a se deslocar para categorias com maior necessidade de resfriamento.

De modo geral, as correlações (618 registros), entre as variáveis subjetivas e as variáveis microclimáticas, foram baixas, com valores do coeficiente de correlação que se aproximam do zero. Os valores em destaque vermelho correspondem a correlações com coeficiente diferente de zero ( $r = 0,1$  e p-valor  $<0,05$ ).

Em estudos de conforto térmico em ambientes urbanos, correlações de  $r = 0,2$  e  $0,6$  são comuns (e.g., Nikolopoulou; Lykoudis, 2006; Rossi, 2011; Krüger, *et al.* 2012). No estudo realizado por Labdaoui *et al.* (2021), na cidade de Annaba, Argélia, as correlações entre os votos de sensação térmica (TSV), temperatura do ar e PET apresentaram correlações ligeiramente mais altas com  $r = 0,308$  e  $r = 0,269$ , consecutivamente.

Por outro lado, Kumar e Sharma (2021) investigaram as condições de conforto térmico ao ar livre em espaços abertos na área do *campus*, na região árida em Murthal, Índia. Ao analisar as preferências térmicas, encontraram correlações mais fortes com a temperatura radiante média ( $r = 0,844$ ), umidade relativa ( $r = -0,727$ ) e temperatura do ar ( $r = 0,547$ ).

As diferenças entre as correlações se devem à subjetividade desse tipo de variável, que pode ser influenciada não só por fatores climáticos, mas também por fatores físicos, fisiológicos e psicológicos (Nikolopoulou; Steemers, 2003).

Além desses fatores, deve-se considerar que em estudos transversais a quantidade de dados coletados é bem mais expressiva que em estudos longitudinais (como apresentado nesta pesquisa) o que pode resultar em análises estatísticas mais robustas quando se trata de correlações entre variáveis categoriais e quantitativas. A tabela 39 apresenta as correlações.

**Tabela 39** – Correlações de Spearman entre variáveis subjetivas e microclimáticas e índices de conforto.

Variável microclimática / índices de conforto	Sensação térmica	Conforto térmico	Preferência térmica
Ta °C	0,122 p= 0,002	0,120 p= 0,003	-0,095 p= 0,018
TG °C	-0,044 p= 0,277	0,054 p= 0,179	-0,026 p= 0,524
TRM °C	0,029 p= 0,476	0,041 p= 0,309	-0,007 p= 0,863
UR %	0,166 p= 0,000	0,125 p= 0,002	-0,137 p= 0,001
Va (m/s)	0,008 p= 0,839	0,018 p= 0,674	0,033 p= 0,407
PET °C	0,117 p= 0,004	0,123 p= 0,002	-0,089 p= 0,027
UTCI °C	0,183 p= 0,000	0,169 p= 0,000	-0,161 p= 0,000

Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### 4.9 Intervalo de conforto térmico

O intervalo de conforto térmico foi estabelecido a partir dos votos de Sensação térmica (pergunta 1 do questionário: Como você está se sentindo em relação ao ambiente térmico?), com escala de 7 pontos (-3 muito frio a +3 muito calor, com 0 neutro). Por meio das análises

descritivas e de gráficos de dispersão tipo bolha, foi possível verificar em quais condições microclimáticas está contida a maior parte dos votos da sensação de conforto térmico.

Devido à sobreposição dos votos nas categorias de neutralidade (0) e as categorias de desconforto para o calor (+1 pouco de calor a +3 muito calor) dentro do mesmo intervalo microclimático, e considerando que, no clima analisado, o desconforto térmico é frequentemente para o calor, optou-se por considerar que os votos nas categorias 0 e +1 podem representar pessoas em condições de conforto térmico, tendo em vista que, na análise comparativa na sessão 4.8, foi possível observar que, em determinados pontos, ao longo da trilha onde a sensação térmica declarada foi de “pouco calor”, a avaliação do ambiente térmico foi de “confortável”, o que ocorre devido a uma maior tolerância das pessoas ao clima local, já que estão adaptadas às condições climáticas mais quentes da região.

Assim, foi assumido, na construção do gráfico, que o intervalo de conforto corresponde aos votos nas categorias “0 neutro e +1 pouco calor.” Já o desconforto para o calor corresponde às categorias “+2- calor e +3 - muito calor”.

Durante o período úmido, devido às condições climáticas mais amenas (ou menos quente), foi possível encontrar alguns poucos votos de sensação térmica na categoria de “-1 pouco de frio”. Quando isso aconteceu, os votos também foram considerados dentro do intervalo de conforto, já que o desconforto dessa categoria foi mínimo.

Para esta análise, considerou-se o acúmulo de votos de sensação térmica para todos os pontos de cada período. O eixo y representa os votos da sensação térmica declarada; já o eixo x corresponde às variáveis microclimáticas temperatura do ar e umidade relativa do ar ou aos índices PET e UTCI. Essas variáveis foram selecionadas por terem apresentado correlações significativas com os votos de sensação térmica (sessão 4.9). A posição das bolhas no gráfico indica a localização dos votos de sensação térmica em uma determinada condição microclimática; já o diâmetro da bolha mostra a quantidade de votos em cada categoria.

A análise referente ao período úmido é formada por uma amostra de 300 registros. A partir do horário final de cada resposta do questionário, foi selecionada a condição microclimática no mesmo horário do voto (ver Tabela 40).

**Tabela 40** – Acúmulo de votos de sensação térmica para todos os pontos, período úmido.

Sensação	Categoria	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Total	%
3	Muito calor	1	0	2	26	2	5	36	12
2	Calor	17	11	14	18	11	15	86	29
1	Pouco de calor	23	16	23	6	18	24	110	37
0	Neutro	9	20	9	0	11	5	54	18
-1	Pouco de frio	0	3	2	0	8	1	14	5

-2	Frio	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	Muito frio	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		50	50	50	50	50	50	300	100

Fonte: Elaboração própria, 2024.

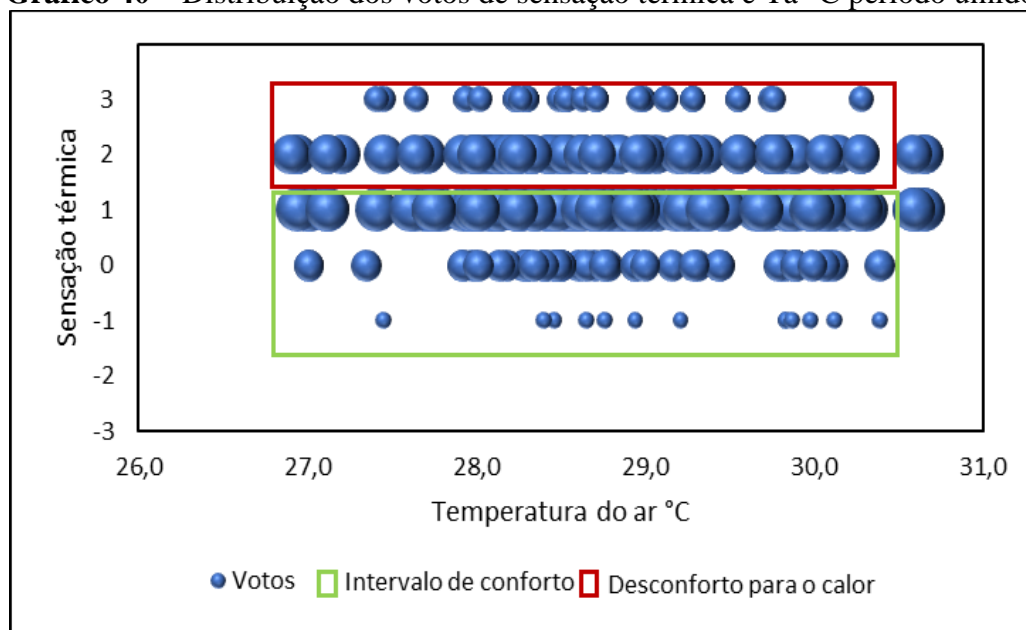
Nos gráficos de 40 a 43 de dispersão tipo bolha, o eixo (y) representa a escala de sensação térmica, e o eixo (x) representa as variáveis microclimáticas ( $T_a$  °C e  $U_r$  %) e os índices de conforto (PET e UTCI).

Inicialmente, ao analisar os gráficos 40 a 43, nota-se que, de modo geral, existe sobreposição dos votos entre as categorias de conforto (-1, 0, 1) e desconforto para o calor (+2 e +3) em todos os casos.

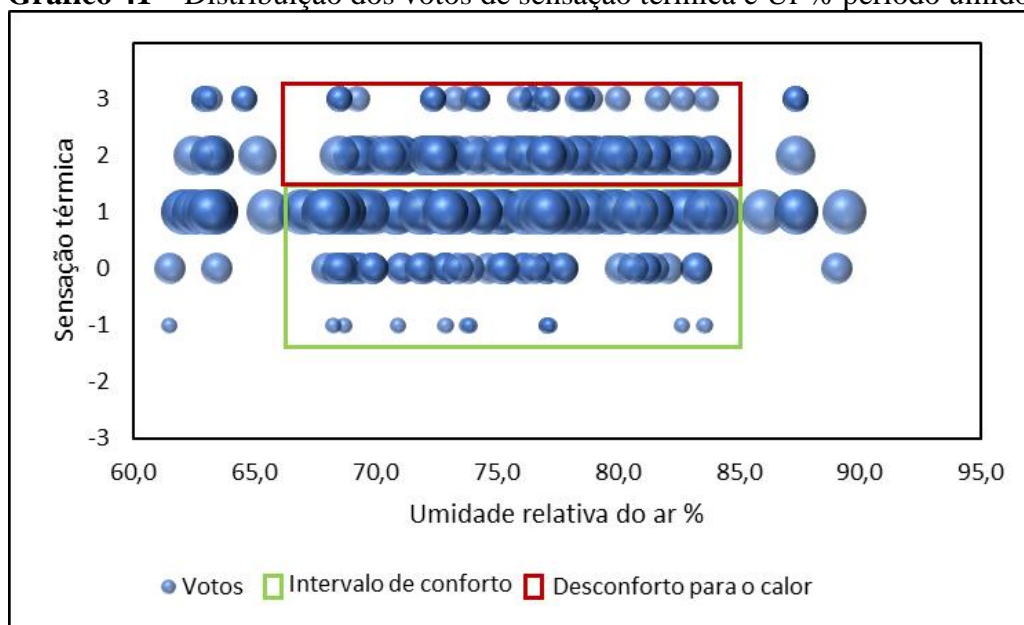
Para o período úmido, observou-se que, entre o intervalo com temperatura do ar de 27 a 30 °C, umidade relativa do ar de 66 a 85 %; PET de 26 a 31 °C e UTCI de 29 a 34 °C, estão concentrados aproximadamente 60 % das sensações de conforto (área delimitada em verde nos gráficos) e 40 % estão nas categorias de desconforto para o calor (área delimitada em vermelho nos gráficos).

O diâmetro da bolha mostra que entre o intervalo com temperatura do ar de 27 a 30 °C, umidade relativa do ar de 66 a 85 %; PET de 26 a 31 °C e UTCI de 29 a 34 °C, as categorias que mais receberam votos foram +1, pouco calor e +2, calor.

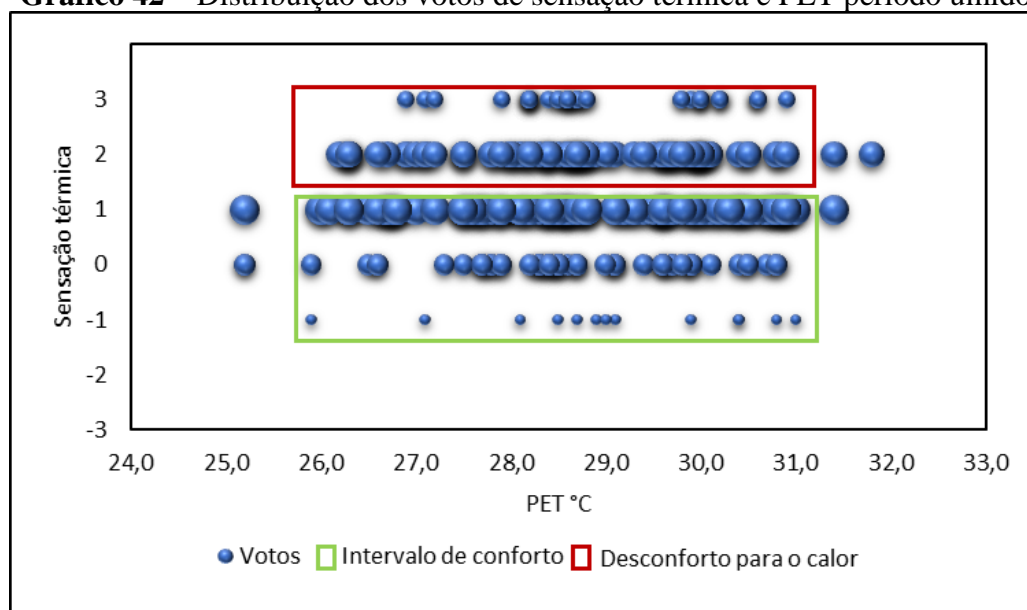
**Gráfico 40** – Distribuição dos votos de sensação térmica e  $T_a$  °C período úmido.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

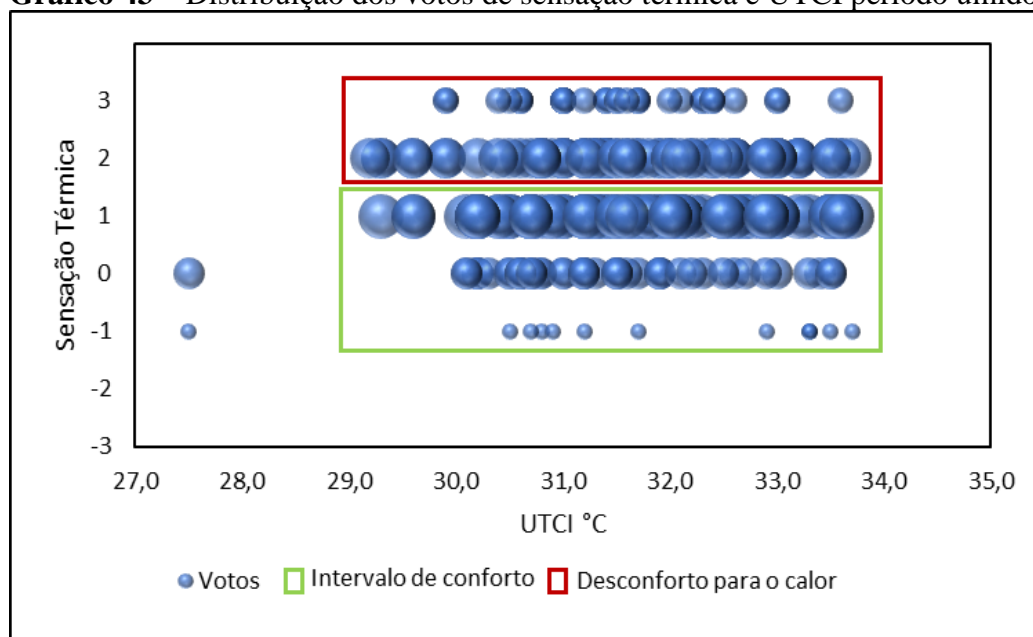
**Gráfico 41** – Distribuição dos votos de sensação térmica e Ur % período úmido.

Fonte: Elaboração própria, 2024

**Gráfico 42** – Distribuição dos votos de sensação térmica e PET período úmido.

Fonte: Elaboração própria, 2024.



**Gráfico 43** – Distribuição dos votos de sensação térmica e UTCI período úmido.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

A análise referente ao período seco é formada por uma amostra de 318 registros, da mesma forma que o período úmido. A partir do horário final de cada resposta do questionário, foi selecionada a condição microclimática no mesmo horário do voto (ver Tabela 41).

**Tabela 41** – Acúmulo de votos de sensação térmica para todos os pontos, período seco.

Sensação	Categoria	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Total	%
3	Muito calor	8	5	2	45	1	6	67	21
2	Calor	25	24	48	8	8	16	129	41
1	Pouco de calor	15	18	3	0	27	23	86	27
0	Neutro	5	4	0	0	10	6	25	8
-1	Pouco de frio	0	2	0	0	3	2	7	2
-2	Frio	0	0	0	0	4	0	4	1
-3	Muito frio	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		53	53	53	53	53	53	318	100

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para o período seco, os gráficos 44 a 47 mostram que, entre o intervalo com temperatura do ar de 29 a 32 °C, umidade relativa do ar de 70 a 95 %; PET de 29 a 35 °C e UTCI de 33 a 38 °C, concentram-se aproximadamente 37 % das sensações de conforto (área delimitada em verde nos gráficos), e 63 % estão nas categorias de desconforto para o calor (área delimitada em vermelho nos gráficos). O diâmetro da bolha mostra entre o intervalo com temperatura do ar de 29 a 32 °C, umidade relativa do ar de 70 a 95 %; PET de 29 a 35 °C e UTCI de 33 a 38

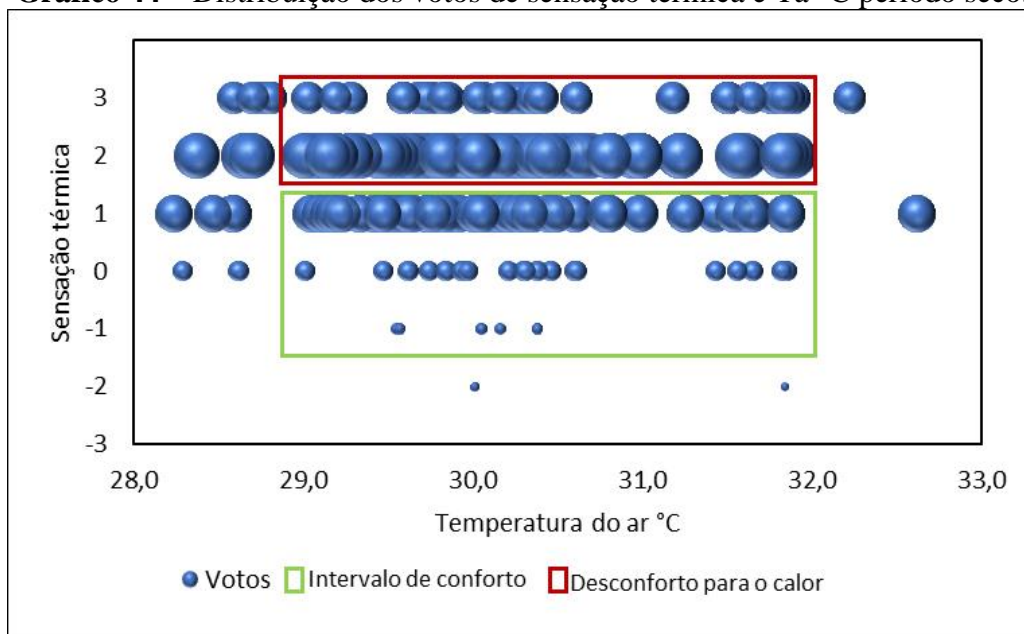
°C, concentram-se aproximadamente 37 % as categorias que mais receberam votos foram +1, pouco calor e +2, calor.

Diferente do período úmido, o período seco apresentou mais votos nas categorias de desconforto para o calor. Obviamente, esse comportamento é reflexo das mudanças entre as estações do ano. O período seco é marcado por longos dias de sol e céu claro, com pouca ou nenhuma precipitação.

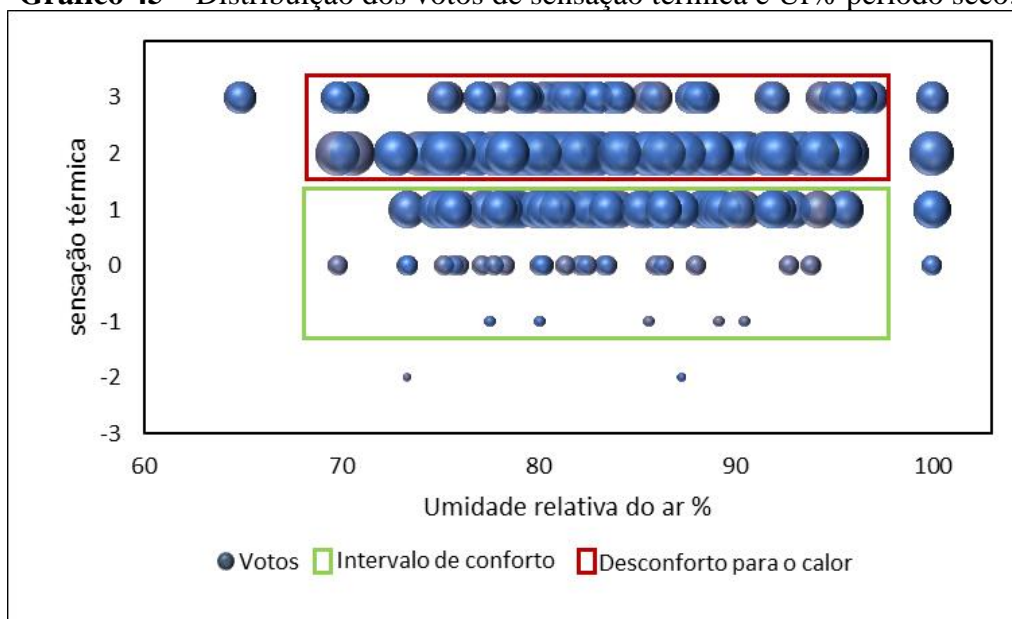
As máximas de temperatura do ar podem registrar valores acima dos 32 °C. As médias de umidade do ar se mantêm elevada acima dos 70 %. A proximidade da cidade com o mar impede que os níveis de umidade caiam drasticamente, como acontece em cidades mais interioranas da região Nordeste.

A vegetação e os corpos hídricos no interior do parque também contribuíram para manter valores altos de umidade do ar, alcançando quase 100 % de saturação.

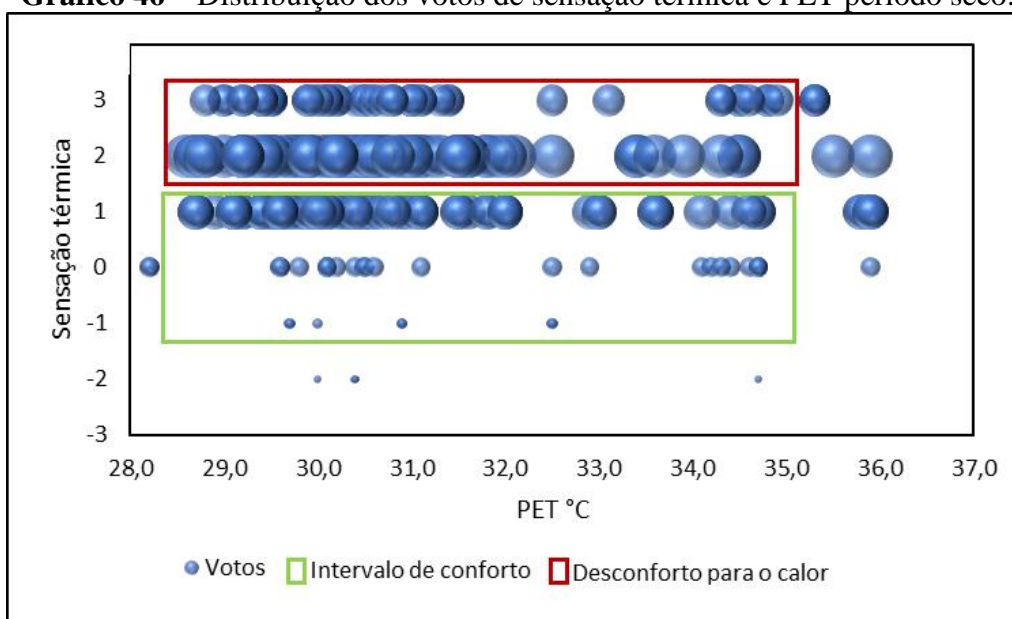
**Gráfico 44** – Distribuição dos votos de sensação térmica e  $T_a$  °C período seco.



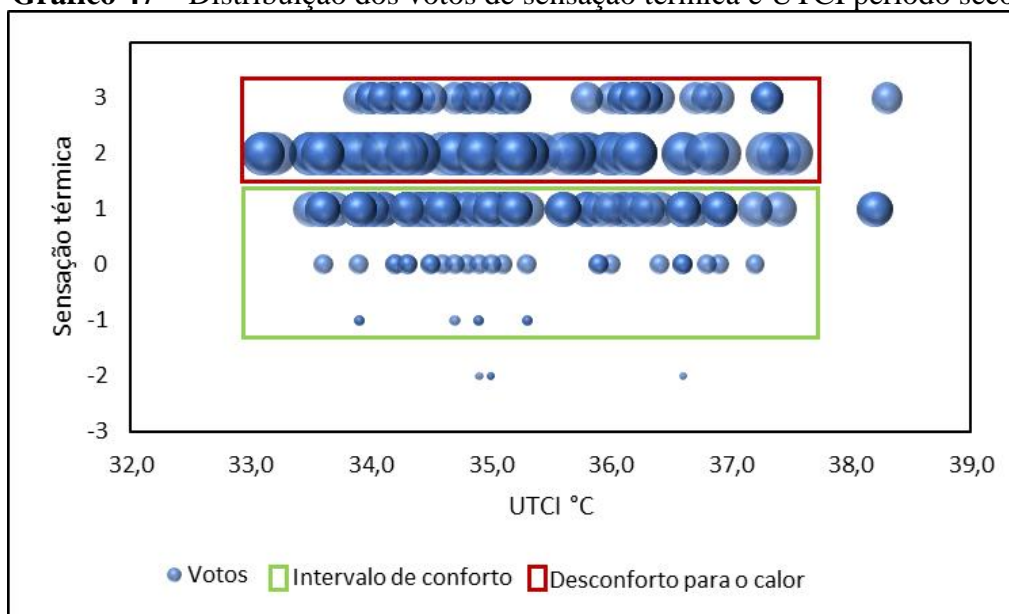
Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 45** – Distribuição dos votos de sensação térmica e Ur% período seco.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 46** – Distribuição dos votos de sensação térmica e PET período seco.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Gráfico 47** – Distribuição dos votos de sensação térmica e UTCI período seco.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

De modo geral, o período úmido apresentou uma maior sensação de conforto térmico em todas as variáveis microclimáticas analisadas, com valores próximos aos 60%. Já no período seco, a elevação da temperatura do ar resultou em uma maior redução na sensação de conforto térmico. Mesmo a alta umidade do ar não foi capaz de reduzir as sensações de desconforto térmico, o que resultou em valores de conforto térmico abaixo de 40% em todas as variáveis.

Tanto o PET quanto o UTCI indicaram um aumento significativo das condições de desconforto durante o período seco, refletindo as temperaturas mais elevadas e a dificuldade dos participantes em manter o conforto térmico sob essas condições. Apesar de UTCI e PET apresentarem intervalos de conforto próximos, o PET mostrou-se ligeiramente mais próximo ao intervalo da temperatura do ar em ambos os períodos.

O PET demonstrou maior sensibilidade às variações microclimáticas que impactaram a sensação térmica de desconforto, capturando de forma mais precisa essas variações, especialmente em relação às temperaturas mais baixas, e refletindo melhor o desconforto térmico real dos participantes. Por outro lado, o UTCI mostrou correlações ligeiramente mais fortes em relação às três variáveis subjetivas, enquanto o PET esteve correlacionado com apenas duas variáveis subjetivas.

Segundo Johansson *et al.* (2018), embora o índice PET seja mais simples que o UTCI, ele se adapta bem a climas quentes e úmidos, possivelmente porque sua vestimenta padrão e atividade são mais representativas dessas condições. Em contrapartida, o UTCI apresenta limitações, como o nível fixo de atividade (caminhada a 1,1 m/s, equivalente a 2,3 met),

vestimentas inadequadamente leves para altas temperaturas e o uso de velocidade do vento calculada a 10 m de altura, e não na altura do pedestre, comprometendo sua precisão em condições de clima quente.

## 5 CONCLUSÕES

1- Nos últimos anos, houve um aumento significativo no número de estudos sobre conforto térmico em espaços urbanos, especialmente na China e na Europa. Esse crescimento reflete uma maior atenção voltada para os espaços públicos. No entanto, países com menor financiamento em pesquisas enfrentam dificuldades para adquirir os equipamentos necessários para a realização desses estudos, devido ao seu custo elevado.

2- A revisão sistemática apresentada nesta tese revelou uma ampla variedade de instrumentos, normas e metodologias aplicadas em pesquisas de conforto térmico em espaços urbanos. Embora essas pesquisas sigam normas internacionais reconhecidas para a instrumentação de equipamentos, padronização de questionários e uso de índices de conforto térmico, tais normas foram originalmente desenvolvidas para ambientes internos. Devido à ausência de regulamentações específicas para espaços ao ar livre, essas diretrizes continuam a ser amplamente utilizadas em estudos urbanos ao ar livre.

3- O método para avaliação do conforto térmico dinâmico em espaços urbanos aplicado neste estudo de caso, realizado em um parque urbano localizado na cidade de João Pessoa, Paraíba, utilizando de medições microclimáticas coletadas *in loco* a partir de um percurso móvel pedonal e aplicação de questionário de avaliação subjetiva mostrou-se eficiente, já que foi possível através das informações coletas através dos questionários avaliar a sensação, o conforto e preferência térmica dos participantes.

De acordo com SUN, *et al.* (2020) a maior vantagem da observação por percurso móvel é a capacidade de obter diretamente dados de temperatura urbana. No entanto, sua principal desvantagem é a necessidade de grande esforço humano.

4- A possibilidade de comparação entre os pontos foi um diferencial do método, pois permitiu identificar mudanças rápidas e temporárias nas condições térmicas, além de investigar com mais precisão as variações na percepção térmica em diferentes cenários ambientais. Esse aspecto contribuiu para uma melhor compreensão da dinâmica do conforto térmico. A comparação entre os pontos gera avanços em estudos de climatologia urbana em termos

qualitativos e quantitativos sobre a distribuição das variáveis medidas em microescala, o que permite uma resolução espacial mais alta (Romero, *et al.* 2020).

5- O monitoramento microclimático realizado pelo PLEMS, apresentou desempenho satisfatório. Após testagem, o protótipo mostrou-se viável para medição de variáveis ambientais. Protótipos de mochilas bioclimáticas, como o PLEMS, possuem vantagens sobre as estações microclimáticas fixas por capacidade de mobilidade pedonal em diferentes contextos urbanos e por utilizarem sensores de baixo custo, superando a limitação de aquisição de equipamentos profissionais de alto custo.

6- A proposta de questionário formulada e validada por especialistas e participantes mostrou-se viável para ser aplicada em estudos de conforto térmico dinâmico em espaços abertos, tendo em vista que o questionário cumpriu sua função de coletar informações biológicas e avaliar a percepção térmica dos entrevistados de forma eficiente.

Definir a estrutura ideal para os questionários é uma tarefa complexa e depende da intencionalidade e do objetivo de cada pesquisa. Ainda assim, o seu formato precisa reunir informações suficientes que possibilitem não apenas avaliar o conforto térmico, mas permitir a harmonização e a comparação entre dados coletados por diferentes pesquisadores.

7- As análises estatísticas mostraram que a sensação térmica declarada pelos participantes está mais correlacionada com variáveis microclimáticas temperatura do ar e umidade relativa do ar bem como com os índices de conforto térmico PET e UTCI. Tanto o PET quanto o UTCI indicaram desconforto para o calor em alguma faixa nos dois períodos climáticos monitorados, estando em concordância com a sensação subjetiva declarada pelos participantes, que foi, em sua maioria, de “pouco de calor”. Tanto o PET quanto o UTCI desempenharam papéis importantes na avaliação do conforto térmico.

8- Para o período úmido no intervalo com temperatura do ar de 27 a 30 °C, umidade relativa do ar de 66 a 85 %, PET de 26 a 31 °C e UTCI de 29 a 34 °C, concentram-se aproximadamente 60 % das sensações de conforto, e 40 % estão nas categorias de desconforto para o calor. Já no período seco no intervalo com temperatura do ar de 29 a 32 °C, umidade relativa do ar de 70 a 95 %, PET de 29 a 35 °C e UTCI de 33 a 38 °C, concentram-se aproximadamente 37 % das sensações de conforto, e 63 % estão nas categorias de desconforto para o calor.

Por fim, esta pesquisa procurou contribuir com os esforços de outros pesquisadores na busca pela padronização dos estudos de conforto térmico dinâmico em espaços urbanos. Embora não seja o objetivo principal, a intenção é que os dados coletados nesta pesquisa

possam, futuramente, integrar um banco de dados internacional, facilitando comparações entre diferentes pesquisas, contextos urbanos e climas.

### **5.1 Limitações da pesquisa**

Uma das principais limitações desta pesquisa foi a pandemia de Sars-CoV-2 (coronavírus) ocorrida entre 2020 e 2022, que impossibilitou o cumprimento do cronograma originalmente planejado. A crise sanitária global afetou diretamente o andamento do projeto, gerando restrições de mobilidade, dificuldades de acesso a laboratórios e a impossibilidade de realizar coletas de dados presenciais nos períodos previstos. Além disso, a ausência de incentivo financeiro, especialmente na forma de bolsa nos primeiros anos da pesquisa, comprometeu a dedicação exclusiva do pesquisador ao doutorado, que precisou conciliar suas atividades acadêmicas com o trabalho externo para garantir sua subsistência.

### **5.2 Considerações para trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros, é fundamental expandir a pesquisa para outros espaços urbanos com características distintas. No que diz respeito ao protótipo PLEMS, é importante avaliar se o anemômetro de fio quente seria mais eficiente que o anemômetro de copo, que apresentou limitações na captação de baixas velocidades do ar.

Anemômetros de copo e hélice podem não ser apropriados para baixas velocidades do vento, devido ao limite mínimo de registro, enquanto anemômetros de fio quente e de esfera quente, embora capazes de medir baixas velocidades, possuem um limite superior de velocidade (Johansson, *et al.* 2014).

Além disso, em relação ao método aplicado, considerar um tempo de permanência maior em cada ponto de medição poderia proporcionar uma descrição mais detalhada das variações climáticas entre os pontos analisados.

Outra análise relevante seria investigar se o fator de céu visível apresenta correlação com as respostas de sensação térmica, já que a exposição à radiação solar direta se mostrou determinante na avaliação do conforto térmico subjetivo. Minella *et al.* (2011) investigaram o efeito diurno do FVC no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba.

Os resultados indicaram que o FVC exerce uma influência moderada sobre o microclima em dias com temperaturas mais altas ( $R^2 = 0,44$ ) e mais baixas ( $R^2 = 0,45$ ). Os autores destacam

que, enquanto alguns estudos apontam uma influência limitada do FVC na determinação do microclima, outros revelam uma forte correlação. Essas divergências podem ser atribuídas aos diferentes métodos de coleta de dados, variações no número de pontos analisados e diferenças nos dias e horários das medições.



## REFERÊNCIAS

ABREU, L.; LABAKI, L. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, 2010, p. 103-117, out./dez. ISSN 1678-8621. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/12359/10607>. Acesso em: 13 set. 2024.

ALI, A. S.; 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**, v. 100, 2016, p.114-126. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316300476?via%3Dihub>. Acesso em: 07 set. 2024.

ALIJANI, S.; POURAHMAD, A.; NEJAD, H. H.; ZIARI, K.; SODOUDI, S. A new approach of urban livability in Tehran, Thermal comfort as a primitive indicator. Case study, district 22. *Urban Climate*, v. 33, 2020, p. 1-15. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095519303682?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

ALJAWABRA, F.; NIKOLOPOULOU, M. Thermal comfort in urban spaces: a cross-cultural study in the hot arid climate. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2018, pág. 1901–1909. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30128911/> Acesso em: 13 set. 2024.

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, New York, USA, 2005.

ATALLAH, A. N.; CASTRO, A. A. **Revisão sistemática da literatura e meta-análise**. Medicina baseada em evidências, fundamentos da pesquisa clínica. São Paulo: Lemos-Editorial, 1998, p. 20-28. Disponível em: [http://www.centrocochranedobrasil.com.br/cms/apl/artigos/artigo\\_530.pdf](http://www.centrocochranedobrasil.com.br/cms/apl/artigos/artigo_530.pdf). Acesso em: 13 set. 2024.

BORGES, V. C. A. L.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. Thermal sensation in outdoor urban spaces: a study in a Tropical Savannah climate, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 3, 2020, p. 533–545. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31797038/>. Acesso em: 07 set. 2024.

BRÖDE, P.; FIALA, D.; BLAZEJCZYK, K.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G. Deriving the Operational Procedure for the Universal Thermal Climate Index UTCI. **International Journal of Biometeorology, special issue (UTCI)**, v. 56, 2012, p. 481–494. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-011-0454-1>. Acesso em: 07 set. 2024.

BRÖDE, P.; KRUGER, L. E.; ROSSI, A. F.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI - a case study in Southern Brazil. **Int J Biometeorol**, v. 56, n. 3, 2011, p. 471–480. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/51157668\\_Predicting\\_urban\\_outdoor\\_thermal\\_comfort\\_by\\_the\\_Universal\\_Thermal\\_Climate\\_Index\\_UTCI-a\\_case\\_study\\_in\\_Southern\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/51157668_Predicting_urban_outdoor_thermal_comfort_by_the_Universal_Thermal_Climate_Index_UTCI-a_case_study_in_Southern_Brazil). Acesso em: 13 set. 2024.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído**. 2003. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/304219?guid=1726327436606&returnUrl=%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1726327436606%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d304219%23304219&i=3>. Acesso em: 13 set. 2024.

CAIAFFA W. T.; FERREIRA F. R.; FERREIRA A. D.; OLIVEIRA, C. D. L.; CAMARGOS V. P.; PROIETTI, F. A. Saúde urbana: “a cidade é uma estranha senhora, que hoje sorri e amanhã te devora”. **Ciência Saúde Coletiva**; v. 13, 2008, pág. 1785-1796. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/srRHtBYkS37HxvW64pyGXPD/>. Acesso em: 07 set. 2024.

CALLEJAS, I. J. A., IHLENFELD, W., KRÜGER, E. L., & LEDER, S. M. Mochila bioclimática portátil de baixo custo para monitoramento dinâmico microclimático em espaços abertos. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 15, 2024.

CASTRO, A. A. **Revisão Sistemática e Meta-análise**. Principais Desenhos\Revisão Sistemática\atg\_meta\_analises\_3.doc., 2001, p. 1-11. Disponível em:

<https://www.usinadepesquisa.com/metodologia/wp-content/uploads/2010/08/meta1.pdf>.

Acesso em: 13 set. 2024.

CHEN, L.; NG, E. (2012) Outdoor thermal comfort and outdoor actives: a review or research in the past decade. *Cites* 29, pág.118-125.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. **Int J Biometeorol**, v. 56, n. 43, 2012, p. 43–56. DOI 10.1007/s00484-010-0396-z. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-010-0396-z>. Acesso em: 13 set. 2024.

COSTA, E. R. The field thermic and hygrometric of parque Itambé Santa Maria/RS in atmospheric situation of domain of atlantic polar mass in winter. **Revista Formação**, v. 1, n. 20, 2013, p. 94 – 110. Disponível em:

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/2135/2321>. Acesso em: 13 set. 2024.

CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor actives: a review or research in the past decade. **Cites**, v. 29, n. 2, 2012, p.118-125. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275111001053>. Acesso em: 07 set. 2024.

CUI, Y.; YAN, D.; HONG, T.; MA, J. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island in Beijing and the impact on building design and energy performance. **Energy**, v. 130, 2017, p. 286–297. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217306199?via%3Dihub>

Acesso em: 07 set. 2024.

CUREAU, R. J.; PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A.L. A New Wearable System for Sensing Outdoor Environmental Conditions for Monitoring Hyper-Microclimate. **Sensors**, v.22, 502,

2022, p. 1-16. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/2/502>. Acesso em: 07 set. 2024.

CHOKHACHIAN, A.; KA-LUN LAU, K.; PERINI, K.; AUER, T. Sensing transient outdoor comfort: A georeferenced method to monitor and map microclimate. **Journal of Building Engineering**, v. 20, n. 2, 2018, p. 94–104. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326297559\\_Sensing\\_Transient\\_Outdoor\\_Comfort\\_A\\_Georeferenced\\_Method\\_to\\_Monitor\\_and\\_Map\\_Microclimate](https://www.researchgate.net/publication/326297559_Sensing_Transient_Outdoor_Comfort_A_Georeferenced_Method_to_Monitor_and_Map_Microclimate). Acesso em: 07 set. 2024.

DACANAL, C.; LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, 2010, pág.1-8. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/PHQZsQJ9J5N3b4gNy9GCGYH/?lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2024.

DRACH, P. R. C.; EMANUEL, R. Interferências da forma urbana na dinâmica da temperatura intraurbana. **Revista de Morfologia Urbana**, 2014 v. 2, n. 2, pág. 55-70 Rede Lusófona de Morfologia Urbana ISSN 2182-7214. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/269818606\\_Interferencias\\_da\\_forma\\_urbana\\_na\\_dinamica\\_da\\_temperatura\\_intra-urbana](https://www.researchgate.net/publication/269818606_Interferencias_da_forma_urbana_na_dinamica_da_temperatura_intra-urbana). Acesso em 13/09/2024.

DEEVI, B.; CHUNDELI, A. F. Quantitative outdoor thermal comfort assessment of street. A case in a warm and humid climate of India. **Urban Climate**, v. 34, 2020, p. 1-10. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/345241851\\_Quantitative\\_outdoor\\_thermal\\_comfort\\_assessment\\_of\\_street\\_A\\_case\\_in\\_a\\_warm\\_and\\_humid\\_climate\\_of\\_India](https://www.researchgate.net/publication/345241851_Quantitative_outdoor_thermal_comfort_assessment_of_street_A_case_in_a_warm_and_humid_climate_of_India). Acesso em: 13 set. 2024.

EPSTEIN, Y.; MORAN, DS. Thermal comfort and heat stress indices. **Industrial Health**, v. 44, 2006, p. 388-398. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16922182/>. Acesso em: 13 set. 2024.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática, noções gerais. **Revista Escola Enfermagem**, v.45, n. 5, 2011, p. 1260-1266. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/reusp/a/CRjvBKKvRRGL7vGsZLQ8bQj/?lang=pt#>. Acesso em: 13 set. 2024.

DRACH, C. R. P.; EMMANUEL, R. Interferências da forma urbana na dinâmica da temperatura intra-urbana. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 2, n. 2, 2014, p. 55-70. Disponível em: <https://revistademorfologiaurbana.org/index.php/rmu/article/view/19>. Acesso em: 13 set. 2024.

ELNABAWI, H. M., HAMZA, N. Outdoor Thermal Comfort, Coupling Microclimatic Parameters with Subjective Thermal Assessment to Design Urban Performative Spaces. **Buildings**, v. 10, n. 238, p. 1-26. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/12/238>. Acesso em: 13 set. 2024.

EPSTEIN, Y.; MORAN, DS. Thermal comfort and heat stress indices. *Industrial Health*, v. 44, n. 3, 2006, p. 388-398. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16922182/>. Acesso em: 07 set. 2024.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**: Analysis and applications in environmental engineering. United State: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FANTE, K. P.; DUBREUIL, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Avaliação comparativa entre metodologias de identificação de situações de conforto térmico humano aplicado ao contexto tropical. **Presidente Prudente/Brasil**. Ano 13, v. 21, 2017, p. 588 – 612. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/321977058\\_Avaliacao\\_comparativa\\_entre\\_metodologias\\_de\\_identificacao\\_de\\_situacoes\\_de\\_conforto\\_termico\\_humano\\_aplicado\\_ao\\_contexto\\_tropical\\_Presidente\\_PrudenteBrasil](https://www.researchgate.net/publication/321977058_Avaliacao_comparativa_entre_metodologias_de_identificacao_de_situacoes_de_conforto_termico_humano_aplicado_ao_contexto_tropical_Presidente_PrudenteBrasil). Acesso em: 13 set. 2024.

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**, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21503622/>. Acesso em: 13 set. 2024.

FIALHO, S. E.; CELESTINO J. E. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v. 8, n.16, 2017 – ISSN 2176-9559. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/8072>. Acesso em: 13 set. 2024.

FILHO, D. B. F.; PARANHOS, R.; JÚNIOR, J. A. S.; ROCHA, E. C.; ALVES, D. F. O que é, para que serve e como se faz uma meta-análise? **Teoria & Pesquisa**, v. 23, n. 2, 2014, p. 205 – 228. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/tp.2014.018>. Acesso em: 13 set. 2024.

GAGGE, A. P.; STOLWIK, J. A. J.; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations physiological responses at various ambiente temperatures. **Environmental Research**, v. 1, 1967, p. 1-20. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5614624/>. Acesso em: 09 set. 2024.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: Como mitigar zona de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E. Referencial técnico e teórico-metodológico aplicado a estudos de conforto humano em ambientes externos. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 4, 2016, p. 132 -157. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229269>. Acesso em: 09 set. 2024.

GÓMEZ, F.; PÉREZ CUEVA A.; VALCUENDE, M.; MATZARAKIS, A. Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of acity (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalenttemperature (PET). **Ecological Engineering**, v. 57, 2013, p. 27-39.b. Disponível em: [https://www.academia.edu/66835260/Research\\_on\\_ecological\\_design\\_to\\_enhance\\_comfort\\_in\\_open\\_spaces\\_of\\_a\\_city\\_Valencia\\_Spain\\_Utility\\_of\\_the\\_physiological\\_equivalent\\_temperature\\_PET\\_](https://www.academia.edu/66835260/Research_on_ecological_design_to_enhance_comfort_in_open_spaces_of_a_city_Valencia_Spain_Utility_of_the_physiological_equivalent_temperature_PET_). Acesso em: 13 set. 2024.

GOMES, I. S.; CAMINHA, I. O. Guia para estudos de revisão sistemática, uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano. **Movimento**, Porto Alegre, v. 20, n. 01, 2014, p. 395-411. Disponível em:

<https://seer.ufrgs.br/index.php/Movimento/article/view/41542>. Acesso em: 13 set. 2024.

GONÇALVES, A.; RIBEIRO, C. A.; MAIA, F.; NUNES, L.; FELICIANO, M. Influence of Green Spaces on Outdoors Thermal Comfort-Structured Experiment in a Mediterranean Climate. **Climate**, v. 7, n. 20, 2019, p. 1-13. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/7/2/20>. Acesso em: 13 set. 2024.

GRANDI, M. S. **Avaliação da percepção da sensação térmica em uma sala controle**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/8147>. Acesso em: 13 set. 2024.

HARTABELA, D.; DEWANCKER, B. J.; KOERNIAWAN, M. D. A Relationship between Micro- Meteorological and Personal Variables of Outdoor Thermal Comfort: A Case Study in Kitakyushu, Japan. **Sustainability** 2021, 13, 13634. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132413634>. Acesso em: 30 set. 2024.

HARTABELA, D.; DEWANCKER, B.; VIDYANA, C. Relationship of Age, Gender, and Body Proportion to Outdoor Thermal Comfort in Open Space, Case Study: Green Park, Kitakyushu, Japan. IOP Conf. Series: **Earth and Environmental Science**, 1058 (2022) 012002. doi:10.1088/1755-1315/1058/1/012002. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1058/1/012002>. Acesso em: 30 set. 2024.

HAGHSHENAS, M.; HADIANPOUR, M.; MATZARAKIS, A.; MAHDAVINEJAD, M.; ANSARI, M. Improving the suitability of selected thermal indices for predicting outdoor thermal sensation in Tehran. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, 2021, p. 1-19. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353498912\\_Improving\\_the\\_suitability\\_of\\_selected\\_thermal\\_indices\\_for\\_predicting\\_outdoor\\_thermal\\_sensation\\_in\\_Tehran](https://www.researchgate.net/publication/353498912_Improving_the_suitability_of_selected_thermal_indices_for_predicting_outdoor_thermal_sensation_in_Tehran). Acesso em: 13 set. 2024.

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. Disponível em:

[https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/9789241507691\\_eng.pdf](https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/9789241507691_eng.pdf). Acesso em: 09 set. 2024.

HAJAT, S.; KOSATKY, T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 64,n. 9, 2010, p. 753-760. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19692725/>. Acesso em: 09 set. 2024.

HAM, J. **Radiation Shield For Weather Station Temperature/Humidity**. 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1067700>. Acesso em: 03 set. 2024.

HARVARD BUSINESS SCHOOL. **What is design thinking & why is it important?** Disponível em: <https://online.hbs.edu/blog/post/what-is-design-thinking>. Acesso em: 14 set. 2023.

HE, X.; NA, LE.; HONG, B.; HUANG, B.; CUI, X. Cross-cultural differences in thermal comfort in *Campus* open spaces, A longitudinal field survey in China's cold region. **Building and Environment**, v. 172, 2020, p. 1-17. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339231069\\_Crosscultural\\_differences\\_in\\_thermal\\_comfort\\_in\\_campus\\_open\\_spaces\\_A\\_longitudinal\\_field\\_survey\\_in\\_China's\\_cold\\_region](https://www.researchgate.net/publication/339231069_Crosscultural_differences_in_thermal_comfort_in_campus_open_spaces_A_longitudinal_field_survey_in_China's_cold_region). Acesso em: 13 set. 2024.

HERNANDEZ-NIETO R. **Contributions to statistical analysis**. Mérida: Los Andes University Press, 2002.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente (PET) para o município de Belo Horizonte**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD8QMHSZ/1/hirashima\\_sqsfmg\\_2010.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD8QMHSZ/1/hirashima_sqsfmg_2010.pdf). Acesso em: 10 set. 2024.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços abertos do município de Belo Horizonte – MG**. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2014.



Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-23062015-172738/pt-br.php>. Acesso em: 10 set. 2024.

HIRASHIMA, S. Q. S.; KATZSCHNER, A.; FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Thermal comfort comparison and evaluation in different climates. **ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment**, 2015. Disponível em:

<http://www.meteo.fr/icuc9/presentations/BPH/BPH5-1.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

HOWARD, L. **The climate of London** – Deduced from Meteorological Observations. Vol. 1. First published in 1818. Cambridge Library Collection. Cambridge University Press, 2013.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, 1999, p. 71–75. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10552310/>. Acesso em: 09 set. 2024.

HUANG, B.; HONG, B.; TIAN, Y.; YUAN, T.; SU, M. Outdoor thermal benchmarks and thermal safety for children, A study in China's cold region. **Science of the Total Environment**, v. 787, 2021, p. 1-20. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721026747>. Acesso em: 13 set. 2024.

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.

IHLENFELD, W.; KRÜGER, E.; LEDER, S.; QUADRO, M. B.; LIMA, C. 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**, 2023, São Paulo – SP. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3844>. Acesso em: 10 set. 2024.

IHLENFELD, W.; KRÜGER, E.; LEDER, S.; CARVALHO, L. Application of microcontroller-based systems in human biometeorology studies: a bibliometric analysis. **International Journal of Biometeorology**, v. 67, n. 4, 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/372247296\\_Application\\_of\\_microcontroller-based\\_systems\\_in\\_human\\_biometeorology\\_studies\\_a\\_bibliometric\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/372247296_Application_of_microcontroller-based_systems_in_human_biometeorology_studies_a_bibliometric_analysis). Acesso em: 10 set. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: ergonomics of the thermal environments: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: ergonomics of the thermal environments: instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environments: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8896**: ergonomics of the thermal environments: determination of thermal metabolic rate. Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**. Ergonomics of the Thermal Environment – Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales. International Organization for Standardization, Geneva. 1995.

ISHAK, N. M.; ABDULLAH, J.; RAHMAN, N. A. A. Outdoor Thermal Comfort of Urban's Pedestrian in Tropical City of Kuala Lumpur. IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, 2023. Disponível em <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1217/1/012029>. Acesso em 30 set 2024.

JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRUGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal confort studies – the need for standardization. **Urban Climate**, v. 10, part 2, 2014, p. 346-366. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209551300062X>. Acesso em: 10 set. 2024.

JOHANSSON, E.; YAHIA, MW.; ARROYO, I.; BENGS, C. Outdoor thermal comfort in public space in warm-humid Guayaquil, Ecuador. (2018) *International Journal of Biometeorol*, v. 62, 2018, p. 387–399. DOI: 0.1007/s00484-017-1329-x. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-017-1329-x>. Acesso em: 10 set. 2024.

JIN, H.; LIU, S.; KANG, J. Thermal comfort range and influence factor of urban pedestrian streets in severe cold regions. **Energy & Buildings**, v.198, 2019, p. 197–206. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10076909/>. Acesso em: 13 set. 2024.

JIN, H.; LIU, S.; KANG, J. Gender differences in thermal comfort on pedestrian streets in cold and transitional seasons in severe cold regions in China. **Building and Environment**, v. 168, 2020, p. 1-12. Disponível em:

<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10087341/1/Hong%20Jin%2C%20Siqi%20Liu%20%26%20Jian%20Kang.pdf>. Acesso em: 12 set. 2024.

KÁNTOR, N.; ÉGERHÁZI, L.; UNGER, J. Subjective estimation of thermal environment in recreational urban spaces—part 1: investigations in Szeged, Hungary. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 6, 2012, p. 1075-1088. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/221847699\\_Subjective\\_estimation\\_of\\_thermal\\_environment\\_in\\_recreational\\_urban\\_spaces-Part\\_1\\_Investigations\\_in\\_Szeged\\_Hungary](https://www.researchgate.net/publication/221847699_Subjective_estimation_of_thermal_environment_in_recreational_urban_spaces-Part_1_Investigations_in_Szeged_Hungary). Acesso em: 13 set. 2024.

KARIMI, A., MOHAMMAD, P. Effect of outdoor thermal comfort condition on visit of tourists in historical urban plazas of Sevilla and Madrid. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, 60641–60661 (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20058-8> Acesso em: 30 set. 2024.

KENAWY, I.; LAM, C. K. C.; SHOOSHTARIAN, S. Summer outdoor thermal benchmarks in Melbourne: Applications of different techniques. *Building and Environment* 195, 2021, 107658. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013232100069X>. Acesso em: 30 set. 2024.

KIMMLING, M.; HOFFMANN, S. Behaglichkeitsmonitoring – flächendeckend und kostengünstig mit der Sensorstation CoMoS. **Bauphysik**, v. 41, n. 2, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/332174671\\_Behaglichkeitsmonitoring\\_flachendeckend\\_und\\_kostengunstig\\_mit\\_der\\_Sensorstation\\_CoMoS](https://www.researchgate.net/publication/332174671_Behaglichkeitsmonitoring_flachendeckend_und_kostengunstig_mit_der_Sensorstation_CoMoS). Acesso em: 13 set. 2024.

KRÜGER, E.; DRACH, P. R. C.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. C. Estudo de conforto em espaços abertos em regiões de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 7-25. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/fZ8mfV9HGPSZS9ScVFp3N8p/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 set. 2024.

KRÜGER, E.; DRACH, P. Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, 2016, p. 133-148. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/mJLfWQfVhc98TppVvgQq6JK/>. Acesso em: 13 set. 2024.

KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; CRISTELI, P. S. SOUZA, H. A. Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiologically Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, 2018, p. 135-148. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/V3TrcsCCwVdhPKJtNWRnDVb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 set. 2024.

KRÜGER, E. L. **Applications of the Universal Thermal Climate Index UTCI in Biometeorology**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2021.

KRÜGER, E.; IHLENFELD, W.; LEDER, S.; CARVALHO, L. Application of microcontroller-based systems in human biometeorology studies: a bibliometric analysis. **International Journal of Biometeorology**, v. 67, n. 4, 2023. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/372247296\\_Application\\_of\\_microcontroller-based\\_systems\\_in\\_human\\_biometeorology\\_studies\\_a\\_bibliometric\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/372247296_Application_of_microcontroller-based_systems_in_human_biometeorology_studies_a_bibliometric_analysis). Acesso em: 13 set. 2024.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, O. F.; MATZARAKIS, A. Comparison of different methods of estimating the mean radiant temperature in outdoor thermal comfort studies. **Int J Biometeorol**, v. 58, 2014, p. 1727–1737. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/259491380\\_Comparison\\_of\\_different\\_methods\\_of\\_estimating\\_the\\_mean\\_radiant\\_temperature\\_in\\_outdoor\\_thermal\\_comfort\\_studies](https://www.researchgate.net/publication/259491380_Comparison_of_different_methods_of_estimating_the_mean_radiant_temperature_in_outdoor_thermal_comfort_studies). Acesso em: 13 set. 2024.

KUMAR, P.; SHARMA, A. Assessing The Thermal Comfort Conditions In Open Spaces, A Transversal Field Survey On The University *Campus* In India. **International Journal of Built Environment and Sustainability** Published by Penerbit UTM Press, Universiti Teknologi Malaysia IJBES, v. 8, n. 3, 2021, p. 77-92. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/354320012\\_Assessing\\_The\\_Thermal\\_Comfort\\_Conditions\\_In\\_Open\\_Spaces\\_A\\_Transversal\\_Field\\_Survey\\_On\\_The\\_University\\_Campus\\_In\\_India](https://www.researchgate.net/publication/354320012_Assessing_The_Thermal_Comfort_Conditions_In_Open_Spaces_A_Transversal_Field_Survey_On_The_University_Campus_In_India). Acesso em: 13 set. 2024.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, B. L. C.; DACANAL, C. Thermal comfort in public open spaces: studies in pedestrian streets in São Paulo State, Brazil, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 167-183. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/JsNKYLVB7DBsnggKyKxMczk/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 set. 2024.

LABDAOUI, K.; MAZOUZ, S.; REITER, S.; TELLER, J. Thermal perception in outdoor urban spaces under the Mediterranean climate of Annaba, Algeria. **Urban Climate** v. 39, 2021, p. 1-20. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/354497493\\_Thermal\\_perception\\_in\\_outdoor\\_urban\\_spaces\\_under\\_the\\_Mediterranean\\_climate\\_of\\_Annaba\\_Algeria](https://www.researchgate.net/publication/354497493_Thermal_perception_in_outdoor_urban_spaces_under_the_Mediterranean_climate_of_Annaba_Algeria). Acesso em: 13 set. 2024.

LAI, D.; CHEN, B.; LIU, K. Quantification of the influence of thermal comfort and life patterns on outdoor space activities. **Build simul.**, v. 13, 2020, p. 113-125. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/333622739\\_Quantification\\_of\\_the\\_Influence\\_of\\_Thermal\\_Comfort\\_and\\_Life\\_Patterns\\_on\\_Outdoor\\_Space\\_Activities](https://www.researchgate.net/publication/333622739_Quantification_of_the_Influence_of_Thermal_Comfort_and_Life_Patterns_on_Outdoor_Space_Activities). Acesso em: 13 set. 2024.

LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y. B.; LIN, C.; CHEN, Q. Studies of outdoor thermal comfort in northern China. **Building and Environment**, v. 77, 2014, p. 110-118. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~yanchen/paper/2014-14.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

LAI, D.; ZHOU, X.; CHEN, Q. Modelling dynamic thermal sensation of human subjects in outdoor environments. **Energy and Buildings**, v. 149, n. 15, 2017, p. 16-25. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~yanchen/paper/2017-9.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

LAM, C. K. C.; LAU, K. K. Effect of long-term acclimatization on summer thermal comfort in outdoor spaces, a comparative study between Melbourne and Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, 2018, p. 1311-1324. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-018-1535-1>. Acesso em: 13 set. 2024.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAU, K.; KRUEGER, E.; EMMANUEL, R.; BLAZEJCZYK, K. Call for Contributions to an Outdoor Thermal Comfort Database. **International Association for Urban Climate**, n. 72, 2019, p.16-18. Disponível em: <https://urban-climate.org/wp-content/uploads/2023/02/IAUC072.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

LAU, K.; SHI, Y.; NG, E. Dynamic response of pedestrian thermal comfort under outdoor transient conditions. URBANCEQ 2017 **International Conference on Urban Comfort and Environmental Quality**, 2017, p. 69-75. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320196884\\_Dynamic\\_Response\\_of\\_Pedestrian\\_Thermal\\_Comfort\\_under\\_Outdoor\\_Transient\\_Conditions](https://www.researchgate.net/publication/320196884_Dynamic_Response_of_Pedestrian_Thermal_Comfort_under_Outdoor_Transient_Conditions). Acesso em: 13 set. 2024.

LENG, H.; LIANG, S.; YUAN, Q. Outdoor thermal comfort and adaptive behaviors in the residential public open spaces of winter cities during the marginal season. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, 2019, p. 217–229. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/332059416\\_Outdoor\\_thermal\\_comfort\\_and\\_adaptive\\_behaviors\\_in\\_the\\_residential\\_public\\_open\\_spaces\\_of\\_winter\\_cities\\_during\\_the\\_marginal\\_season](https://www.researchgate.net/publication/332059416_Outdoor_thermal_comfort_and_adaptive_behaviors_in_the_residential_public_open_spaces_of_winter_cities_during_the_marginal_season). Acesso em: 13 set. 2024.

LIMA, L. C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B.; SOUZA, E. L. Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido, estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, 2019, p. 109-127. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/kKyxhw7cHQghjpJGHHNY6Ty/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 set. 2024.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Revista Formação**, n. 13, 2006, p. 139 – 165. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/835>. Acesso em: 13 set. 2024.

LIN, C. H.; LIN, T. P.; HWANG, R. L. Thermal Comfort for Urban Parks in Subtropics, Understanding Visitor's Perceptions, Behavior and Attendance. **Advances in Meteorology**, 2013, p.1-8. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/258396571\\_Thermal\\_Comfort\\_for\\_Urban\\_Parks\\_in\\_Subtropics\\_Understanding\\_Visitor's\\_Perceptions\\_Behavior\\_and\\_Attendance#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/258396571_Thermal_Comfort_for_Urban_Parks_in_Subtropics_Understanding_Visitor's_Perceptions_Behavior_and_Attendance#fullTextFileContent). Acesso em: 13 set. 2024.

LIN, J.; JIANG, S.; ZHANG, S.; YANG, S.; WENLI J.; LI, W. Thermal Comfort in Urban Open Green Spaces: A Parametric Optimization Study in China's Cold Region. **Buildings** 2023, 13, 2329. <https://doi.org/10.3390/buildings13092329>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/9/2329>. Acesso em: 30 set. 2024.

LIU, B.; LIAN, Z.; BROWN, D. R. Effect of Landscape Microclimates on Thermal Comfort and Physiological Wellbeing. **Sustainability**, n. 11, 2019, p. 5387. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5387>. Acesso em: 13 set. 2024.

LIU, K.; NIE, T.; LIU, W.; LIU, Y.; LAI, D. A machine learning approach to predict outdoor thermal comfort using local skin temperatures. **Sustainable Cities and Society**, v. 59, 2020, p. 1-13. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/340990661\\_A\\_Machine\\_Learning\\_Approach\\_to\\_Predict\\_Outdoor\\_Thermal\\_Comfort\\_Using\\_Local\\_Skin\\_Temperatures](https://www.researchgate.net/publication/340990661_A_Machine_Learning_Approach_to_Predict_Outdoor_Thermal_Comfort_Using_Local_Skin_Temperatures). Acesso em: 13 set. 2024.

LIU, Z.; CHENG, K. Y.; HE, Y.; JIM, C. Y.; BROWN, R.; SHI, Y.; LAU, K.; NG, E. Microclimatic measurements in tropical cities: Systematic review and proposed guidelines. **Building and Environment**, v. 222, n. 1, 2022, p. 109411. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132322006436?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

LIMA, E. A.; SILVA, L. S.; SANTOS, A. T. T.; WERNECK, D. R.; PAZOS, V. C.; ROMERO, M. A. B. Construção de sistema de monitoramento para medições microclimáticas. **Conjecturas**, v.22, n.8, 2022, p.222-238. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/44645>. Acesso em: 13 set. 2024.

MA, X.; FUKUDA, H.; ZHOU, D.; WANG, M. A Study of the Pedestrianized Zone for Tourists: Urban Design Effects on Humans' Thermal Comfort in Fo Shan City. Southern China. **Sustainability**, v. 11, 2019, p. 2774. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333126104\\_A\\_Study\\_of\\_the\\_Pedestrianized\\_Zone\\_for\\_Tourists\\_Urban\\_Design\\_Effects\\_on\\_Humans'\\_Thermal\\_Comfort\\_in\\_Fo\\_Shan\\_City\\_Southern\\_China](https://www.researchgate.net/publication/333126104_A_Study_of_the_Pedestrianized_Zone_for_Tourists_Urban_Design_Effects_on_Humans'_Thermal_Comfort_in_Fo_Shan_City_Southern_China). Acesso em: 13 set. 2024.

MA, X.; TIAN, Y.; DU, M.; HONG, B.; LIN, B. How to design comfortable open spaces for the elderly? Implications of their thermal perceptions in an urban park. **Science of the Total Environment**, v. 768, 2021, p. 1-20. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33736312/>. Acesso em: 13 set. 2024.

MAKVANDI, M.; ZHOU, X.; LI, C.; DENG, Q. A. Field Investigation on Adaptive Thermal Comfort in na Urban Environment Considering Individuals' Psychological and Physiological Behaviors in a Cold-Winter of Wuhan. **Sustainability**, v. 13, 678, 2021, p. 1-29. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/678>. Acesso em: 13 set. 2024.

MANAVVI, S.; RAJASEKAR, E. Evaluating outdoor thermal comfort in urban open spaces in a humid subtropical climate, Chandigarh, India. **Building and Environment**, v. 209, 2022, p. 1-12. Disponível em:



[https://www.researchgate.net/publication/356852898\\_Evaluating\\_outdoor\\_thermal\\_comfort\\_in\\_urban\\_open\\_spaces\\_in\\_a\\_humid\\_subtropical\\_climate\\_Chandigarh\\_India](https://www.researchgate.net/publication/356852898_Evaluating_outdoor_thermal_comfort_in_urban_open_spaces_in_a_humid_subtropical_climate_Chandigarh_India). Acesso em: 13 set. 2024.

MANTEGHI, G.; MOSTOFA, T.; LAMIT, B. H. A Pilot Test to Analyse the Differences of Pedestrian Thermal Comfort Between Locals and Internationals in Malacca Heritage Site. **Environment and Urbanization Asia**, v. 11, n. 2, 2020, p. 326-341. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346540510\\_A\\_Pilot\\_Test\\_to\\_Analyse\\_the\\_Differences\\_of\\_Pedestrian\\_Thermal\\_Comfort\\_Between\\_Locals\\_and\\_Internationals\\_in\\_Malacca\\_Heritage\\_Site](https://www.researchgate.net/publication/346540510_A_Pilot_Test_to_Analyse_the_Differences_of_Pedestrian_Thermal_Comfort_Between_Locals_and_Internationals_in_Malacca_Heritage_Site). Acesso em: 13 set. 2024.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F. & MAYER, H. Modelagem de fluxos de radiação em ambientes simples e complexos: fundamentos do modelo RayMan. **Int J Biometeorol** 54 ,131–139 2010. Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-009-0261-0?utm\\_source=chatgpt.com#citeas](https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-009-0261-0?utm_source=chatgpt.com#citeas). Acesso em: 13 set. 2024.

MAYER, H., HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, 1987, p. 43–49. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00866252>. Acesso em: 13 set. 2024.

MENG, L.; WHEN, H. K.; BREWIN, R.; WU, Q. (2020) Knowledge Atlas on the Relationship between Urban Street Space and Residents' Health – A Bibliometric Analysis Based on VOSviewer and CiteSpace. **Sustainability**, v. 12, n. 2384, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2384>. Acesso em: 12 set. 2024.

MI, J.; HONG, B.; ZHANG, T.; HUANG, B.; NIU, J. Outdoor thermal benchmarks and their application to climate-responsive designs of residential open spaces in a cold region of China. **Building and Environment**, v. 169, 2020, p. 1-21. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319308042?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 1, 2011, p. 123-143. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/hsjKXZZwzKjDx7jyngZqbdJ/?format=pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Adaptive comfort model for on-site evaluation of urban open spaces, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 61-79. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262621732\\_Adaptative\\_comfort\\_model\\_for\\_on-site\\_evaluation\\_of\\_urban\\_open\\_spaces](https://www.researchgate.net/publication/262621732_Adaptative_comfort_model_for_on-site_evaluation_of_urban_open_spaces). Acesso em: 13 set. 2024.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, 2007, p. 43-58. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3741/2094>. Acesso em: 13 set. 2024.

MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E. Os estudos de clima urbano no Nordeste do Brasil. In: 3º Seminário Regional Norte e Nordeste de Pós-Graduação em Geografia- SERNNE, 2012, João Pessoa, PB. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/6493/3474>. 13 set. 2024. Acesso em: 13 set. 2024.

NG, E. CHENG, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. **Energy Build**. V. 55, 2012, p.51– 65. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/251589182\\_Urban\\_human\\_thermal\\_comfort\\_in\\_hot\\_and\\_humid\\_Hong\\_Kong](https://www.researchgate.net/publication/251589182_Urban_human_thermal_comfort_in_hot_and_humid_Hong_Kong). Acesso em: 13 set. 2024.

NIKOLOPOULOU, M. Designing Open Spaces in Urban Environment: a bioclimatic approach. **Greece: Centre for renewable Energy Sources (C.R.E.S.)**, 2004.

NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS, S. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: analysis across different European countries. **Building and Environment**, Oxford, v. 41, n. 11, 2006, p. 1455-1470. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222965344\\_Thermal\\_comfort\\_in\\_outdoor\\_urban\\_spaces\\_Analysis\\_across\\_different\\_European\\_countries](https://www.researchgate.net/publication/222965344_Thermal_comfort_in_outdoor_urban_spaces_Analysis_across_different_European_countries). Acesso em: 13 set. 2024.

NIU, J.; LIU, J.; LEE, T.; LIN, Z.; MAK, C.; TSE, K. T.; TANG, B.; KENNY, C. S. K. A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning. **Building and Environment**, n 91, 2015, p. 263-270. Disponível em: <https://researchdirect.westernsydney.edu.au/islandora/object/uws:30329>. Acesso em: 13 set. 2024.

NIU, J.; HONG, B.; GENG, Y.; MI, J.; HE, J. Summertime physiological and thermal responses among activity levels in *Campus* outdoor spaces in a humid subtropical city. **Science of the Total Environment**, v. 728, 2020, p. 1-21. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32361116/>. Acesso em: 13 set. 2024.

NIU, J.; LIU, J.; LEE, T.; LIN, Z.; MAK, C.; TSE, K. T.; TANG, B.; KENNY, C. S. K. A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning. **Building and Environment**, n. 91, 2015, p. 263-270. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315000748?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

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. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/76>. Acesso em: 13 set. 2024.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Second Edition. Routledge London & New York, 1987.

PEREIRA, R. B. O. **Implementação por sistemas embarcados de protótipo parametrizável para coleta de dados microclimáticos georreferenciados**. 2013. Tese (Doutorado em Física Ambiental.) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2013. Disponível em: [https://ri.ufmt.br/bitstream/1/3315/1/TESE\\_2013\\_Roberto%20Benedito%20de%20Oliveira%20Pereira.pdf](https://ri.ufmt.br/bitstream/1/3315/1/TESE_2013_Roberto%20Benedito%20de%20Oliveira%20Pereira.pdf). Acesso em: 13 set. 2024.

PERERA, K.; SCHNABEL, M.; DONN, M.; MADDEWITHANA, H. Addressing human thermal adaptation in outdoor comfort research. *In: 8th International Conference of Faculty of Architecture Research Unit (FARU)*, 2015, p. 477-490. Sri Lanka: University of Moratuwa. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/287208087\\_Addressing\\_Human\\_Thermal\\_Adaptation\\_in\\_Outdoor\\_Comfort\\_Research\\_-\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/287208087_Addressing_Human_Thermal_Adaptation_in_Outdoor_Comfort_Research_-_A_Literature_Review). Acesso em: 13 set. 2024.

PENTAVU, K.; THEOHARATOS, G.; SANTAMOURIS, D. A. Outdoor thermal sensation of pedestrians in a Mediterranean climate and a comparison with UTCI. **Building and Environment**, n. 66, 2013, p. 82-95. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/244483548\\_Outdoor\\_thermal\\_sensation\\_of\\_pedestrians\\_in\\_a\\_Mediterranean\\_climate\\_and\\_a\\_comparison\\_with\\_UTCI](https://www.researchgate.net/publication/244483548_Outdoor_thermal_sensation_of_pedestrians_in_a_Mediterranean_climate_and_a_comparison_with_UTCI). Acesso em: 13 set. 2024.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços abertos**. Estudo de caso em Campinas, SP. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296844328.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

PICKUP, J.; DE DEAR, R. An outdoor thermal comfort index (Out-Set\*): the model and its assumptions. *In: Conference: 5th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology* At: Macquarie University; Sydney, 1999. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/268983313\\_An\\_outdoor\\_thermal\\_comfort\\_index\\_OUT-SET\\_-\\_Part\\_I\\_-\\_The\\_model\\_and\\_its\\_assumptions](https://www.researchgate.net/publication/268983313_An_outdoor_thermal_comfort_index_OUT-SET_-_Part_I_-_The_model_and_its_assumptions). Acesso em: 13 set. 2024.

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**, v. 171, n. 80, 106641, 2020. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/338222186\\_Environmental\\_data\\_clustering\\_analysis\\_through\\_wearable\\_sensing\\_techniques\\_New\\_bottom-up\\_process\\_aimed\\_to\\_identify\\_intra-urban\\_granular\\_morphologies\\_from\\_pedestrian\\_transects](https://www.researchgate.net/publication/338222186_Environmental_data_clustering_analysis_through_wearable_sensing_techniques_New_bottom-up_process_aimed_to_identify_intra-urban_granular_morphologies_from_pedestrian_transects). Acesso em: 10 set. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL E JOÃO PESSOA. **Plano de Arborização Urbana de João Pessoa**, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/536978880/Plano-de-Arborizacao-Urbana-de-Joao-Pessoa-2012>. Acesso em 13 set. 2024.

QIN, H.; CHENG, X.; HAN, G.; WANG, Y.; DENG, J. How thermal conditions affect the spatial-temporal distribution of visitors in urban parks, A case study in Chongqing, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 66, 2021, p. 1-14. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866721004209?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

QU, S.; WANG, Z.; LIU, W. Clothing adjustment in outdoor environment. A new clothing model based on temperature change. **Building and Environment**, v. 206, 2021, p. 1-15. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354863845\\_Clothing\\_adjustment\\_in\\_outdoor\\_environment\\_A\\_new\\_clothing\\_model\\_based\\_on\\_temperature\\_change](https://www.researchgate.net/publication/354863845_Clothing_adjustment_in_outdoor_environment_A_new_clothing_model_based_on_temperature_change). Acesso em: 13 set. 2024.

RANCURA, R. L. **Conforto térmico em espaços externos** – feiras livres em Indaiatuba-SP. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Arquitetura e Construção) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/805905>. Acesso em: 10 set. 2024.

ROMERO, M. A. B., BAPTISTA, G. M. M., LIMA, E. A., WERNECK, D. R., VIANNA, E. O., SALES, G. L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 1. ed. Brasília: ETB, 2019, p. 79.

ROMERO, M. A. B.; LIMA, E. A.; WERNECK, D. A.; PAZOS, V. Instrumentação para medições na escala microclimática: uma proposta de mochila bioclimática. **Paranoá**, Cadernos de Arquitetura e Urbanismo – Dossiê Especial: Tecnologia, Ambiente e sustentabilidade, v. 13, n. 26, 2020, p. 96-105. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/29544/26161>. Acesso em: 10 set. 2024.

ROSSI, F. A. **Proposição de Metodologia e de Modelo Preditivo Para Avaliação de Sensação Térmica em Espaços Abertos em Curitiba**. Universidade Tecnológica Federal do

Paraná, Curitiba. 2012. Tese (Doutorado em Tecnologia e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Disponível em: [https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/311/1/CT\\_PPGTE\\_D\\_Rossi%2c%20Francine%20Aidie\\_2012.pdf](https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/311/1/CT_PPGTE_D_Rossi%2c%20Francine%20Aidie_2012.pdf). Acesso em: 10 set. 2024.

ROSSI, F. A.; KRUGER, E. D.; GUIMARÃES, I. A. (2013) Modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba, PR. **Ra'e Ga**, Curitiba, v.29, 2013, p. 209-238. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287519458\\_MODELO\\_PREDITIVO\\_DE\\_SENSACAO\\_TERMICA\\_EM\\_ESPACOS\\_ABERTOS\\_EM\\_CURITIBA\\_PR](https://www.researchgate.net/publication/287519458_MODELO_PREDITIVO_DE_SENSACAO_TERMICA_EM_ESPACOS_ABERTOS_EM_CURITIBA_PR). Acesso em: 10 set. 2024.

ROSSI, F. A.; KRUGER, E. D, BRÖDE, P. 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. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/23383/15630>. Acesso em: 10 set. 2024.

ROWE, P. G. **Design thinking**. 1. ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

RUIZ, M. A. & CORREA, E. N. Adaptive model for outdoor thermal comfort assessment in as Oasis city of arid climate. **Building and Environment**, n. 85, 2015, p. 40-51. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132314003801>. Acesso em: 10 set. 2024.

SALATA, F.; GOLASI, I.; VOLLARO, R. L.; VOLLARO, A. L. Outdoor Thermal Comfort in the Mediterranean Area: a transversal study in Rome, Italy. **Building and Environment**, v. 96, 2016, p. 46-61. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/285371059\\_Outdoor\\_thermal\\_comfort\\_in\\_the\\_Mediterranean\\_area\\_A\\_transversal\\_study\\_in\\_Rome\\_Italy](https://www.researchgate.net/publication/285371059_Outdoor_thermal_comfort_in_the_Mediterranean_area_A_transversal_study_in_Rome_Italy). Acesso em: 20 set. 2024.

SALDIVA, P. **Vida urbana e saúde**. São Paulo: Contexto, 2018.

SARHADI, F.; RAD, B. V. The structural model for thermal comfort based on perceptions individuals in open urban spaces. **Building and Environment**, v. 185, 2020, p. 1-14. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/344460441\\_The\\_Structural\\_Model\\_for\\_Thermal\\_Comfort\\_based\\_on\\_Perceptions\\_Individuals\\_in\\_Open\\_Urban\\_Spaces](https://www.researchgate.net/publication/344460441_The_Structural_Model_for_Thermal_Comfort_based_on_Perceptions_Individuals_in_Open_Urban_Spaces). Acesso em: 13 set. 2024.

SARDO, J.; PITZ, J. W.; HILLESHEIM, W. T.; PITZ, I. W.; NEVES, L. O. Análise do índice de sensação térmica para a cidade de RIO DO SUL/SC, **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 17, 2013, p. 154-161. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/analise%20do%20indice.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

SHIH, W.; LIN, T.; TAN, N.; LIU, M. Long-term perceptions of outdoor thermal environments in an elementary school in a hot-humid climate. **Int J Biometeorol**, v. 61, 1657, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28488107/>. Acesso em: 13 set. 2024.

SILVA, V. J. T.; HIRASHIMA, S. Q. S. Predicting urban thermal comfort from calibrated UTCI assessment scale – A case study in Belo Horizonte city, southeastern Brazil. **Urban Climate**, v. 36, 2021, p. 1-13. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/347733370\\_Predicting\\_urban\\_thermal\\_comfort\\_from\\_calibrated\\_UTCI\\_assessment\\_scale\\_A\\_case\\_study\\_in\\_Belo\\_Horizonte\\_city\\_southeastern\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/347733370_Predicting_urban_thermal_comfort_from_calibrated_UTCI_assessment_scale_A_case_study_in_Belo_Horizonte_city_southeastern_Brazil). Acesso em: 13 set. 2024.

SILVA, E. O. **Contribuições aos estudos de fragilidade ambiental no Parque Zoobotânico Arruda Câmara, João Pessoa – PB** João Pessoa, 2013. Monografia (Graduação em Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/637/1/EOS01082014.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

SILVEIRA, B. M; SALDANHA, P.; LEITE, C.; SILVA, T.; FILIPPIN, I. (2018) Construção e validade de conteúdo de um instrumento para avaliação de quedas em idosos. **Einstein**, São Paulo, v. 16, n. 2, 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eins/a/DRpdKp8YQkRhJ3swQNnXrVh/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2024.

SMITH, P.; HENRIQUEZ, C. (2018) Microclimate Metrics Linked to the Use and Perception of Public Spaces: The Case of Chillán City, Chile. **Atmosphere**, v. 9, n. 5, 2018, p. 1-16. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/5/186>. Acesso em: 10 set. 2024.

SUN, C. Y.; KATO, S.; GOU, Z. Application of Low-Cost Sensors for Urban Heat Island Assessment: A Case Study in Taiwan. *Sustainability* 2019, 11, 2759. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11102759>. Acesso em: 13 set. 2024.

TIAN, Y.; HONG, B.; ZHANG, Z.; WU, S.; YUAN, T. Factors influencing resident and tourist outdoor thermal comfort: a comparative study in China's cold region. **Science of the Total Environment**, v. 808, 2022, p. 1-14. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34856261/>. Acesso em: 13 set. 2024.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **Int J Climatol**, v. 21, 2007, p.1983–1993. DOI:10.1002/joc.1537. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/227623536\\_Different\\_methods\\_for\\_estimating\\_the\\_mean\\_radiant\\_temperature\\_in\\_an\\_outdoor\\_setting](https://www.researchgate.net/publication/227623536_Different_methods_for_estimating_the_mean_radiant_temperature_in_an_outdoor_setting). Acesso em: 13 set. 2024.

TRENTO, D.; TRENTO, T. P. W.; 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. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340936458\\_Application\\_of\\_Arduino-Based\\_Systems\\_as\\_Monitoring\\_Tools\\_in\\_Indoor\\_Comfort\\_Studies\\_A\\_Bibliometric\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/340936458_Application_of_Arduino-Based_Systems_as_Monitoring_Tools_in_Indoor_Comfort_Studies_A_Bibliometric_Analysis). Acesso em: 13 set. 2024.

TSIN, P.K.; KNUDBY, A.; KRAYENHOFF, E.; HO, H. C.; BRAUER, M.; HENDERSON, S. Microscale mobile monitoring of urban air temperature. **Urban Climate**, v.18, 2016, p. 58-72. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/82809890>. Acesso em: 08 set. 2024.

TSITOURA, M.; TSOUTSOS, T.; DARAS, T. Evaluation of comfort conditions in urban open spaces. Application in the island Crete. **Energy Conversion and Management**, v. 86, 2014, p. 250–258. Disponível em:



[https://www.researchgate.net/publication/261832867\\_Evaluation\\_of\\_comfort\\_conditions\\_in\\_urban\\_open\\_spaces\\_Application\\_in\\_the\\_island\\_of\\_Crete](https://www.researchgate.net/publication/261832867_Evaluation_of_comfort_conditions_in_urban_open_spaces_Application_in_the_island_of_Crete). Acesso em: 08 set. 2024.

TSOKA, S.; TSIKALOUDEAKI, K.; THEODOSIOU, T.; BIKAS, D. Urban warming and cities' microclimates: Investigation methods and mitigation strategies—a review. **Energies**, v. 13, n. 6, 1414, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/6/1414>. Acesso em: 08 set. 2024.

THORSSON, S.; HONJO, T.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; LIM, E. M. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places. **Environment and Behavior**, v. 39, n. 5, p. 660-684, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/229421454\\_Thermal\\_Comfort\\_and\\_Outdoor\\_Activity\\_in\\_Japanese\\_Urban\\_Public\\_Places](https://www.researchgate.net/publication/229421454_Thermal_Comfort_and_Outdoor_Activity_in_Japanese_Urban_Public_Places). Acesso em: 08 set. 2024.

VANOS, K. J.; WARLAND, S. J. Thermal comfort modelling of body temperature and psychological variations of a human exercising in an outdoor environment. **Int J Biometeorol**, v. 56, 2012, p. 21–32. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21188424/>. Acesso em: 12 set. 2024.

VITAL STRATEGIES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **Covitel – Inquérito Telefônico de Fatores de Risco para Doenças Crônicas não Transmissíveis em Tempos de Pandemia**. 2023. Disponível em: <https://www.vitalstrategies.org/resources/covitel-inquerito-telefonico-de-fatores-de-risco-para-doencas-cronicas-nao-transmissiveis-em-tempos-de-pandemia/>. Acesso em: 08 set. 2024.

WEI, D.; LIAN, Z.; LIU, B. A Field Study of Outdoor Human Thermal Perception in Three Seasons in Shanghai, China. **Buildings** 2022, 12, 1453. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12091453>. Acesso em: 30 set. 2024.

XIE, Y.; NIU, J.; ZHANG, H.; LIU, S.; LIU, J.; HUANG, T.; LI, J. MAK, C. M. Development of a multi-nodal thermal regulation and comfort model for the outdoor environment assessment. **Building and Environment**, v. 176, 2020, p. 1-12. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320301670?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2024.

XUE, J.; LIU, W.; LIU, K. Influence of Thermal Environment on Attendance and Adaptive Behaviors in Outdoor Spaces, A Study in a Cold-Climate University *Campus*. **International Journal of Environmental research and public health**, n. 18, 6139, 2021, p. 1-15. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/11/6139>. Acesso em: 13 set. 2024.

XUE, J.; HU, XI.; SANI, S, N.; WU, Y.; LI, X.; LAI, L. C. D. Outdoor Thermal Comfort at a University *Campus*: Studies from Personal and Long-Term Thermal History Perspectives. **Sustainability**, v.12, n. 21, 9284, 2020.

YAO, F.; FANG, H.; HAN, J.; ZHANG, Y. Study on the outdoor thermal comfort evaluation of the elderly in the Tibetan plateau. **Sustainable Cities and Society**, v. 77, 2022, p. 1-13. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022SusCS.7703582Y/abstract>. Acesso em: 13 set. 2024.

YIN, J.; ZHENG, Y.; WU, R.; TAN, J.; YE, D.; WANG, W. An analysis of influential factors on outdoor thermal comfort in summer. **Int J Biometeorol**, v. 56, 2011, p. 941-948. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22109103/>. Acesso em: 13 set. 2024.

YUAN, T.; HONG, B.; QU, H.; LIU, A.; ZHENG, Y. Outdoor thermal comfort in urban and rural open spaces: A comparative study in China's cold region. **Urban Climate**, Vol. 49, 2023, 101501. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.10150>. Acesso em: 30 set. 2024.

ZHANG, T.; SU, M.; HONG, B.; WANG, C.; LI, K. Interaction of emotional regulation and outdoor thermal perception, A pilot study in a cold region of China. **Building and Environment**, v. 198, 2021, p. 1-17. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132321002766>. Acesso em: 13 set. 2024.

ZHEN, M.; DONG, Q.; CHEN, P.; DING, W.; ZHOU, D.; FENG, W. Urban outdoor thermal comfort in western China. **Journal of Asian architecture and building engineering**, v. 20, n. 2, 2021, p. 222–236. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13467581.2020.1782210>. Acesso em: 13 set. 2024.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Monitoramento microclimático estático *Davis Vantage Pro 2* período úmido.

Período úmido	Ta (°C) média	Ur (%) média	Va(m/s) média
09/07/2023	29,3	75,3	1,3
11/07/2023	29,8	69,8	0,9
13/07/2023	29,3	74,4	0,9
15/07/2023	29,3	73,4	0,8
	29,3	75,0	1,2
18/07/2023	30,3	61,5	0,6
21/07/2023	27,9	59,4	0,4
23/07/2023	28,7	69,5	0,2
29/07/2023	28,7	73,4	0,1
30/07/2023	28,9	71,3	0,1
06/08/2023	27,7	75,2	0,0
10/08/2023	27,8	75,0	0,1

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### Apêndice B – Monitoramento microclimático estático Confortímetro Senu, período seco.

Período seco	Ta (°C) média	Ur (%) média	Tg (°C) média	Va (m/s) média
27/12/2023	30,0	69,2	31,4	0,6
28/12/2023	30,9	66,3	34,5	0,6
04/01/2024	30,0	71,0	31,0	0,8
06/01/2024	30,8	66,2	33,0	0,7
	29,9	69,2	30,9	0,4
07/01/2024	31,3	61,5	33,4	0,7
09/01/2024	30,6	67,7	31,7	0,7
13/01/2024	30,0	72,8	31,5	1,1
	29,9	71,9	30,8	0,8
14/01/2024	30,4	68,6	32,7	0,6
	29,7	74,0	30,9	0,5
20/01/2024	30,7	65,6	32,1	1,4

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### Apêndice C – Monitoramento microclimático dinâmico HOBO U12 período úmido.

Período úmido	Ta (°C) média	Ur (%) média
09/07/2023	29,7	75,4
11/07/2023	29,7	69,6
13/07/2023	29,4	71,8
15/07/2023	30,1	72,0
	29,6	73,3
18/07/2023	28,1	76,6
21/07/2023	29,8	60,1
23/07/2023	30,6	60,6
29/07/2023	30,1	67,0
30/07/2023	29,3	67,3
06/08/2023	28,0	72,0
10/08/2023	28,3	71,1

Fonte: Elaboração própria, 2024.

### Apêndice D – Monitoramento microclimático

Dinâmico HOBO U12, período seco.

Período úmido	Ta (°C) média	Ur (%) média
27/12/2023	30,2	72,6
28/12/2023	31,9	66,8
04/01/2024	29,7	76,2
06/01/2024	31,0	71,5
	29,7	74,7
07/01/2024	32,4	63,8
09/01/2024	30,8	72,1
13/01/2024	31,0	76,1
	30,1	77,2
14/01/2024	30,7	72,3
	30,0	77,1
20/01/2024	32,6	67,1

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Apêndice G – Questionário de avaliação subjetiva de conforto térmico na integra.**

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)?						
<b>1) Como você está se sentindo em relação ao ambiente térmico?</b>						
Escala de Intensidade da resposta						
<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+2</b>	<b>+3</b>
Muito Frio	Frio	Pouco de Frio	Neutro	Pouco de Calor	Calor	Muito Calor
<b>2) Em relação ao microclima deste local, como você está se sentindo?</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>
Confortável		Um pouco desconfortável		Desconfortável		Muito desconfortável
<b>3) Nesse momento, em relação ao microclima deste local, como você preferiria que estivesse?</b>						
<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+2</b>	<b>+3</b>
Muito mais Frio	Mais Frio	Um pouco mais de frio	Sem mudanças	Um pouco mais quente	Mais quente	Muito mais quente
<b>4) Em relação à intensidade de luz neste ponto, como você se sente?</b>						
<b>-2</b>		<b>-1</b>		<b>0</b>		<b>+1</b>
Muito insatisfeito		Insatisfeito		Indiferente		Satisfeito
<b>5) Em relação ao nível de ruído neste ponto, como você se sente?</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>
Sem incômodo		Um pouco incomodado		Muito incomodado		Extremamente incomodado
<b>6) Em relação à qualidade do ar neste ponto, como você se sente?</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>
Sem incômodo		Um pouco incomodado		Muito incomodado		Extremamente incomodado
<b>7) Em relação ao ponto anterior, você considera que o ambiente térmico deste ponto é:</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		
Mais frio		Semelhante		Mais quente		
<b>8) Em relação ao ponto anterior, você considera que a intensidade da luz deste ponto é:</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		
Menos intensa		Semelhante		Mais intensa		
<b>9) Em relação ao ponto anterior, você considera que o nível de ruído deste ponto é:</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		
Menos ruidoso		Semelhante		Mais ruidoso		
<b>10) Em relação ao ponto anterior, você considera que a qualidade do ar neste ponto é:</b>						
<b>0</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		
Menos poluído		Semelhante		Mais poluído		

Fonte: Elaboração própria, 2024.

**Apêndice H - Termo de consentimento livre e esclarecido.****TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.**

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre Conforto térmico humano em espaços abertos e está sendo desenvolvida pelos pesquisadores Lincon de Carvalho Lima aluno do curso de doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia civil e ambiental (PPGECAM) da Universidade Federal da Paraíba, sob a orientação da Professora Solange Maria Leder em parceria com o pesquisador Walter Ihlenfeld aluno do curso de mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sob Orientação do professor Eduardo Leite Kruger.

Os objetivos do estudo são realizar levantamento de dados de conforto térmico em ambientes abertos em diferentes morfologias urbanas na cidade de João Pessoa-PB e Curitiba PR, utilizando monitoramento microclimático fixos e móveis na identificação de espaços urbanos termicamente desconfortáveis e na construção de uma proposta de método para avaliar a sensação térmica dos cidadãos.

A finalidade deste trabalho é contribuir primeiramente com os estudos de conforto térmico em espaços abertos, em diferentes climas. Os resultados encontrados poderão contribuir como apoio a tomada de decisão por parte dos planejadores urbanos e das políticas públicas no intuito de desenvolver uma cidade ambientalmente equilibrada e termicamente confortável para os cidadãos. Medidas como essas servem ainda de apoio a preservação ambiental no meio urbano, melhorando a qualidade de vida das pessoas.

Solicitamos a sua colaboração para contribuir com a pesquisa respondendo um questionário investigativo sobre a sensação de conforto térmico, como também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de saúde e engenharias, publicar em revista científica. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo. Informamos que essa pesquisa não oferece riscos, previsíveis, para a sua saúde.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo não sofrerá nenhum dano, nem haverá modificação na assistência que vem recebendo na Instituição.

Os pesquisadores estarão a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou o meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento.

---

Assinatura do Participante da Pesquisa

---

Assinatura da Testemunha

---

Assinatura do Pesquisador Responsável

---

Contato do Pesquisador (a) Responsável:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor ligar para os (a) pesquisadores (a): Lincon Carvalho.

Endereço (Setor de Trabalho): Universidade Federal da Paraíba *Campus I* - Cidade Universitária – Laboratório de conforto LABCON-UFPB- 1º Andar Centro de tecnologia -CT.

Telefone: (83) 987088955 E-mail: **lincon.ecobio@hotmail.com**

Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da UFPB. *Campus I*, Cidade Universitária.