

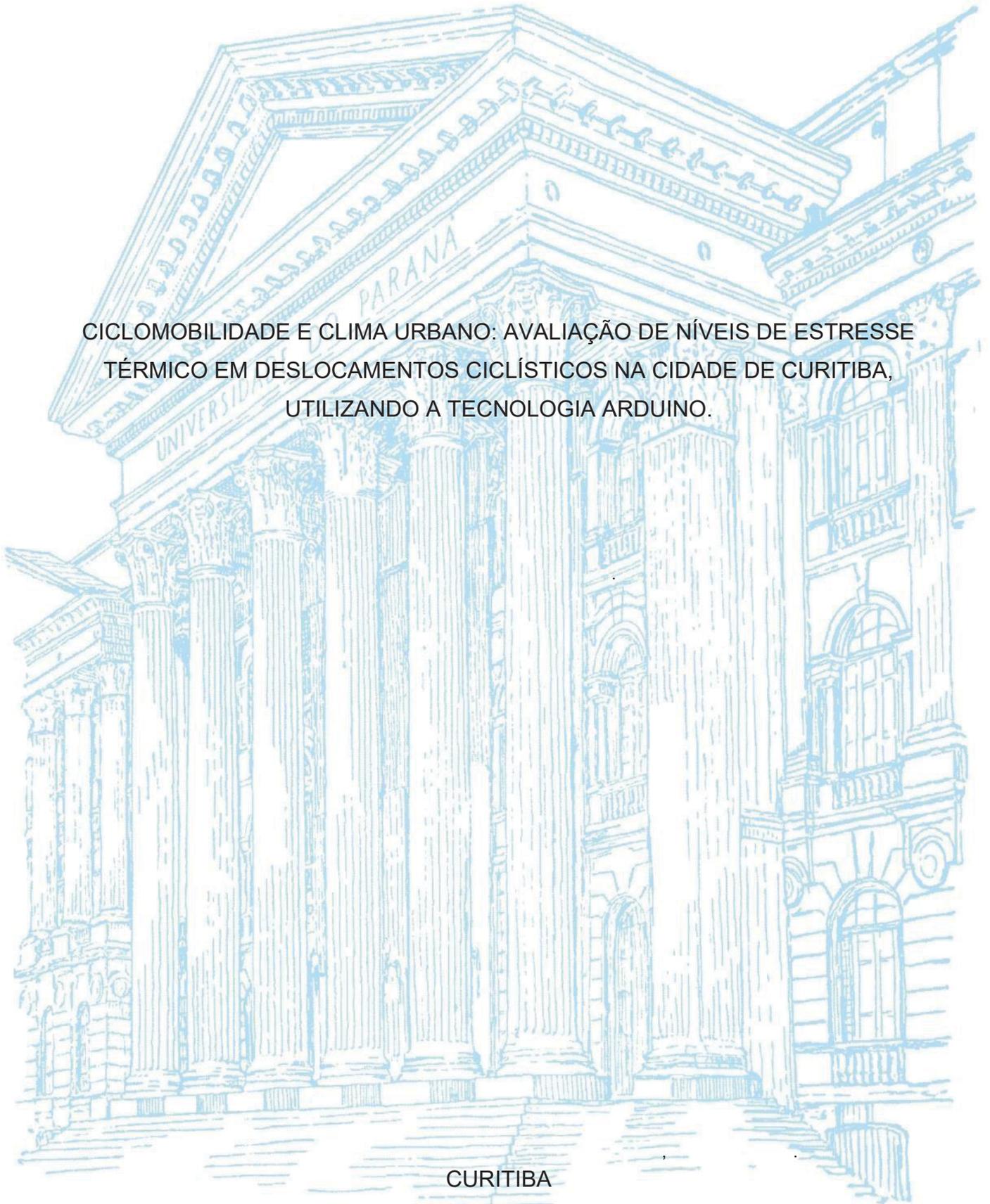
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNI REGAZZO

CICLOMOBILIDADE E CLIMA URBANO: AVALIAÇÃO DE NÍVEIS DE ESTRESSE
TÉRMICO EM DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS NA CIDADE DE CURITIBA,
UTILIZANDO A TECNOLOGIA ARDUINO.

CURITIBA

2024



GIOVANNI REGAZZO

CICLOMOBILIDADE E CLIMA URBANO: AVALIAÇÃO DE NÍVEIS DE ESTRESSE
TÉRMICO EM DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS NA CIDADE DE CURITIBA,
UTILIZANDO A TECNOLOGIA ARDUINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Mestrado, Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia

Orientador: Prof. Wilson Flavio Feltrim Roseghini

CURITIBA
2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Regazzo, Giovanni

Ciclomobilidade e clima urbano: avaliação de níveis de estresse térmico em deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba - Paraná, utilizando a tecnologia arduino / Giovanni Regazzo. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Wilson Flavio Feltrim Roseghini

1. Ciclomobilidade. 2. Mobilidade ativa. 3. Arduino (Controlador programável). 4. Transectos móveis. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Roseghini, Wilson Flavio Feltrim. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOGRAFIA -
40001016035P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GEOGRAFIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GIOVANNI REGAZZO** intitulada: **Ciclobilidade e clima urbano: avaliação de níveis de estresse térmico em deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba - Paraná, utilizando a tecnologia arduino.**, sob orientação do Prof. Dr. WILSON FLÁVIO FELTRIM ROSEGHINI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 24 de Junho de 2024.

Assinatura Eletrônica

04/07/2024 16:48:02.0

WILSON FLÁVIO FELTRIM ROSEGHINI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

04/07/2024 16:51:21.0

FRANCISCO JABLINSKI CASTELHANO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE)

Assinatura Eletrônica

04/07/2024 16:55:02.0

PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTÃO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico a todos que vieram antes e contribuírem para que eu aqui chegasse, em especial minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Wilson Flávio Feltrim Roseghini, pela orientação, apoio e confiança.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão e Prof. Dr. Francisco Jablinski Castelhana, pelas orientações e correções significativas para o andamento da dissertação.

Ao laboratório de Climatologia da UFPR (Laboclima) e seus membros pelo acolhimento e trocas, em especial ao Thiago Fogaça pelas ajudas diretas e indiretas e aos amigos Thiago Rodrigues Leite e Luana Rudy pela amizade e conversas.

Aos amigos que apoiaram a minha entrada no mestrado e ajudaram na construção do projeto inicial, Mariana Reinach e Guilherme Tebet e professor Dr. Lindberg Nascimento.

Ao meu pai, família, amigos e amores que fazem parte dessa longa jornada do conhecimento e da vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro desta pesquisa, na forma de bolsa de mestrado.

“A competição é a lei da selva, a cooperação é a lei da civilização.”

Pior Kropotkin

“Criamos uma civilização global na qual os elementos mais cruciais dependem profundamente da ciência e da tecnologia.

Também organizamos as coisas para que quase ninguém entenda ciência e tecnologia. Esta é uma receita para o desastre. Podemos escapar impunes por um tempo, mas mais cedo ou mais tarde essa mistura combustível de ignorância e poder vai explodir na nossa cara.”

Carl Sagan – O mundo assombrando pelos demônios

RESUMO

As cidades enfrentam, no contexto atual, desafios relacionados à crise climática global e seus impactos, buscando diante disso, adaptações e ações para a redução desses impactos. Na dimensão da mobilidade, entre as soluções promovidas está o uso da bicicleta como meio de transporte, interligada aos demais modais existentes. Seu uso é apoiado por fatores de ordem ambiental, econômica e cultural, além de fatores ligados à promoção da saúde pessoal. A utilização da bicicleta no meio urbano possui diferentes funções, incluindo o uso recreativo, o uso esportivo e seu uso utilitário nos deslocamentos até o local de trabalho, além do crescimento de seu uso na ciclogística. Entre os fatores limitantes do uso da bicicleta está sua maior vulnerabilidade a impactos ambientais e climáticos, quando comparada por exemplo, a outros modos de transporte, como um motorista de automóvel ou um passageiro de ônibus. A vulnerabilidade envolvida nesses impactos pode variar de acordo com o tipo de uso e deslocamentos realizados com a bicicleta. Diante do cenário de crise climática e promoção do uso da bicicleta, o presente trabalho teve por interesse analisar dentro de uma perspectiva geográfica, algumas relações entre o clima urbano e os deslocamentos ciclísticos. Entre essas relações, esta pesquisa teve por objetivo geral avaliar as condições e níveis de estresse térmico em deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba, bem como variabilidade térmica nos mesmos. Para tanto, foi utilizado um equipamento de coleta automática de dados atmosféricos de baixo custo, baseado na tecnologia arduino, instalado em uma bicicleta. As coletas de dados foram realizadas por transecto móvel, envolvendo o eixo estruturante sul da cidade de Curitiba, entre setembro de 2023 a março de 2024. Os dados coletados foram relacionados ao índice de estresse térmico utilizado pelo INMET, revelando que grande parte dos deslocamentos realizados apresentou níveis de estresse térmico entre calor moderado e estresse por calor muito elevado. Os impactos causados pelo estresse térmico na população têm como consequência direta o aumento potencial de doenças e da mortalidade, relacionados a eventos de calor extremo, além de reduções na produtividade no meio laboral. Esse impacto no clima urbano é potencializado por fenômenos como ilhas de calor, ondas de calor, além do aumento da temperatura global. Este trabalho buscou contribuir com os estudos climáticos em geografia e áreas afins, relacionadas ao clima urbano e à ciclomobilidade, com ênfase nas escalas microclimáticas. A proposta metodológica apresentada busca democratizar o conhecimento climático, possibilitando o acesso a dados meteorológicos primários, além de estar alinhado com os ODS números 10 e 13 da ONU (2015), que buscam reduzir as disparidades sociais e econômicas, promovendo igualdade de oportunidades para todos, incluindo ações de mitigação climática. A metodologia proposta é de baixo custo e fácil operação, o que contribui para a inclusão de mais pesquisadores e profissionais interessados nos estudos climáticos urbanos.

Palavras-chave: Mobilidade ativa. Coleta de dados atmosféricos. Transecto móvel

ABSTRACT

Cities face current challenges related to the global climate crisis and its impacts, seeking adaptations and actions to reduce these impacts. Concerning of mobility, among the solutions promoted, is the use of bicycles as a means of transportation, interconnected with other existing modes. Its use is supported by factors of environmental, economic, and cultural order, as well as factors linked to the promotion of personal health. The use of bicycles in urban areas has different functions, including recreational use, sports use, and its utilitarian use in commuting to work, in addition to the growth of its use in cycle logistics. Among the limiting factors of bicycle use is its greater vulnerability to environmental and climatic impacts when compared, for example, to other modes of transportation, such as a car driver or bus passenger. The vulnerability involved in these impacts may vary according to the type of use and commuting carried out with the bicycle. Given the scenario of climate crisis and promotion of bicycle use, this study aimed to analyze, from a geographical perspective, some relationships between urban climate and cycling movements. Among these relationships, this research had the general objective of evaluating the conditions and levels of thermal stress in cycling movements in the city of Curitiba, as well as thermal variability in the same. For this purpose, a low-cost automatic data collection equipment based on Arduino technology was used, installed on a bicycle. Data collection was carried out by mobile transect, involving the southern structural axis of the city of Curitiba, between September 2023 and March 2024. The data collected were related to the thermal stress index used by INMET, revealing that a large part of the movements carried out presented levels of thermal stress between moderate heat and very high heat stress. The impacts caused by thermal stress on the population have direct consequences, potentializing the increase in diseases and mortality related to extreme heat events, in addition to reductions in productivity in the workplace. This impact on urban climate is exacerbated by phenomena such as heat islands, heatwaves, and the increase in global temperature. This work sought to contribute to climatic studies in geography and related areas, related to urban climate and cycling mobility, with emphasis on microclimatic scales. The proposed methodological approach seeks to democratize climatic knowledge, enabling access to primary meteorological data, and is aligned with UN Sustainable Development Goals (SDGs) 10 and 13 (2015), which aim to reduce social and economic disparities, promoting equality of opportunities for all, including climate mitigation actions. The proposed methodology is low-cost and easy to operate, contributing to the inclusion of more researchers and professionals interested in urban climatic studies.

Key-words: Active mobility. Atmospheric data collection. Mobile transect

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratificação Vertical da Atmosfera Urbana proposta por Oke.	30
Figura 2 - Interações atmosféricas em microescala urbana	31
Figura 3 - Diagrama de conforto humano	54
Figura 4 - Gráfico da relação entre temperatura (y) e umidade (x).....	55
Figura 5 - Mapa de localização da Área de estudo, incluindo parte dos trajetos ciclísticos realizados	59
Figura 6 - Mapa dos Eixos estruturais de Curitiba	60
Figura 7- Bairros que fazem parte do eixo estrutural sul de Curitiba (Trajeto selecionado)	61
Figura 8 - Eixo estrutural a cidade de Curitiba.....	62
Figura 9 - Imagem de verticalização de edifícios em eixos estruturais na cidade de Curitiba	63
Figura 10 - Imagem de verticalização de edifícios em eixos estruturais na cidade de Curitiba	63
Figura 11 - Mapa das zonas climáticas locais (LCZ) de Curitiba (a) e mapa dos eixos estruturais (b).	66
Figura 12 - Mapa de risco de ondas de calor em Curitiba para o ano 2030	68
Figura 13 - Mapa da visão futura do planejamento urbano de Curitiba	69
Figura 14 - Mapa da malha cicloviária de Curitiba e gráfico com distribuição de tipos de vias	70
Figura 15 - Dados comparativos de destinos das viagens de bicicleta entre a escala nacional e Curitiba.....	71
Figura 16 - Dados comparativos de destinos das viagens de bicicleta entre a escala nacional e Curitiba.....	72
Figura 17 - Mapa de fluxo de deslocamentos - Origem.....	73
Figura 18 - Mapa de fluxo de deslocamentos - Destino.....	74
Figura 19 - Fluxo médio de bicicletas em canaletas e vias lentas da Av. República Argentina	75
Figura 20 - Obstrução de vias compartilhadas entre ciclistas e pedestres. (a) Rua João Bettega. (b) Rua João Rodrigues Pinheiro	76
Figura 21 - Buracos e desníveis em vias compartilhadas.....	77
Figura 22 - Alagamentos e buracos nas vias compartilhadas	78
Figura 23 - Falta de manutenção nas vias compartilhadas para bicicleta bairro CIC .79	
Figura 24- Mapa das estações de bicicletas compartilhadas pela Tembici	80
Figura 25 - Estações de bicicletas da empresa Tembici ao longo do eixo estrutural sul. (a) Esquina Avenida Marechal Floriano Peixoto. (b) Shopping Água Verde	81
Figura 26 - Placa do arduino uno.....	96
Figura 27 - Sensor de temperatura e umidade DHT11	97
Figura 28 - Características de funcionamento sensor DHT11	98
Figura 29 - Ambiente do software IDE.....	101
Figura 30 - Equipamento em montagem e testes	103
Figura 31 - Diagrama esquemático de ligação do equipamento de coleta de dados.....	104
Figura 32 - Diagrama esquemático do equipamento	105
Figura 33 - Fluxograma geral da metodologia da pesquisa.....	106
Figura 34 - Foto do equipamento instalado próximo à estação oficial do INMET	107
Figura 35 - Relação dos dados coletados (temperatura) entre o Arduino e os dados da estação do INMET de 27/02 a 07/03	108
Figura 36 - Correlação dos dados coletados (temperatura) entre o Arduino e os dados da estação do INMET de 27/02 a 07/03	109
Figura 37 - Gráfico de dispersão dos dados de temperatura entre Arduino e INMET	109

Figura 38 - Correlação entre umidade coletada pelo Arduino x dados INMET	111
Figura 39 - Gráfico de dispersão entre umidade coletada pelo Arduino x dados INMET	111
Figura 40 - Bicicleta utilizada e equipamento instalado na bicicleta	112
Figura 41 - Equipamento instalado na bicicleta e ajustes no programa.....	113
Figura 42 - Equipamento montado dentro da caixa plástica. (Altura da caixa 5cm) .	114
Figura 43 - Imagem do sensor instalado na bicicleta e detalhe do abrigo	114
Figura 44 – Mapa da rota das coletas de dados por transecto móvel com a bicicleta	119
Figura 45 - Infográfico de coletas de dados do dia 11.09, sentido centro.....	121
Figura 46 - Infográfico de coleta de dados do dia 18.09, sentido centro	122
Figura 47 - Gráficos do transecto móvel e coleta de dados dia 23.09.2023, sentido centro	124
Figura 48 - Imagens comparativas de pontos relevantes destacados no transecto móvel. Shopping Palladium (1) e Bosque do Papa (2).....	125
Figura 49 - Gráficos do Transecto móvel e coleta de dados dia 15.10.2023.....	126
Figura 50 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 11.11.2023, sentido centro.	127
Figura 51 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 11.11.2023, sentido bairro	128
Figura 52 - Terminal do Pinheiro na coleta do dia 1.12.23	129
Figura 53 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 1.12.2023, sentido centro	130
Figura 54 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 1.12.2023, sentido bairro	131
Figura 55 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 16.12.2023, sentido centro	133
Figura 56 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 16.12.2023, sentido bairro	134
Figura 57 - Gráfico do transecto móvel e coleta de dados dia 16.03.2024, sentido bairro	135
Figura 58 - Gráfico do transecto móvel e coleta de dados dia 16.03.2024, sentido bairro	136
Figura 59 - Avenidas que compõem o eixo estrutural sul e verticalização ao longo do eixo estrutural sul	138
Figura 60 - Imagens no trecho entre o Terminal do Pinheirinho e o Terminal do Capão Raso	139
Figura 61 - Imagens de pontos do trecho na Avenida República Argentina.	141
Figura 62 - Imagens de pontos dos transectos móveis na Avenida República Argentina	142
Figura 63 - Pontos do trecho da Avenida República Argentina próximo à esquina da Avenida Getúlio Vargas.....	143
Figura 64 - Esquina da Avenida Getúlio Vargas com a Avenida República Argentina	144
Figura 65 - Imagens de pontos dos deslocamentos ciclísticos no trecho da Avenida Sete de Setembro.....	145
Figura 66 - Imagem em destaque do Cânion urbano na Avenida Sete de setembro, sentido sul-norte	146
Figura 67 - Cicloentregadores durante condições de estresse térmico no eixo estrutural sul de Curitiba.....	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ambiente do software IDE	30
Quadro 2 - Níveis de alerta e suas consequências a saúde humana do IC	55
Quadro 3 - Pesquisas sobre o clima urbano realizadas utilizando o transecto móvel de bicicleta.....	89
Quadro 4 - Performances de leitura das variáveis pelo sensor DHT11	99
Quadro 8 - Resumo das coletas realizadas por transectos móvel no trajeto selecionado.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura equivalente do UTCI classificada em termos de stress térmico.....	56
Tabela 2 - Exemplos de tipos de sensores disponíveis no mercado para monitoramento ambiental e atmosférico.....	93
Tabela 3 - Componentes comprados para a construção do equipamento	95
Tabela 4 - Características técnicas placa arduino uno	97
Tabela 5 - Características técnicas DHT11	98
Tabela 6 - Arquivo .txt com dados salvos no SD CARD	102
Tabela 7 - Parte das funções de código utilizadas no equipamento.....	102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CTB	- Código brasileiro de trânsito
CIC	- Cidade Industrial de Curitiba
OMM	- Organização mundial de meteorologia
OMS	- Organização mundial da saúde
ONU	- Organização das nações unidas
ODS	- Objetivos do desenvolvimento sustentável
IPPC	- Painel intergovernamental das mudanças climáticas
IPPUC	- Instituto de pesquisa de planejamento de Curitiba
INEMT	- Instituto nacional de meteorologia
UTCI	- Universal Thermal Climate Index
SAU	- Sistema ambiental urbano
SCU	- Sistema clima urbano
PMC	- Prefeitura Municipal de Curitiba
SETRAN -	- Secretária Municipal de Trânsito
UFPR	- Universidade Federal do Estado do Paraná

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
OBJETIVO GERAL.....	22
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	22
1. CLIMA URBANO E CICLOMOBILIDADE.....	23
1.1 O CLIMA URBANO.....	23
1.2 ESCALAS DO CLIMA URBANO.....	27
1.3 CICLOMOBILIDADE NO MEIO URBANO.....	36
1.4 FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS DOS DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS.....	39
1.5 IMPACTOS DO CLIMA URBANO EM DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS.....	45
1.6 CONFORTO E SENSAÇÃO TÉRMICA.....	48
1.7 ESTRESSE E ÍNDICES TÉRMICOS.....	51
2. ÁREA DE ESTUDO.....	58
2.2 CICLOMOBILIDADE EM CURITIBA - PANORAMA GERAL.....	69
3. COLETA DE DADOS POR TRANSECTO MÓVEL UTILIZANDO A BICICLETA E O ARDUINO.....	83
3.1 TRANSECTO MÓVEL.....	84
3.2 COLETA DE DADOS COM A TECNOLOGIA ARDUINO.....	90
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	94
4.1 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO DE COLETA AUTOMÁTICA DE DADOS.....	94
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	117
5.1 COLETAS DE DADOS REALIZADAS.....	117
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
7. REFERÊNCIAS.....	153
ANEXOS.....	167

INTRODUÇÃO

A necessidade, assim como a vontade em se deslocar pelo meio, são forças inatas na espécie humana, que ao longo da história tem impulsionado a criação de diversos modos de transporte para atender a uma variedade de funções.

A invenção da bicicleta no século XIX, e sua adoção como meio de transporte nas cidades foi um processo revolucionário. Elas foram cruciais para o desenvolvimento urbano em várias regiões do mundo, servindo primordialmente como uma maneira acessível e eficiente nos deslocamentos da classe trabalhadora em direção aos seus locais de trabalho (GEIPOT, 2001).

Atualmente, apesar de desempenhar outras funções, a bicicleta continua a ser extensivamente adotada pela classe trabalhadora como uma alternativa econômica diante dos custos associados ao transporte público e ao combustível. Além disso, o uso da bicicleta oferece deslocamentos mais ágeis em meio ao tráfego congestionado, assim como preenche lacunas de acessibilidade em áreas onde outros modos de transporte, como o transporte coletivo público, não estão disponíveis.

Entre outras funcionalidades no meio urbano, a bicicleta é utilizada tanto para práticas esportivas, como para atividades de lazer. Seu uso sofre também influências políticas ou culturais, além de sua indicação para melhoria da saúde pessoal (Miranda, 2019; 2022).

Diante da atual crise climática e ambiental que a sociedade vive, o uso da bicicleta no meio urbano vem ganhando destaques. Sua importância está relacionada entre outros motivos, com o papel que exerce na dimensão de uma mobilidade urbana mais ecológica, sendo escolhida em 2010 pela ONU como símbolo mundial da mobilidade sustentável (Bellotto, 2017).

As cidades principalmente no sul global, apresentaram em geral um desenvolvimento urbano acelerado, além de um planejamento urbano focado no automóvel e demais veículos movidos a combustíveis fósseis. Esses fatores contribuíram para gerar graves problemas relacionados à poluição do ar, congestionamentos, excesso de barulho, violência, além de um ambiente urbano pouco democrático, impactando negativamente a sociedade (Zangalli, 2018).

Além dessas questões, os veículos movidos a combustíveis fósseis têm contribuído massivamente na emissão de gases do efeito estufa, fortalecendo dessa maneira processos que envolvem a atual emergência climática que as cidades vêm enfrentando (IPCC,2023).

As questões envolvendo as mudanças climáticas globais representam assim uma crescente preocupação em relação às áreas urbanas, uma vez que seus efeitos são potencializados nesses ambientes. No Brasil 84,3 por cento da população mora no meio urbano (IBGE, 2023).

Incluem-se nos efeitos das mudanças climáticas o aumento do risco de inundações, as concentrações de poluição do ar, a ocorrência de ondas de calor (Mateus, 2014) e a disseminação de vetores de doenças tropicais. Esses fatores tornam-se cada vez mais relevantes à medida que as cidades continuam crescendo de maneira densa e desordenada (IPCC, 2023).

Diante desses desafios, as cidades têm buscado e investido em ações e soluções de mitigação e redução dos problemas relacionados à mobilidade urbana, incluindo a promoção de meios de transporte de caráter mais sustentável, ecológico e democrático, como a bicicleta (Lehnert et al., 2018, BRASIL, 2012). Seu uso é indicado, pois é considerada um meio de transporte limpo que não polui, nem gera emissões de gases do efeito estufa, contribuindo assim para a mitigação e redução dos efeitos ligados às mudanças climáticas (Spignardi et al, 2017).

Como já observado, os deslocamentos ciclísticos no meio urbano apresentam diferentes funções, englobando as atividades de lazer, a prática de esportes e como utilitária em locomoções para o local de trabalho ou estudo.

Uma função ciclística que vem crescendo nos últimos anos e merece destaque nessa pesquisa é a utilização laboral da bicicleta para a realização de serviços, envolvendo entregas de mercadorias e alimentação. Esse setor é conhecido como ciclogística. Nesse caso, o uso da bicicleta, ocorre durante o trabalho (ALIANÇA BIKE, 2019). Sua função é justificada tanto por questões econômicas, relacionada a menores custos, como também já observado, por questões ecológicas, contribuindo na redução dos gases do efeito estufa (LABMOB et al, 2020).

Entre as limitações do uso da bicicleta no meio urbano está em sua maior vulnerabilidade quando comparada a outros modais. O uso da bicicleta assim como

andar a pé, de skate ou patins, é considerado um meio de transporte ativo¹ ou não motorizado.

Os deslocamentos ciclísticos ocorrem em ambiente aberto, diretamente expostos ao ar-livre, sujeitos assim, a sofrer maiores impactos ambientais e atmosféricos do que aquelas atividades realizadas em ambientes fechados ou mais protegidos de alguma maneira do ambiente externo (Zhao, 2014). Esses impactos estão relacionados a uma maior exposição à poluição, a ação do clima, a acidentes de trânsito e a uma menor quantidade de infraestrutura segura disponível, já que o privilégio no deslocamento urbano é dado ao automóvel (GEIPOT, 2001).

Portanto, a dimensão climática e atmosférica, afetam diretamente os ciclistas em seus deslocamentos pela cidade (BRASIL, 2007). Os impactos decorrentes dessas dimensões influenciam na decisão sobre o uso da bicicleta, no volume de viagens realizadas e no conforto ou desconforto climático percebido por quem se desloca.

De maneira geral e intuitiva, é possível perceber que certas condições atmosféricas e climáticas podem favorecer, atrapalhar ou até impedir o uso da bicicleta. Dias de muita chuva, assim como excessos de temperaturas frias ou quentes, normalmente podem indicar condições que fazem o volume de viagens de bicicletas serem reduzidas.

Além disso, é preciso levar em conta, como já exposto anteriormente, o atual cenário das mudanças climáticas, que tem intensificado os problemas e impactos relacionados ao clima urbano. No Brasil, em 2023, tivemos a ocorrência de 9 ondas de calor com temperaturas máximas em Curitiba variando acima dos 30° C, por vários dias consecutivos (INMET, 2024).

Esses fatores atmosféricos influenciam diretamente questões de sensação e conforto térmico em ambientes abertos, gerando impactos como estresses térmicos na população. O estresse térmico está relacionado diretamente com problemas de saúde e maiores índices de mortalidade por questões cardiovasculares, além de outras enfermidades (Watts et al., 2017; Kjellstrom et al., 2016).

¹ Transporte ativo se refere ao transporte realizado somente com o esforço humano.

Como medida estratégica para redução desses problemas relacionados aos impactos ambientais e climáticos sobre uso da bicicleta, o planejamento urbano e cicloviário de uma cidade tem por função contribuir em deslocamentos ciclísticos mais seguros e atrativos. Exemplos desse tipo de planejamento podem ser encontrados em ciclovias com presença de arborização, ajudando na proteção da radiação solar e melhorando a qualidade do ar (Machado et al., 2012).

Os impactos do tempo atmosférico e do clima nos deslocamentos ciclísticos variam de acordo com diversos fatores, como a localização e a morfologia das cidades.

Diante do contexto apresentado, podemos identificar duas situações contraditórias para o uso da bicicleta no meio urbano. De um lado, a bicicleta é promovida como uma solução para ajudar a mitigar as mudanças climáticas e outros problemas ambientais decorrentes da urbanização. Por outro lado, a bicicleta enfrenta os próprios problemas urbanos que pretende combater, como a emergência climática, eventos extremos e ambientes poluídos e violentos, que tornam seu uso ainda mais vulnerável.

Essa conjuntura em torno do uso da bicicleta envolve parte da problemática da pesquisa, pois diante da crescente promoção e uso da bicicleta como modo de transporte no meio urbano, somado ao atual cenário de mudanças e emergência climática, questiona-se quais são os impactos e consequências do clima urbano sobre os deslocamentos ciclísticos?

Como será observado ao longo do trabalho, existem poucos estudos que levam em consideração essas questões, e grande parte destes tem como recorte espacial países do norte global, carecendo de pesquisas em regiões com climas e estruturas diferentes (Writzl, et al., 2023).

Na presente pesquisa, a área de estudo está localizada em Curitiba, capital paranaense conhecida como cidade “modelo” por seu planejamento urbano. Foi umas das cidades pioneiras na implementação de ciclovias e hoje aparece na sexta posição com relação ao tamanho total de sua malha cicloviária, com 261,0 quilômetros (PMC, 2023). A cidade de Curitiba também ganha destaque por se uma das 11 capitais brasileiras que apresentam planos institucionais de combate as mudanças climáticas.

Realizando um recorte temporal e espacial na tentativa de materializar essa

problemática, afina-se o foco para a seguinte questão: quais são as condições e níveis de estresse térmico provocados em deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba no ano de 2023?

Para orientar esse debate, além da revisão bibliográfica dos principais conceitos envolvidos, essa pesquisa teve por objetivo geral avaliar as condições de estresse térmico, assim como a variabilidade térmica em diferentes pontos, em deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba em 2023, utilizando ferramentas e equipamentos de baixo custo e simples operação.

Por conseguinte, entre os objetivos específicos, essa pesquisa realizou a montagem de um equipamento automático para coleta de dados atmosféricos (temperatura e umidade) de baixo custo com a tecnologia arduino.

O equipamento foi instalado em uma bicicleta para a realização de coletas de dados, através da metodologia do transecto móvel em trecho selecionado na cidade. A área de estudo compreendeu um dos eixos estruturais da malha urbana de Curitiba, mais especificamente o eixo estrutural sul, por representar grande quantidade de fluxos de deslocamentos ciclísticos (IPPUC, 2019).

Os dados coletados durante os transectos móveis foram analisados e relacionados com referência ao índice de estresse térmico utilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esse índice foi elaborado com base no índice Termoclimático Universal (UTCI) da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), contribuindo na avaliação de estresse térmico em ambientes abertos.

A coleta de dados atmosféricos permitiu igualmente, a verificação da variabilidade térmica ao longo do trajeto selecionado. As diferenças térmicas contribuem para a caracterização de diferentes microclimas que compõe a cidade, fornecendo melhores subsídios para o planejamento urbano (Mutani et al., 2016). A realização dos transectos móveis também contribui para uma melhor caracterização da área de estudo, através da percepção de detalhes *in loco* e a partir da bicicleta, como a contagem de ciclistas e a realização de registros fotográficos.

Como comentado anteriormente, os motivos para o uso da bicicleta são diversos, sendo necessário atenção nas generalizações, pois os motivos de uso da bicicleta vão indicar menor ou maior vulnerabilidade perante a exposição aos impactos atmosféricos e riscos climáticos.

Diante desses fatores, essa pesquisa procura destacar os deslocamentos ciclísticos realizados por trabalhadores/estudantes aos seus locais de trabalho/estudo destacando os deslocamentos do setor da ciclogística, que utilizam a bicicleta durante o trabalho, estando expostos aos impactos climáticos por um período mais prolongado do que comparado a outros usos. Esse destaque se apoia em fundamentos teóricos propostos na geografia do clima (Sant'Anna Neto, 2001), os quais ressaltam o enfoque social e econômico nas relações entre impactos do clima e a sociedade.

Espera-se que o trabalho presente possa contribuir de maneira significativa, servindo de conhecimento para a formulação de soluções destinadas à promoção da ciclomobilidade, com o intuito de mitigar ou atenuar os efeitos do estresse térmico e outros riscos climáticos.

Ao aprofundarmos nosso entendimento sobre as condições microclimáticas durante os deslocamentos ciclísticos, considerando perspectivas a partir dos usuários de bicicleta, é possível identificar e propor medidas destinadas a reduzir os impactos e riscos negativos associados ao clima urbano. Dessa forma, a cidade e as viagens ciclísticas podem se tornar mais confortáveis do ponto de vista climático.

Diante disso, procurou-se indicar subsídios que orientem novas metodologias e instrumentos de mensuração para estudo do clima urbano, que possam vir a ser utilizados para monitorar algumas condições ambientais a que ciclistas estão sujeitos em seus deslocamentos. Os equipamentos e ferramentas utilizadas nessa pesquisa podem igualmente ser aproveitados para fins educativos e para conscientização climática de forma geral, contribuindo para a democratização do conhecimento climático.

Além disso, a pesquisa busca chamar a atenção para a necessidade de o poder público e as empresas compreenderem os efeitos das mudanças climáticas e eventos extremos na propensão das pessoas a pedalar, bem como as implicações para aqueles que não andam de bicicleta.

Cabe destacar que, apesar do foco dessa pesquisa tenha sido o uso da bicicleta, ela também pode servir de base para reflexões e análises de outras formas de deslocamento ativo, como os deslocamentos a pé, de patinete, mobilete ou skate, bem como os catadores de papel, garis e pessoas em situações de rua. Esses

exemplos de mobilidades também envolvem o deslocamento em meio urbano, expondo os indivíduos de maneira mais vulnerável às condições ambientais e climáticas da cidade.

A fim de dar sentido à estruturação desta pesquisa, as etapas do trabalho foram divididas em capítulos que seguem a seguinte lógica.

O primeiro capítulo é dedicado a compreender de maneira geral como é o clima das cidades. Dessa maneira, o capítulo abordará o clima urbano, buscando compreender algumas características e processos gerais que transformam o clima local em um clima diferenciado, envolvendo assim diferentes escalas e dimensões socioespaciais.

O segundo capítulo irá apresentar um panorama geral do que se entende por ciclomobilidade urbana, trazendo aspectos relacionados a funções e usos da bicicleta nesse meio, além de suas relações com diferentes tipos de deslocamentos. Esse capítulo busca dar destaque para o uso laboral da bicicleta, além de questões relacionadas à infraestrutura ciclística.

No terceiro capítulo, a pesquisa pretende apontar de maneira geral as relações entre a ciclomobilidade e o clima urbano, envolvendo influências e tipos de impactos. Dentre esses impactos, ressalta-se o impacto climático relacionado ao campo térmico, por sua relação com o estresse térmico, componente de um dos objetivos de avaliação desta pesquisa.

O quarto capítulo apresenta os fundamentos teóricos do equipamento de coleta de dados com a tecnologia arduino, além da metodologia do transecto móvel, como a bicicleta como ferramenta.

No quinto capítulo, são apresentadas as matérias e métodos para atingir os objetivos propostos. Primeiramente, será mostrado a montagem do equipamento de coletas e seus testes, incluindo validação e instalação na bicicleta para a realização das coletas por transecto móvel.

O sexto capítulo, traz os resultados e as discussões referentes aos objetivos colocados. A primeira parte apresenta a caracterização da área de estudo, incluindo características gerais do clima da cidade de Curitiba, além de condicionantes urbanísticas relacionada aos deslocamentos ciclísticos nos eixos estruturais da cidade. Esse resultado contribui na compreensão da escolha da área de estudo. A

segunda parte apresenta, em forma de gráficos e infográficos, os índices de estresse térmico verificados durante os deslocamentos ciclísticos realizados nessa pesquisa, relacionando o trajeto com questões urbanísticas.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta as considerações finais, baseadas nos objetivos e resultados propostos nessa pesquisa.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a variabilidade térmica entre diferentes pontos, bem como as condições e os níveis de estresse térmico, durante deslocamentos ciclísticos no eixo estrutural sul da cidade de Curitiba, ao longo do ano de 2023-2024, utilizando uma bicicleta e um equipamento de coleta automática de dados atmosféricos de baixo custo.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Montar um equipamento para leitura e coleta automática de dados atmosféricos (temperatura do ar e umidade relativa do ar) de baixo custo utilizando a tecnologia de prototipagem eletrônica *open source*, instalada em uma bicicleta para estudos de microclimas urbanos. (Para avaliação de estresse térmico).
- Analisar de modo geral as relações entre deslocamentos ciclísticos e clima urbano, dando destaque ao impacto térmico
- Caracterizar a área de estudo envolvendo as relações de ciclomobilidade com as questões térmicas (estresse e variabilidade), com base nas análises dos dados objetivos e subjetivos coletados durante os deslocamentos ciclísticos.
- Destacar a perspectiva da geografia do clima nos estudos do clima urbano relacionadas ao uso da bicicleta

1. CLIMA URBANO E CICLOMOBILIDADE

1.1 O CLIMA URBANO

No tempo presente, a sociedade se encontra diante de um contexto de intensificação da crise ambiental e da emergência climática global, o que demanda urgentemente transformações nas relações entre a sociedade e seu meio (Pascoalino et al., 2021). Com mais da metade da população mundial vivendo em áreas urbanas (ONU, 2020), as cidades destacam-se como pontos centrais não apenas sofrendo os impactos do clima, mas também influenciando e modificando as dinâmicas atmosféricas locais.

Por consequência, as cidades também contribuem, em conjunto na influência climática regional e global (Nascimento, 2019). Devido a relevância das cidades nessas dinâmicas, é demandado das mesmas, mudanças e adaptações planejadas para enfrentamento dos desafios relacionados às crises.

Pesquisas envolvendo o clima urbano ganharam destaques nas últimas décadas, tanto pelos problemas socioambientais decorrentes do processo de urbanização, como diante da emergência que a questão das mudanças climáticas globais e eventos extremos têm provocado (Gobo et al., 2021). Esses estudos são fundamentais na contribuição de informações sobre as dinâmicas e relações do clima urbano com a sociedade, aumentando a compreensão para a identificação e reconhecimento dos impactos ambientais e climáticos resultantes da interação entre cidade e atmosfera.

O clima urbano é o resultado de mudanças significativas nas propriedades físico-químicas da atmosfera, que ocorrem devido a alterações nos balanços térmico, hídrico e energético (Amorim, 2017). Essas alterações são provocadas pelas propriedades morfológicas da cidade e pelas atividades antrópicas associadas à urbanização, levando a modificações na temperatura, na umidade do ar, no comportamento dos ventos, dentre outras, como regime de precipitações.

De maneira geral, essas alterações atmosféricas que ocorrem principalmente próximo à superfície, contribuem com o aumento na temperatura do ar em seu entorno, intensificando as chuvas, diminuindo a umidade relativa do ar e modificando

a circulação dos ventos, repercutindo na escala da cidade microclimas diversos (Schmitz, 2021).

É possível observar que existem diferenças climáticas entre as áreas urbanas e áreas não urbanas, rurais ou de baixa intervenção humana. De acordo com Monteiro,

“A cidade gera um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes” (Monteiro, 1976, p.134).

De maneira geral, o processo de urbanização é acompanhado por alta densidade populacional, uma complexa infraestrutura e por arranjos socioespaciais dinâmicos, compostos por edifícios, ruas, avenidas, parques, jardins, vias férreas, casas, indústrias, além de outros elementos, influenciados por fatores de ordens econômica, política e das condições físicas do meio.

Quanto maior a intensidade da urbanização, maior a força da antropização que ocorre na cidade, incluindo a composição química da atmosfera próxima à superfície e seus arredores (Monteiro, 1990b). Assim, um dos produtos do desenvolvimento urbano, como já mencionado, é refletido na influência e transformação do clima local, em um clima próprio, que se pode chamar de clima urbano.

Além dessas alterações, contribuem para modificação do clima local a supressão da vegetação. Isso acarreta não apenas à diminuição da absorção de carbono e da evaporação de água, como também intensifica as condições atmosféricas locais, como circulação atmosférica, a radiação, entre outros, resultando em processos de formação de ilhas de calor (Amorim, 2017; Schmitz, 2021). Pode-se observar que “a expansão territorial urbana caracteriza-se pelo aumento das áreas edificadas e pavimentadas que geram inércia térmica e a produção de calor” (Amorim et al., 2021, pág. 68).

Para Monteiro (1976; 2003), o clima urbano é aquele definido como o clima de um dado espaço, associado ao seu processo de urbanização, que se revela nas condições atmosféricas resultantes da interação de diferentes escalas climáticas com a superfície. Para compreender essas interações, Monteiro propõe uma abordagem

sistêmica, encarando o clima da cidade enquanto um sistema clima urbano (SCU). Essa proposta envolve analisar o clima urbano com foco em canais de percepção do mesmo, divididos em um canal hidrometeorológico, um canal termodinâmico e um canal físico-químico.

Esses canais de percepção atmosférica estão relacionados com impactos ambientais e climáticos provocados por problemas socioambientais no meio urbano, tendo como exemplos a dimensão do conforto térmico, a poluição atmosférica, os alagamentos e deslizamentos de solos (Mendonça, 2011). Fazem parte desse sistema, análises de elementos atmosféricos e variáveis climáticas, como a temperatura, a velocidade do vento, a umidade, a radiação solar direta, além da condutividade térmica da superfície e demais fatores que influenciam o clima urbano.

Contribuindo nessa perspectiva sistêmica, além da interdisciplinaridade e do diálogo de saberes, Mendonça (2004, 2011) propõem o sistema ambiental urbano (SAU). Essa abordagem teórica metodológica parte da perspectiva que os problemas socioambientais das cidades devem ser pensados a partir da interação sociedade-natureza.

Diante dessas perspectivas e abordagens teóricas, o clima urbano e seus problemas socioambientais derivados surgem da combinação complexa entre fatores de ordem físico-natural e social. Os impactos ambientais e climáticos decorrentes desses problemas socioambientais têm, portanto, relações com o processo de urbanização e suas derivações negativas como o inchaço populacional, a verticalização crescente das edificações, da impermeabilização do solo, da concentração de poluentes e da crescente desigualdade social que marca a morfologia urbana de forma segregadora.

O processo de urbanização seguido da lógica do capital, tem contribuído para cidades geradoras de problemas e impactos socioambientais diversos (Zangalli, 2018). Desse modo, importante ressaltar que os impactos ambientais e climáticos citados recaem de forma desigual sobre diferentes áreas das cidades e regiões do globo, provocando distintas consequências e riscos na sociedade (Sant'Anna Neto, 2001; 2013; Nascimento, 2019).

A cidade é assim, de acordo com Corrêa (1995), um espaço fragmentado e articulado, que além de ser moldado por ações sociais, reflete a interação dialética

entre essas ações. Embora seja economicamente produzido, o espaço urbano é socialmente experimentado, o que significa que ele é apropriado e transformado com base em decisões racionais e afetivas. Além disso, ainda de acordo com Corrêa (1995), o espaço urbano pode ser entendido como um conjunto de símbolos e um campo de batalha, especialmente para as classes sociais.

A perspectiva do clima urbano, como um dos produtos do modo de produção capitalista, envolve compreender que os riscos e impactos socioambientais são percebidos, e também gerados de maneira diferenciada pela população (Sant'Anna Neto, 2008; Zangalli, 2018). Esse foco do clima é umas das premissas da justiça climática (Rammê, 2012; Milanés et al., 2010)

Mais do que desvendar os processos dinâmicos e as estruturas temporais e espaciais do clima — que são importantes, como parte do procedimento metodológico — para o geógrafo, o que realmente deveria importar é o significado deste processo inserido nas dimensões socioeconômica e socioambiental (Sant'Anna, 2001, p.59).

Assim, para uma melhor compreensão das interações entre a sociedade e o meio urbano, é fundamental para a geografia saber identificar os agentes que modificam o meio, assim como, quais grupos sociais são mais impactados (Fante, 2019). Todos esses fatores e processos configurados no meio urbano aumentam também a incidência de eventos extremos, contribuindo com fenômenos como inundações, alagamentos e deslizamentos de encostas. Como resultado, a população urbana está altamente sujeita aos riscos socioambientais decorrentes das mudanças climáticas.

Possíveis mudanças na frequência de eventos extremos manifestados pelas ondas de calor podem engendrar elevação nos índices de mortalidade, especialmente nos idosos e naqueles com dificuldades socioeconômicas como aqueles setores da população que são particularmente sensíveis ao clima (Mendonça, 2003, pág. 216).

As interações entre a sociedade e a natureza se expressam sob diferentes formas, de acordo com suas relações entre espaço e o tempo. Dessa maneira, as escalas de análise do clima urbano se tornam fundamentais do ponto de vista geográfico.

1.2 ESCALAS DO CLIMA URBANO

A abordagem geográfica do clima urbano requer uma atenção especial à compreensão e definição das escalas do fenômeno em questão. Isso é crucial para identificar as bases de dados necessárias, delimitar a área de estudo e selecionar os meios, métodos e técnicas de observação mais apropriados (Ely, 2006).

Podemos definir a escala em termos gerais, como sendo uma referência de valor estabelecida com base em critérios que são relevantes para a compreensão de um determinado fenômeno analisado. Como já comentado, as interações atmosféricas que ocorrem nas cidades, são derivadas de diferentes escalas, sendo esse fator fundamental para uma melhor compreensão do clima urbano.

Essas diferentes escalas envolvem a dimensão espacial e temporal (Sant'Anna Neto, 2008;2013; Pascoalino et al., 2021). De uma perspectiva geográfica, os fenômenos atmosféricos e climáticos são analisados na dimensão espacial em sua extensão e abrangência, enquanto a dimensão temporal se concentra na duração e intensidade dos mesmos (Mendonça et al., 2007). Assim, o estudo de fenômenos climáticos no meio urbano envolvendo definições de intensidades, frequências e classificações dependem de uma abordagem espaço-temporal alinhada com as técnicas e metodologias apropriadas.

Os fenômenos climáticos são variados e abrangem desde eventos meteorológicos de curta duração, como tempestades e frentes frias, até padrões climáticos de longo prazo, como as variações e mudanças climáticas globais (Sant'Anna, 2008;2013). As escalas espaciais do clima podem ser definidas por diferentes denominações de acordo com sua ordem de grandeza. Uma primeira classificação mais geral pode ser dividida em macroescala, mesoescala e microescala (Ayoade, 2003).

Partindo dessas ordens de grandeza, outras denominações são propostas. Começando das escalas superiores a inferiores, temos a escala climática global ou zonal, a escala climática regional, a escala climática local ou mesoclima, além da escala microclimática (Ribeiro, 1993).

Na escala global o clima é governado por processos mais amplos, como a distribuição latitudinal da radiação solar, a inclinação do eixo da terra, a circulação

atmosférica global, a distribuição de oceanos, as correntes marítimas, além dos ciclos de carbono e de energia. Esses processos determinam padrões climáticos de médio e longo prazo em diferentes regiões do mundo, sendo nessa escala a ocorrência da circulação geral ou primária da atmosfera (Mendonça et al., 2007).

A compreensão da dinâmica climática global é crucial na geração de modelagens climáticas para a previsão de eventos extremos, como também para melhores compreensões acerca das mudanças e variações climáticas (Ribeiro, 1993; Mendonça et al., 2007).

Já na escala regional, o clima é influenciado por fatores como a latitude, a altitude, a circulação atmosférica regional e as massas de ar dominantes. As regiões climáticas compartilham características semelhantes, como os climas tropicais, temperados e árticos. As análises do clima nas escalas regionais são essenciais para o planejamento de infraestruturas, gestão de recursos hídricos e avaliação de impactos ambientais (Andrade, 2005; Ribeiro, 1993).

O clima local ou topoclima, é configurado por modificações no clima regional por questões morfológicas do relevo ou da antropização humana, como processos agrícolas ou urbanos (Ribeiro, 1993; Pascoalino et al., 2021). A topografia, a composição do solo e a vegetação local são reconhecidos como características da área relativamente estáveis ao longo do tempo. Esses elementos determinam o clima predominante em uma região específica, abrangendo centenas de quilômetros quadrados e são frequentemente referidos como o clima local (Andrade, 2005; Zangalli, 2015).

Quando se fala em escala microclimática, não há um consenso exato quanto aos limites de qual seria a escala espacial desse clima. De maneira geral, seria a escala mais próxima a dos indivíduos.

“O microclima define-se através da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive objetos, plantas e animais) dispostas na superfície da Terra e o ar que as envolve. Os autores que tratam, direta ou indiretamente, da taxonomia climática, são unânimes em reconhecer a existência dos microclimas como o nível escalar mais próximo dos indivíduos” (Ribeiro, 1993, p.6).

Monteiro (1976) não define de maneira direta o microclima, mas apresenta considerações básicas para seu melhor entendimento. Classificações das escalas

climáticas não devem ser vista como delimitadoras, pois sua função está em demonstrar os fatores envolvendo questões de hierarquização referente a ordens de complexidades e sistemas envolvidos.

A escala local, incluindo seus microclimas, é influenciada por características topográficas e pela interação entre a atmosfera e a superfície terrestre em uma área específica. Elementos como a cobertura vegetal, presença de corpos d'água e a urbanização podem modular as condições climáticas locais, criando microclimas distintos e únicos.

Essas variações microclimáticas são importantes para atividades agrícolas, planejamento urbano e gestão de recursos naturais (Pascoalino et al., 2021). É nessa escala em particular que o homem possui maior capacidade de transformar o clima, criando microclimas (Sant'Anna Neto, 2010).

A redução da escala para o nível da especialização, onde a ação transformadora do homem altera de forma drástica o meio natural, faz com que a dinâmica e os ciclos temporais aconteçam com velocidades variadas, ou seja, quanto menor a escala, maior a complexidade, pois maior é a quantidade de elementos (Sant'Anna, 2008).

Na escala microclimática, é possível visualizar os efeitos do clima urbano em termos de distribuição espacial e temporal, incluindo a formação de ilhas de calor urbana e as modificações no balanço de energia em relação aos sítios rurais e naturais circundantes (Ribeiro, 1993; Steinke, 2012). Esses efeitos têm implicações significativas nas interações com as mudanças globais, aumentando os riscos sociais e ambientais durante eventos extremos (Mendonça et al., 2007; Andrade, 2005).

Já as escalas temporais do clima envolvem a frequência de duração do fenômeno, que podem ir de minutos a décadas ou milênios. A dimensão temporal do clima também pode ser classificada em tempo geológico, tempo histórico e tempo contemporâneo (Mendonça et al., 2007).

A seguir, podemos ver alguns exemplos de fenômenos atmosféricos e climáticos relacionados às escalas de análise espaciais e temporais (Quadro 1).

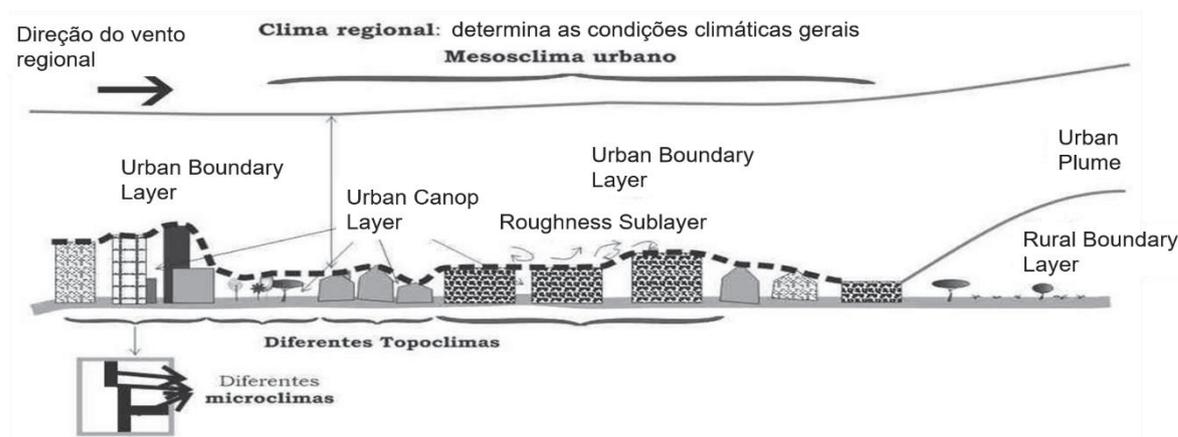
Quadro 1- Escalas espaciais do clima

Ordem de Grandeza	Subdivisões	Escala espacial horizontal	Escala espacial vertical	Escalas temporais das variações	Exemplos de recortes de estudo
Macroclima	Clima zonal/ regional	>2.000Km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um continente, etc.
Mesoclima	Clima regional/ local /topoclima	2.000 a 10 Km	12 Km a 100 metros	várias horas a alguns dias	Região Metropolitana a a, uma cidade, etc.
Microclima		10km a alguns metros quadrados	Abaixo de 100 metros	de minuto ao dia	Bosque, uma rua, etc.

Fonte: (Mendonça et al., 2007)

Os fenômenos atmosféricos que ocorrem nas cidades distribuem-se de forma horizontal e vertical. Na figura 1 é possível verificar a estratigrafia vertical da atmosfera proposta por Oke (1978), demonstrando diferentes camadas em relação à morfologia urbana, além dos diferentes microclimas que podem ser gerados na escala local do clima urbano. Essas diferenças entre as camadas ajudam a compreender a formação de ilhas de calor urbano (Oke, 1978; 1982).

Figura 1 - Estratificação Vertical da Atmosfera Urbana proposta por Oke.



Fonte: Andrade, 2005, p. 71.

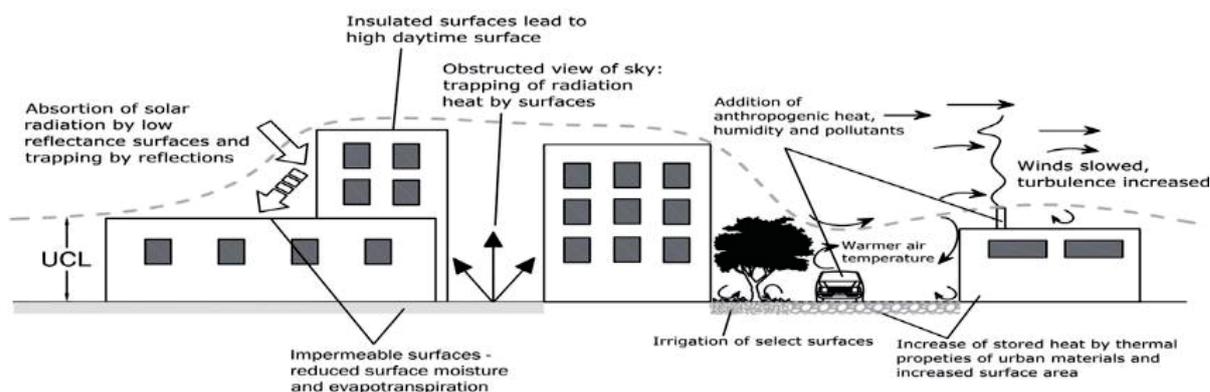
É possível observar (Figura 1) uma camada de superfície ativa com volume de ar entre os prédios, chamada de Urban Canopy Layer (UCL), atmosfera urbana inferior ou intra-urbana, delimitada na altura do telhado dos edifícios. A natureza ativa dessa camada produz uma considerável complexidade de fatores atuantes, sendo produzida pelos processos em microescala localizados nas ruas, entre os prédios, ou parques, por exemplo.

Acima dessa camada, temos a camada limite urbana, chamada de Urban Boundary Layer (UBL), atmosfera urbana superior, que influencia a condição térmica de toda a cidade, podendo estender-se para o sotavento da área urbana, formando uma pluma urbana. A camada inferior da UCL é a Roughness Sub Layer, camada de rugosidade inferior, onde o fluxo é influenciado pela rugosidade dos elementos individuais.

É possível verificar com mais detalhamento (Figura 2) algumas interações na microescala urbana influenciadas pelos por elementos individuais como altura e disposição de edifícios, níveis de vegetação, níveis de impermeabilização do solo, entre outras características.

Figura 2- Interações atmosféricas em microescala urbana

MICROSCALE



Fonte: (Voogt, 2007)

Como foi verificado as diversas escalas geográficas (espaciais e temporais) do clima se inter-relacionam de maneira complexa, e seu entendimento nos fornece uma melhor análise do clima como um todo.

Como observado, a escala microclimática é a escala mais próxima da população. É nessa escala que a maior parcela da população concentra suas atividades cotidianas, seus deslocamentos casa-trabalho e momentos de lazer, sendo nessa escala o clima sentido com maior percepção. Os deslocamentos ciclísticos ocorrem em escalas microclimáticas, podendo englobar mais de um microclima a depender das distâncias.

As pesquisas envolvendo o clima urbano e as escalas microclimáticas têm ganhado relevância, contribuindo para a compreensão das interações entre a sociedade e o clima. Esses estudos desempenham um papel importante na identificação de problemas e soluções no âmbito da gestão e planejamento urbano, contribuindo em questões como adaptação às mudanças climáticas, mitigação dos efeitos das ilhas de calor, enfrentamento a eventos climáticos extremos, otimização do uso de energia, além da promoção de ambientes mais saudáveis e sustentáveis.

Dentro desse contexto, temas como bioclimatologia, saúde, conforto térmico, planejamento urbano e educação climática têm sido explorados. A bioclimatologia refere-se à interação entre o clima e os organismos vivos, levando em conta as condições climáticas que afetam a sobrevivência e a adaptação das espécies em um determinado ambiente, normalmente com recorte em microescala (Carvalho, 2006).

As análises do clima urbano dentro de uma perspectiva geográfica precisam levar em conta a compreensão de como as condições locais e microclimáticas afetam os seres humanos e como estes afetam o clima ao seu redor (Lima et al., 2019; Carvalho, 2006). Essas pesquisas são fundamentais para o entendimento dos impactos do clima urbano sobre a população, incluindo as mudanças climáticas e os eventos extremos.

A saúde da população está diretamente relacionada aos efeitos do clima, abrangendo desde a ocorrência de doenças respiratórias e cardiovasculares até os impactos na qualidade do ar e da água (Mendonça, 2000).

Entre os objetivos da pesquisa presente e relacionado com a questão dos impactos climáticos e a saúde, está a verificação de estresse térmico nos deslocamentos ciclísticos. A atmosfera urbana, ou o ar da cidade, são geralmente mais quentes do que suas áreas próximas, tornando o fenômeno da ilha de calor urbano, um dos exemplos de processos térmicos, relacionado as modificações

climáticas que ocorrem nas cidades (Fialho, 2009).

O impacto térmico é refletido na sensação e percepção do conforto térmico em microescala urbana e pode representar condições de estresse térmico.

Os elementos atmosféricos envolvidos nesses processos fazem parte do canal de percepção termodinâmico do sistema clima urbano (Monteiro, 1976), como a temperatura, a umidade, o vento, entre outros. Essa pesquisa realizou coletas dos dados atmosféricos referentes a temperatura e umidade.

A temperatura do ar possui relação com o processo de distribuição de radiação solar na superfície terrestre. Essa distribuição é resultado do balanço energético (radiação) que é armazenado ou refletido pela superfície terrestre, resfriando ou aquecendo o ar. “O calor transferido da superfície para atmosfera, aquece o ar e altera a sua temperatura, que nesse caso, é a representação da quantidade de calor, que o ar possui” (Steinke, 2012, p. 53).

Também podemos dizer que “a temperatura do ar é a medida do calor sensível nela armazenado, sendo comumente dada em graus Celsius ou Fahrenheit e medida por termômetros” (Mendonça et al., 2007 p. 49). A compreensão sobre a temperatura do ar passa pelo entendimento dos mecanismos de transferência de calor: radiação, condução e convecção.

Diversos fatores influenciam a variação da temperatura do ar, sendo as escalas uns dos aspectos que ajudam a entender melhor quais são esses fatores e variáveis a serem consideradas.

Na dimensão da escala temporal, a temperatura é expressada em termos de valores instantâneos, médios e reais, além de máximos e mínimos. Esses últimos valores podem ser relacionados a um determinado período selecionado, como diários, mensais ou anuais (Steinke, 2012). A amplitude térmica de um determinado lugar ou trecho revela a diferença entre as temperaturas mínimas e as máximas.

A temperatura atmosférica de um mesmo local apresenta variabilidades regulares e irregulares. É possível perceber certa regularidade na sucessão e alternância dos dias e noites, sendo regular a variação de energia solar recebida em cada período do dia. Essa regularidade pode ainda sofrer variações temporais diversas, conforme estação do ano, mês, ou ciclos atuantes, como o El-Niño, a La-Niña, assim como os ciclos astronômicos.

Contribuem nestas variações os aspectos geográficos, como a altitude, a latitude, a vegetação e a morfologia do lugar, como os modernos centros urbanos. Por outro lado, as variações irregulares da temperatura do ar são ocasionadas por ventos, chuvas, nevoeiros, centros de alta ou baixa pressão, massas de ar, entre outros fenômenos.

Já na dimensão espacial, a variação da temperatura, tem entre seus fatores, a latitude. Em geral, as regiões próximas ao equador apresentam temperaturas mais elevadas, enquanto as regiões próximas aos polos são mais frias. Isso ocorre porque a incidência de radiação solar é maior nas regiões próximas ao equador, devido ao ângulo de inclinação dos raios solares, enquanto nas regiões polares, a inclinação é menor e a radiação solar é distribuída de forma menos intensa (Mendonça et al., 2007; Steinke, 2012).

Outro fator de influência na variação espacial da temperatura é a altitude, sendo que em altitudes mais elevadas a temperatura tende a ser mais baixa, devido a menor capacidade de retenção do calor na atmosfera. Isso pode ser observado, por exemplo, em regiões montanhosas, onde as temperaturas são mais baixas nas partes mais elevadas.

A proximidade de massas d'água também pode influenciar a variação espacial da temperatura. As regiões próximas aos oceanos tendem a apresentar menores variações e amplitudes térmicas devido à influência da umidade e da temperatura da água, que se transferem para a atmosfera. Por outro lado, as regiões continentais tendem a apresentar maiores variações de temperatura ao longo do dia e do ano (Mendonça et al., 2007; Steinke, 2012).

O fator da cobertura vegetal também pode contribuir para impactar a variação espacial da temperatura. Em áreas com maior cobertura vegetal, a temperatura tende a ser mais amena, devido à menor incidência de radiação solar direta, e à maior umidade do ar, que é retida pelas plantas (Dumke, 2007).

O uso que se faz do solo é outro fator de relevância que influencia a variação da temperatura. Diferentes tipos e funções de uso do solo se relacionam com parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre, conhecida como albedo. O albedo pode ser entendido como a medida sobre a capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar incidente, em comparação com a quantidade de radiação absorvida.

Superfícies mais claras como a neve refletem mais radiação solar, apresentando assim um albedo mais alto, enquanto superfícies mais escuras, como o asfalto, absorvem mais radiação solar, apresentando, portanto, um albedo mais baixo (Ayoade, 2003; Steinke, 2012).

Outro elemento que contribui na variação espacial da temperatura é o ar, que se aquece pela influência da sua circulação convectiva e “transporta calor verticalmente da superfície da terra para a atmosfera, sendo também responsável, em termos globais, pela redistribuição de calor das regiões equatoriais para os polos” (Steinke, 2012, p. 52).

Também relacionado à percepção térmica, temos o elemento umidade. A umidade do ar pode ser entendida como o resultado da evaporação e da evapotranspiração que ocorrem na superfície terrestre. Existem diferentes formas de caracterizar a ocorrência do vapor de água na atmosfera, como umidade relativa, razão da mistura, umidade específica ou umidade absoluta (Mendonça et al., 2007). A umidade relativa do ar indica a variação de umidade em relação a temperatura do ar.

Nessa pesquisa o equipamento desenvolvido realizou a coleta de dados referentes a umidade relativa, que de forma simplificada, seria a quantidade de água na forma de vapor existente na atmosfera, com relação a quantidade máxima que poderia existir na temperatura que estaria sendo lida em determinado momento. A umidade, como uma variável física da atmosfera, estabelece relações com outras variáveis. Por exemplo, a relação entre umidade relativa e temperatura é inversamente proporcional. À medida que a temperatura aumenta, a umidade relativa tende a diminuir. A temperatura do ar limita a quantidade máxima de umidade presente em um volume de ar (Steinke, 2012).

De modo geral, os fatores apresentados anteriormente, relacionados as cidades, contribuem para um entendimento básico sobre o clima urbano, envolvendo suas diferentes escalas. Esse entendimento é essencial para a definição de recortes (espaço-tempo) e análises de estudos.

Nó próximo capítulo, será apresentado a dimensão da mobilidade ciclística no meio urbano, para em seguida ser apresentado os impactos do clima urbano nessa mobilidade.

1.3 CICLOMOBILIDADE NO MEIO URBANO

Por definição geral e básica a bicicleta é um veículo de transporte normalmente individual, composto por duas rodas alinhadas e um quadro que tenha capacidade de suportar o ciclista. Possui um guidão para a direção, além dos pedais para seu acionamento, que é realizado através do esforço do movimento das pernas do ciclista. O movimento das rodas se processa normalmente por um sistema de transmissão, incluindo uma corrente mecânica que interliga os pedais à roda traseira.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) estabelecido pela Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, o artigo 96 define a bicicleta como um veículo de propulsão humana com duas rodas, diferenciando-se das motocicletas, motonetas e ciclomotores. Sendo assim, a bicicleta é oficialmente reconhecida como um veículo e suas operações nas vias públicas estão sujeitas às regulamentações do CTB.

A invenção e o surgimento da bicicleta são de difícil precisão. Ao longo de sua história diferentes modelos foram sendo elaborados, utilizando a ideia de girar suas rodas através da propulsão humana até chegarmos aos modelos mais recentes e consolidados. Desde sua popularização, a bicicleta foi utilizada como um meio de transporte eficiente e barato pela classe trabalhadora. Na Europa pós segunda guerra mundial, com as indústrias destruídas, seu uso foi essencial como meio de transporte nas cidades. Além de sua função utilitária, a bicicleta também começou a se destacar como prática esportiva, tendo projeções maiores a partir de competições como a Tour de France (GEIPOT, 2001).

O surgimento do automóvel e sua expansão começaram a ganhar relevância a partir da década de 20, e após a década de 1960, os automóveis já se tornaram populares em diversas regiões do globo, delegando o papel da bicicleta para um segundo plano (Augé, 2010). Na década de 70, ocorreu a primeira crise do petróleo, evento que impactou de forma variada e desigual diversos países, impondo às cidades a necessidade de repensarem suas matrizes energéticas, buscando soluções ecológicas e recolocando a bicicleta em situação de relevância. Dessa maneira, alguns governos, além da sociedade civil, criaram ações e infraestruturas para o uso da bicicleta como um meio de transporte ecológico (Augé, 2010).

Os problemas relacionados ao incentivo massivo e exclusivo do automóvel e demais veículos movidos a combustíveis fósseis não se limitam a sua dependência energética. Diversos outros impactos socioambientais estão ligados à sua lógica, como a poluição e milhares de mortes por um trânsito violento e pouco democrático (Pezzuto, 2002).

Os debates e evidências sobre os problemas socioambientais causados pelo modelo de urbanismo centrado no automóvel, contribuíram para que iniciativas políticas e culturais começassem a surgir (GEIPOT, 2011; VASCONCELLOS, et al, 2011). Conceitos como inclusão, participação, horizontalidade e ação direta, se destacam como instrumentos para moldar cidades mais humanas e sustentáveis, refletindo em abordagens alternativas na organização social e espacial dos meios urbanos (Miranda, 2019; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

No Brasil, a crise do petróleo levou à criação do Programa de Mobilização Energética, que através da coordenação do Ministério dos Transportes priorizou investimentos em transporte coletivo e redução da dependência de automóveis nas cidades. Entre as diversas iniciativas, houve um pequeno incentivo ao uso da bicicleta, embora ainda em escala bem reduzida (Vasconcellos et al., 2011).

Foi somente na virada do século XX para XXI, com o agravamento dos problemas socioambientais ligados ao trânsito e à mobilidade, que o Brasil começou a despertar para a alternativa da ciclomobilidade com maior ênfase (GEIPOT, 2001).

Nos últimos anos, algumas capitais brasileiras dobraram sua infraestrutura cicloviária. Em 2014 as vias destinadas aos deslocamentos ciclísticos somavam 1.414 quilômetros, e em 2017 foram 3.009 quilômetros. Porém, cabe ressaltar que essa porcentagem ainda corresponde somente a 2,8 por cento do total da malha viária de todas as cidades (BRASIL, 2007).

Durante muito tempo a bicicleta não teve destaque e relevância como meio de transporte por parte da gestão pública, sendo de modo geral vista pela população por sua função recreativa ou esportiva. Para a parte restante da população que utiliza a bicicleta como transporte, seu uso era visto com preconceito, devido a sua relação com a pobreza (Miranda, 2019).

De acordo com o Ministério das Cidades, as bicicletas aparecem como o meio de transporte individual mais utilizado pela população, sendo acessível a todas as

classes de renda, além de poder ser usada da infância à vida adulta com uma durabilidade média de sete anos de vida útil. No ano de 2015, o Brasil contabilizava o número de 75 milhões de unidades (BRASIL, 2017)

O uso da bicicleta nas áreas urbanas apresenta vantagens e desvantagens comparadas a outros modos de transporte, sendo seu uso influenciado por fatores geográficos diversos, como relevo, clima, economia e planejamento urbano. Assim, as condições que revelam vantagens e desvantagens que o uso da bicicleta pode oferecer, variam entre cidades e até mesmo dentro de uma mesma cidade.

Para Machado et al., (2022) o uso da bicicleta como meio de transporte traz benefícios para a saúde individual, como a prevenção de doenças crônicas e a redução de acidentes com veículos motorizados, contribuindo assim para a saúde coletiva igualmente. Ainda entre as vantagens individuais do uso da bicicleta, podemos citar o baixo custo, em comparação a outros meios de transporte, além de uma maior agilidade em situações de trânsito intenso e congestionado (BRASIL, 2007; Battiston et al., 2017).

Para o conjunto da sociedade, seu uso contribui em uma maior democratização do meio urbano, além da redução direta das emissões de gases do efeito estufa e ruídos, assim como, menores gastos com infraestrutura e com saúde pública. Por não emitir gases do efeito estufa durante seu uso, contribui também para a qualidade do ar e ajuda na mitigação da atual crise climática (Belotto, 2009; Nichele, 2021).

As desvantagens do uso da bicicleta giram em torno de maiores riscos físicos, como esforço ou acidentes, menor capacidade de transportar cargas, maior exposição a impactos das condições climáticas e maior lentidão em trajetos longos (Heinen et al., 2010; Spencer et al., 2013).

Os riscos ligados aos deslocamentos com a bicicleta representam vulnerabilidades diferenciadas, relacionadas à sua função de uso.

Essas vulnerabilidades variam de acordo com o tipo de uso feito da bicicleta, além de questões envolvendo classe, gênero e raça. O tipo de uso também vai influenciar os diferentes locais e trechos dos deslocamentos. Usos utilitários, como o uso para o trabalho, são diferentes de uso para o lazer, envolvendo, portanto, acessos a infraestruturas diferenciadas. Assim, o deslocamento ciclístico pode ocorrer, por exemplo, em uma ciclovia de um parque ou região arborizada ou dividindo espaço com automóveis em deslocamentos sem infraestrutura e conforto térmico.

1.4 FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS DOS DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS

A diversidade de usos da bicicleta na cidade, podem ser agrupadas dentro da categoria da ciclomobilidade urbana. Essas funções de utilização, como já observado, envolvem usos para o lazer, para o esporte ou de forma utilitária para a locomoção dentro do tecido urbano. No entanto, de maneira geral, o ciclista é tratado de forma generalista. Os planejamentos cicloviários, não levam em conta que a realidade se configura em diferentes contextos, revelando uma diversidade de ciclistas e diferentes tipos de deslocamentos no tecido urbano.

Os motivos e as funções que levam as pessoas a utilizarem uma bicicleta são variados, podendo ser ter origem econômica, cultural ou política (Belotto, 2009). A nível individual, como já observado anteriormente, essa escolha se relaciona também com aspectos da saúde física e mental, pois a bicicleta é considerada um modal ativo, contribuindo com um estilo de vida mais saudável (Nichele, 2021).

A escolha pelo uso da bicicleta, passa do mesmo modo, por questões políticas e culturais relacionadas a ações de combate a mudanças climáticas, pois seu uso reduz o impacto das emissões dos gases do efeito estufa, além de contribuir para outros fatores urbanos, (Belotto, 2009). Esses motivos levaram a bicicleta a ser considerada o meio de transporte mais sustentável do planeta (ONU, 2020).

Por motivos econômicos, como já mencionado, muitos optam pelo uso da bicicleta, frente a gastos com gasolina e tarifas de ônibus, ou ainda pela falta destes e outros meios de locomoção. Ainda por motivos econômicos, muitos vêm utilizando a bicicleta como ferramenta de trabalho no setor da ciclogística (LABMOB et al., 2018).

A escolha pelo uso da bicicleta, igualmente se relaciona com fatores geográficos, como a infraestrutura disponível, aspectos relacionados à segurança, a condição social, ao gênero, a idade, ao relevo e morfologia urbana, assim como as condições atmosféricas e climáticas (Lobo et al., 2020).

Vale destacar que apesar da atual promoção e crescimento da bicicleta no meio urbano, no Brasil o motivo econômico sempre foi marcante.

“Em muitas situações, por dificuldades financeiras ou por oferta precária de transporte público, o uso de bicicletas acontece por necessidade e não por lazer. A bicicleta, portanto, é uma forma de inclusão social” (Londe et al., 2020).

Durante os últimos anos é possível observar um crescimento do uso da bicicleta como forma de trabalho (ALIANÇA BIKE et al., 2018; 2019), ou seja, diferentemente de se deslocar até um lugar, ficar um tempo e retornar, esse uso envolve utilizar a bicicleta durante toda a jornada de trabalho. Essa modalidade envolve o setor da ciclogística e dos bike-entregadores, ciclistas que realizam entregas de mercadorias e comidas, além da prestação de outros serviços.

Essa modalidade de uso torna-se mais vulnerável, pois apresenta maiores períodos de exposição ao ambiente externo e seus impactos, como a poluição urbana, ondas de calor, chuvas, entre outras condições climáticas e ambientais. Portanto, como já destacado, esta pesquisa embora aborde a ciclomobilidade de um modo geral, coloca em foco, o uso da bicicleta como meio de transporte e como meio de trabalho.

Atividades laborais ligadas ao setor logístico e realizadas tendo a bicicleta como base, podem ser classificadas como ciclogística. Essas atividades envolvem a prestação de serviços diversos, mais principalmente a entrega de mercadorias através da utilização da bicicleta.

O uso da bicicleta para esses trabalhos não é novidade, aparecendo na Europa no final século 19 (LABMOB, 2020), perdendo importância frente a evolução de outras formas de transporte, como os movidos a combustível fóssil. Porém, nos últimos anos as atividades envolvendo a ciclogística tem crescido consideravelmente, tendo um pico maior na recente pandemia da covid-19, que consolidou seu uso em diversos

centros urbanos no mundo, assim como no Brasil (ALIANÇABIKE, 2019; Peres, 2020; Nichele, 2021).

Este setor, ligado à atual fase do desenvolvimento do modo de produção capitalista, tem representantes conhecidos através de grandes empresas de plataformas digitais como o IFOOD, o RAPPI, entre outras empresas (ALIANÇABIKE, 2018). O crescimento desse setor, entre outros fatores, possui relações com condicionantes de ordem social e econômica, referentes a crises econômicas, precarização das relações trabalhistas, evoluções tecnológicas (aplicativos, internet em larga escala e plataformas), além da melhoria e estímulo ao uso da bicicleta, através da melhoria da infraestrutura, entre outras (Fioravanti, 2023).

Outros fatores relacionados ao crescimento desses serviços envolvem, portanto, a disponibilidade de uma mão de obra barata, que pedala em média 7 horas diárias, em sua maioria jovens com baixas qualificações, além de uma representatividade de 70 por cento de origem étnica parda e preta (ALIANÇA BIKE, 2019).

Diversos setores apoiam a utilização da bicicleta neste contexto, visto que representa uma medida contra as mudanças climáticas e é menos onerosa para as empresas, que muitas vezes têm pouco ou nenhum vínculo empregatício com os trabalhadores envolvidos na atividade (Minarelli, 2020). No site da empresa IFOOD, é possível observar alguns desses argumentos, em chamadas como: ““Entregas de bike: saiba tudo sobre a modalidade que promove um mundo mais sustentável” (IFOOD, 2023).

Além do mais, o setor empresarial vê no uso da bicicleta como uma opção logística eficiente, mais econômica e flexível devido à sua capacidade de evitar congestionamentos (ALIANÇA BIKE, 2018; 2019).

Como já colocado anteriormente, essa modalidade de uso, representa um maior período dedicado diariamente ao uso da bicicleta, pois implica uma jornada de trabalho que resulta em mais tempo de exposição, aos diversos impactos ambientais e urbanos. Em São Paulo e região metropolitana a média diária pedalada pelos ciclistas é de 64 km (LABMOB, 2020).

Os trabalhadores não têm a opção de pedalar apenas em condições atmosféricas confortáveis, sendo confrontados com desafios e adversidades

climáticas e ambientais durante suas rotas. As longas distancias pedaladas em condições de desconforto térmico, são relatadas através de alguns jornais. “No verão carioca, entregadores que trabalham de bicicleta chegam a pedalar 70km em dias de calor “(Diário do rio, 2023).

De forma geral, como já demonstrado, o setor da ciclogística envolve grupos de usuários frequentemente representado por grupos sociais, mais vulneráveis em termos de classe, raça e até mesmo status de imigração. Além disso, do ponto de vista das relações de trabalho que fazem parte desse setor, observa-se uma crescente precarização.

Cada vez mais, trabalhadores neste setor enfrentam a falta de vínculo empregatício direto, muitas vezes trabalhando como autônomos. Essa dinâmica não só evidencia a transformação dos padrões de mobilidade, mas também revela uma estrutura social complexa e desafiadora, conhecida como uberização do trabalho (Abílio, 2017; LABMOB, 2020).

Diante disso e levando em conta os diferentes tipos de usos, os deslocamentos ciclísticos pelas cidades têm características diversas, estando sujeitos às condições locais, além de pessoais de uso. As condições locais das cidades, estão ligadas entre outros fatores, à sua localização, seu tamanho, topografia e formas de relevo, além das condições climáticas e atividades econômicas. Esses fatores revelam uma diversidade de meios urbanos, e conseqüentemente uma diversidade de deslocamentos.

Os deslocamentos ciclísticos, podem ocorrer dentro ou fora de uma infraestrutura específica para bicicletas, como por exemplo, uma ciclovia (De Mattos et al., 2022). É comum ver ciclistas regulares, utilizando vias rodoviárias pela falta de vias específicas, ou ainda, pela qualidade das vias disponíveis. Em grande medida essas ciclovias são mal planejadas e construídas, carecem de manutenção e apresentam diversas avarias. A questão do tempo também é envolvida, pois a velocidade nas ciclovias compartilhadas é mais baixa, além dos desníveis, causados pela má construção. Para quem pratica atividades esportivas com a bicicleta, as ciclovias também podem representar uma limitação.

Como já observado, nos tipos de uso da bicicleta, alguns ciclistas podem pedalar poucos quilômetros numa área arborizada como em um parque, enquanto

outros podem se deslocar mais de 10 quilômetros para chegar a seu trabalho, ou pedalar por vários deslocamentos, somando uma alta quilometragem diária, como os cicloentregadores.

Trajeto mais longos, podem passar por diferentes microclimas, incluindo áreas com diferentes níveis de impermeabilização, de altitudes, ou índices de vegetação, além de diferentes acessos a infraestruturas disponíveis. Dessa maneira, os deslocamentos ciclísticos no meio urbano são distintos, assim como, os riscos e impactos relacionados ao clima urbano, também são.

Como já verificado, os deslocamentos ativos, sejam a pé ou de bicicleta, envolvem maiores exposições a riscos ambientais e climáticos, incluindo a poluição, os riscos por acidentes físicos e o esforço excessivo, além de outros fatores. A depender do motivo do uso da bicicleta, os riscos podem ser minimizados, como por exemplo, para o lazer, onde são procurados ambientes tranquilos como parques, assim como dias com condições atmosféricas favoráveis para a atividade. Já os usos, que envolvem os deslocamentos para o trabalho, e durante o trabalho, não podem simplesmente parar pelas condições adversas, do trajeto, do tempo ou do clima.

Como parte do planejamento ciclovitário, a dimensão da infraestrutura é fundamental para reduzir e melhorar a qualidade dos deslocamentos ciclísticos, sendo assim uma das motivações na escolha do uso da bicicleta. Portanto, para promover o uso da bicicleta no espaço urbano, as cidades devem oferecer condições para sua inclusão, envolvendo infraestruturas específicas e políticas públicas para seu direcionamento (GEIPOT, 2001).

O planejamento urbano, através do planejamento ciclovitário, deve garantir estruturas específicas para o uso da bicicleta, envolvendo vias para seu deslocamento, além de estruturas suplementares, como bicicletários, paraciclos, lugares para conserto, arborização para ajudar contra calor excessivo, entre outras estruturas (GEIPOT, 2001; CHAPADEIRO, 2011).

As vias específicas ou compartilhadas de circulação das bicicletas, são conhecidas como ciclovias, ciclofaixas e ciclorrotas. A infraestrutura ciclovitária deve incluir, entre outros pontos, melhores condições de segurança e qualidade para os ciclistas (IPPUC, 2019). As construções devem se guiar pela busca de deslocamentos confortáveis e favoráveis ao uso da bicicleta por todos

“Com o intuito de que mais pessoas utilizem a bicicleta, proporcionar naturalidade e suavidade ao pedalar são premissas a se considerar como determinantes. Atingir tais objetivos requer um pavimento de superfície regular, antiderrapante, de aspecto agradável. Além disso, é importante que as larguras das infraestruturas sejam adequadas, com proteção das intempéries (sol, vento chuva) sempre que possível e que o ciclista não seja forçado a desmontar da bicicleta durante seu deslocamento como, por exemplo, em interseções (CHAPADEIRO, 2011, pág. 33).

Para um planejamento cicloviário eficaz, é importante não apenas construir vias exclusivas para bicicletas, mas também garantir conectividade entre diferentes áreas da cidade e integração com outros meios de transporte na cidade, promovendo acessibilidade ao sistema (Chapadeiro, 2011). Igualmente, é fundamental implementar manutenção regular nas vias e demais equipamentos, estabelecendo um sistema de monitoramento contínuo para avaliar problemas.

As campanhas educativas e de sensibilização são importantes para promover o uso seguro e responsável das ciclovias, sensibilizando tanto os ciclistas quanto os motoristas para a coexistência pacífica nas vias urbanas (BRASIL, 2007).

Logicamente, como já alertado, mesmo sem infraestrutura adequada disponível, o uso da bicicleta se faz presente. Essas condições aparecem em geral em cidades pequenas, ou nas periferias das grandes cidades. Nesse caso o ciclista utiliza a via normal destinada aos carros. Mesmo em cidades com vias específicas, muitos optam por não utilizarem, por serem lentas e com pouca manutenção, apresentando diversos defeitos.

1.5 IMPACTOS DO CLIMA URBANO EM DESLOCAMENTOS CICLÍSTICOS

Como já destacado, as condições atmosféricas e climáticas do meio urbano, impactam diretamente e indiretamente seus habitantes de maneira diferenciada por questões socioespaciais diversas. Ciclistas, assim como pedestres, estão mais expostos aos impactos do clima urbano do que motoristas de carro ou usuários de ônibus. O esforço físico relacionado ao uso da bicicleta gera uma respiração mais intensa, contribuindo assim também para maior exposição aos riscos relacionados a poluição do ar. Dessa maneira, a decisão em usar a bicicleta para deslocamentos nas cidades, está muito relacionado às condições meteorológicas, climáticas e ambientais (Camargo, 2012; Spencer et al., 2013; Spignardi, 2017).

De modo geral e lógico, é possível inferir que em climas temperados, as estações mais quentes e o aumento da temperatura contribuem para um maior volume nas viagens de bicicleta, sendo os dias mais frescos, considerados os mais ideais. Já em episódios e períodos de chuvas, os volumes de viagens ciclísticas diminuem, assim como em situações de frio intenso e também de neve. A chuva, além de aumentar a umidade corporal, pode provocar alagamentos nas vias, diminuindo a visibilidade perante a obstáculos, além de gerar impactos de efeito prolongado, como ciclovias alagadas por um período prolongado.

Em determinadas condições, o vento forte também pode representar um obstáculo considerável, pois gera aumento do esforço físico durante a atividade (Schwedersky, 2019). Os períodos ou episódios de temperaturas elevadas podem representar limitações, o calor extremo pode gerar condições relacionadas ao estresse térmico.

Estudos relacionando o clima urbano e a utilização da bicicleta não são novos, (Hanson, 1977; Nankervis, 1999) porém esse tema vem ganhando destaque nos últimos anos, em partes como já comentado, devido a importância que a bicicleta representa na contribuição para melhoria do meio urbano e no combate às mudanças climáticas (Belotto, 2009; Miranda; 2019; 2022). Esses fatores positivos do uso da bicicleta representam um dos tipos de estudos realizados.

Outros tipos de estudos, abordam análises das relações e impactos das condições atmosféricas nos deslocamentos ciclísticos (Flynn, 2012; Nankervis, 1999;

Spencer; 2013). Esses trabalhos, através da disponibilidade de dados e ferramentas estatísticas, buscam correlações entre as condições climáticas e o volume de deslocamentos ciclísticos, além de análises sobre a escolha em usar ou não a bicicleta por essas mesmas condições. Essas correlações, geralmente são relacionadas com frequências diárias, sazonais ou anuais.

É importante ressaltar que grande parte dos estudos realizados, aconteceram em regiões de clima temperado úmido ou temperado frio, possuindo temperaturas médias que não ultrapassam os 22°C (Spignardi et al., 2017). Dessa maneira, ocorre a necessidade de análises mais amplas, envolvendo a influência das variáveis atmosféricas no uso da bicicleta em outras regiões do globo, com climas diferentes e em especial o Brasil (Writzl et al., 2023).

Uma revisão bibliográfica sobre essas questões envolvendo o clima urbano e o uso da bicicleta (Spignardi et al., 2017), concluiu que as variáveis microclimáticas, têm influências na mobilidade por transporte ativo, em destaque para os deslocamentos ciclísticos. As variações na temperatura média do ar e a ocorrência de chuvas (precipitações) foram apontadas como os fatores mais importantes nessas influências. Os estudos que combinam mais de uma variável ambiental/física, apresentam resultados mais específicos, colocando a percepção e o conforto térmico dos ciclistas como determinantes na decisão pelo uso da bicicleta.

É preciso lembrar que geograficamente falando, são múltiplas as questões envolvidas no uso da bicicleta, assim o clima, ou o tempo atmosférico, não atuam necessariamente como impeditivo para seu uso, outros fatores podem prevalecer, principalmente através de um bom planejamento urbano e cicloviário.

Como exemplo, temos a cidade de Afuá no Amazonas, uma das cidades brasileiras com maior índice de uso da bicicleta (Miranda et al. 2022). No entanto, Afuá está localizada sob a Linha do Equador, apresentando regime de chuva em mais de 75 por cento dos dias em cinco meses, de janeiro a junho. No mês de abril, o índice pluviométrico atinge a média de 300 milímetros. A temperatura média ocorre entre 24° e 35°C ao longo de todo o ano, apresentando variação independente das precipitações (INMET, 2022).

Essas condições climáticas, não impedem que a cidade tenha um alto índice de utilização da bicicleta por parte de sua população. “Atualmente, cerca de 75% da

população possui sua própria bike e os moradores reinventaram os transportes como um todo” (PORTALAMAZONIA, 2021).

Como já abordado, os impactos relacionados às condições atmosféricas e climáticas ocorrem de forma desigual no meio urbano, atingindo e sendo percebido de maneira diferenciada pela população (Sant’ Anna, 2010; Zangalli, 2018). Esses impactos, somado a todos os problemas socioambientais que o meio urbano já vinha enfrentando, nos dias atuais são agravados e amplificados, devido aos processos de alterações climáticas e eventos extremos associados (Mendonça, 2011).

Nesse cenário é verificado, entre outros processos, o aumento da temperatura, provocando entre outros fenômenos, eventos de ondas de calor excessivo. O ano de 2023 foi considerado o mais quente da história (INMET, 2023), sendo no Brasil registradas nove ondas de calor, com temperaturas chegando a 40 ° C (OGLOBO, 2023), e considerado o ano mais quente desde da década de 60 (INMET, 2023).

Através de um planejamento cicloviário adequado e que esteja atento a estas condições, esses impactos podem ser reduzidos ou mitigados. Em Fortaleza, por exemplo, a prefeitura instalou um equipamento que borrifa água sobre os usuários que passam pela ciclovia, para contribuir na diminuição da sensação de calor (PMF, 2023).

As mídias jornalísticas, relatam alguns desses impactos relacionados a deslocamentos ciclísticos, que além de afetarem diretamente o ciclista, também tem consequências sobre a infraestrutura dos deslocamentos, contribuindo no desgaste, irregularidades e obstruções. Em setembro de 2023, um trecho de uma ciclovia em Porto Alegre-RS desabou durante as chuvas (GZH, 2023).

A arborização também pode contribuir para diminuição da sensação térmica e proteção contra a radiação solar direta, promovendo áreas de sombreamento (Gomes, 2003).

O processo de urbanização mal planejado, contribui na criação de ilhas de calor, (Lombardo, 1985; De Souza et al., 2013) que somado às mudanças climáticas, contribuem para o aumento de eventos ou períodos de temperaturas mais altas, gerando impactos térmicos mais frequentes. A relação entre conforto térmico e deslocamentos ciclísticos é um dos fatores determinantes na escolha e uso da bicicleta (Menezes et al., 2018).

A dimensão do impacto térmico sobre os ciclistas tem relação direta com a sensação de conforto ou desconforto térmico. Excessos de calor provocados por temperaturas elevadas, como eventos de ondas de calor, por exemplo, podem configurar processos de estresse térmico, o que coloca a saúde do usuário em risco (Fante, 2019; Masselot et al., 2023).

Considerando a proposta teórica do sistema clima urbano (SCU), proposta por Monteiro (1976), a dimensão do impacto térmico situa-se dentro do subsistema termodinâmico, que se relaciona com a sensação térmica humana, além de influenciar e ser influenciada pelas condições urbanísticas e morfológicas do meio.

As componentes termodinâmicas do clima não só conduzem ao referencial básico para a ação do conforto térmico urbano como são, antes de tudo, a constituição do nível fundamental de resolução climática para onde convergem e se associam todas as outras componentes. Dentro do esquema do S.C.U., esse canal atravessa toda a sua estrutura, pois que é o insumo básico, é transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema. O uso do solo, as morfologias urbanas, bem como suas funções, estão intimamente implicados no processo de transformação e produção (Monteiro, 2003, p. 44).

1.6 CONFORTO E SENSAÇÃO TÉRMICA

O ser humano sendo impactado diretamente pelas condições atmosféricas e climáticas, sempre buscou meios de reduzir os efeitos negativos e indesejáveis ligados ao clima. Na dimensão térmica, a sensação de prazer e a preferência do ser humano com o meio onde está inserido, possui relação direta com o conceito de conforto térmico.

A definição básica de conforto térmico segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas é *“a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”* (ABNT, 1998, p.9).

Os seres humanos, animais de sangue quente, têm a necessidade de manter a temperatura interna do seu corpo estável, mesmo quando as condições externas oscilam. De forma geral, a temperatura corporal média da maioria das pessoas, situa-se em torno de 37 °C, sendo importante ressaltar que existem variações individuais, devido a fatores como faixa etária, gênero, e contexto social. As variações de 1,0 a 2,0 graus nessa média de 37°C, por um período prolongado, como algumas horas,

podem ter sérias consequências para o organismo. Um desvio de temperatura de 4,0 graus acima ou abaixo da média pode resultar em danos permanentes ou até mesmo na morte (Dumke, 2007; Fante, 2019; Oliveira, 2020a).

O conforto e o desconforto térmico podem ser abordados por distintas perspectivas, podendo ter um enfoque a nível de ambiente ou a nível pessoal. O conforto térmico em um ambiente específico, pode ser descrito como uma sensação de bem-estar, experimentado por uma pessoa. Essa sensação de bem-estar, é resultante da interação apropriada, entre a temperatura radiante média (T_m), a umidade relativa (U_r), a temperatura ambiente (T_a) e a velocidade relativa do ar (V_r), sem deixar de considerar a atividade realizada e as roupas utilizadas pela pessoa (Gobo, 2013).

A preocupação relacionada ao conforto térmico nos seres humanos, tem se tornado uma preocupação no sentido de qualidade de vida e saúde das pessoas que habitam as cidades. O conforto térmico tendo como referência o ser humano, possui fatores subjetivos relacionados à sensação, como também de fatores de ordem fisiológica, física e psicológica (Dumke, 2007).

Os fatores psicológicos ou subjetivos, possuem relações com as sensações que estímulos internos ou externos podem provocar no corpo humano. Esses estímulos geram reações e consequentes percepções. No caso da condição térmica, a mente tem a capacidade de sentir essa condição, classificando-a em situação de conforto ou desconforto térmico. Por isso a sensação térmica possui relação com o conceito de conforto térmico. Os fatores psicológicos, envolvem percepção e respostas a estímulos sensoriais diferenciados a depender do indivíduo, história e condição social (De Souza et al., 2013).

Já os fatores fisiológicos, dizem respeito a alterações fisiológicas do organismo como resposta resultante da exposição a uma condição térmica dada (Ikefuti, 2018).

Com relação aos fatores atmosféricos que influenciam o conforto térmico, estão as variáveis climáticas de temperatura, de umidade, da radiação solar e da velocidade do vento. Esses fatores influenciam as trocas de calor do corpo com o meio.

A variável da umidade do ar, cumpre a função de ponte de transferência de calor, entre o meio e o indivíduo através do processo de evapotranspiração, sendo o

suor da pele e a respiração processos fisiológicos responsáveis em contribuir para o equilíbrio térmico do corpo (Lima et al., 2019).

Outra variável física com influência na dimensão do conforto térmico, envolve a direção e intensidade do vento. Essa variável incide em processos relacionados ao transporte do calor e da umidade, bem como influencia a dispersão de poluentes (Lima et al., 2019).

A temperatura é a variável que representa a condição que mais influência no conforto térmico, porém não deve ser analisada isoladamente, e sim na combinação com as demais variáveis que resultam no conforto térmico. Condições de temperaturas semelhantes podem apresentar sensações diferentes pela variação dos demais elementos atmosféricos (Ikefuti, 2018).

O conforto térmico é estudado por diversas áreas do conhecimento, como pelas engenharias, pela arquitetura, pela saúde, além da geografia. Segundo Almeida (2017) não existe um padrão internacional que englobe as pesquisas sobre conforto térmico em humanos, em geral os recortes da pesquisa são em ambientes internos ou laborais, tendo as pesquisas em ambiente abertos um campo menos explorado ainda.

Na geografia estudos relacionados ao conforto e desconforto térmico em ambientes externos ganham destaque, principalmente relacionado ao fenômeno de ilha de calor nos centros urbanos (Lombardo, 1985; Dumke, 2017) e ainda devido ao aumento da temperatura global, provocado pelas alterações climáticas, desencadeando fenômenos de ondas de calor (Mateus, 2014).

Os estudos das consequências das ilhas de calor em ambientes urbanos têm ressaltado a problemática do desconforto térmico, uma vez que as reações ao frio e ao calor envolvem também questões de saúde pública, de rentabilidade do trabalho, de consumo de energia, de sociabilidade, enfim da qualidade de vida da sociedade. (De Souza et al., 2013, pág. 70).

O conforto térmico em diferentes ambientes abertos, podem ser influenciados pela morfologia urbana sob diferentes parâmetros, como a vegetação, as construções, o relevo, ou a localidade (Lima et al, 2019; Dumke, 2017). Cabe lembrar, que o recorte desta pesquisa ocorre em ambiente externo e em meio urbano, tendo, portanto, as condicionantes urbanísticas grande significância.

As condicionantes urbanísticas são resultantes da intervenção humana no espaço, afetando principalmente as formas e elementos construtivos. Incluem aspectos como a orientação das ruas (exposição solar, sombra e ventilação), a configuração do espaço urbano (ângulo de incidência solar, distância entre edifícios, altura), o fator de visão do céu (obstrução solar), a densidade da malha urbana (impacto energético e de ventilação), a porosidade (espaçamento entre edifícios, ventilação), a rugosidade (variação de alturas dos edifícios, bloqueio de ventos), a permeabilidade do solo (pavimentação), os materiais utilizados (propriedades térmicas), bem como a presença de obstáculos (Dumke, 2007; Schmitz, 2021).

De maneira resumida, podemos considerar que os estudos sobre o conforto térmico em ambientes abertos, englobam fatores objetivos relacionados a variáveis do meio em relação ao ser humano, ou seja, os ritmos de trocas de calor e umidade entre o meio e o corpo humano. Já na dimensão do conceito de sensação térmica, além dos fatores objetivos, temos fatores de ordem subjetiva, pois como verificado, a percepção e resposta metabólica variam de pessoa para pessoa, ou de contexto para contexto.

Os estudos sobre conforto e sensação térmica, podem contribuir principalmente para analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos para análises térmicas de um ambiente.

Quando em determinada situação, o ser humano sente um nível de desconforto térmico muito intenso, ocorre um processo de estresse térmico.

1.7 ESTRESSE E ÍNDICES TÉRMICOS

No dicionário, a palavra estresse refere-se a “exaustão física ou emocional geralmente causada em razão de algum sofrimento, doença, cansaço, pressão, trauma, sendo definida pela incapacidade de desenvolver suas funções ou trabalhos habituais” (ESTRESSE, 2024).

O estresse térmico representa uma situação de calor ou frio extremo, que agride o organismo, submetendo-o a mecanismos exaustivos de equilíbrio térmico. Essas situações atmosféricas, podem impactar o corpo humano, aumentando ou

diminuindo sua temperatura, e produzindo sensação de desconforto térmico a níveis de estresse psicofisiológico, que contribuem negativamente para a saúde (Masselot et al., 2023; Kjellstrom et al., 2016).

Um estudo conduzido por pesquisadores da Fiocruz (2021), alerta sobre o aumento potencial de riscos relacionados à saúde humana causada pelo estresse térmico. Esse estudo analisou o impacto da exposição acumulada ao estresse térmico em doenças cardiovasculares e respiratórias, especialmente em grupos mais vulneráveis, como gestantes, idosos e pessoas com comorbidades.

De maneira geral, o estresse térmico acontece quando há mudanças significativas da temperatura corporal devido ao aumento/diminuição do metabolismo, podendo ser influenciado pelas condições ambientais ou não.

Riscos e vulnerabilidades referentes a condições de estresse térmico, dependem de diversos fatores. Entre esses fatores, é possível verificar na dimensão laboral ou esportiva maior vulnerabilidade, pois logicamente em situações atmosféricas passíveis de calor ou frio extremo, a depender da atividade, o aumento do esforço físico pode potencializar as condições de estresse térmico.

Atividades físicas intensas, realizadas em ambiente com alta temperatura e alta umidade, podem levar a uma elevação da temperatura corporal acima de 38 °C, e a consequente perda de líquidos, superior a 1 litro por hora através do suor, aumentando assim o risco de desidratação (Oliveira et al., 2020).

Pela lente clínica, o estresse térmico pode ser reconhecido por quatro condições distintas, que nem sempre estão relacionadas: câimbras musculares, desmaio, exaustão e insolação (Mateus, 2014). Esses distúrbios são frequentemente observados em atletas que praticam esportes em ambientes com temperaturas elevadas.

A insolação é considerada o problema mais grave, entre suas consequências, está a falha na regulação do sistema de controle da temperatura corporal, que pode representar danos permanentes a vários órgãos, especialmente aos rins, fígado e ao coração (De Souza et al., 2013).

No Brasil, o impacto do estresse térmico por calor é tratado na legislação trabalhista como um dano, que se classificado como insalubre, corresponde a um

adicional no salário do trabalhador. Esse tema é abordado pela legislação que compõe a NR-15 (NR, 2018) que está em vigor desde 1978.

Como já enunciado, o aumento médio da temperatura global, juntamente com as alterações e frequências de eventos extremos, como as ondas de calor, tende a intensificar o estresse térmico, principalmente nas regiões tropicais, acarretando riscos de saúde substanciais e potencialmente fatais, para grande parcela da população.

Como observado, a vulnerabilidade ao estresse térmico é mais acentuada em indivíduos que realizam atividades ao ar livre, através de práticas esportivas ou laborais (com esforço físico), assim como também afeta de forma mais significativa, aqueles com capacidade limitada para manter a homeostase fisiológica, como indivíduos enfermos, recém-nascidos ou idosos. A associação direta entre extremos de calor, morbidade e mortalidade, estão bem estabelecidos (Masselot et al., 2023).

Definir os limites e delinear as zonas de conforto e desconforto térmico humano, bem como condições de estresse térmico, não são tarefas simples. Como já apontado, cada indivíduo é capaz de perceber e selecionar suas preferências, levando em conta experiências subjetivas, influências ambientais e climáticas, além dos fatores fisiológicos.

O estabelecimento de critérios para as estimativas de conforto térmico humano, datam do início do século XIX, onde na Europa surgiram movimentos que procuravam melhorar as condições de trabalho nas indústrias (Maia, 2002).

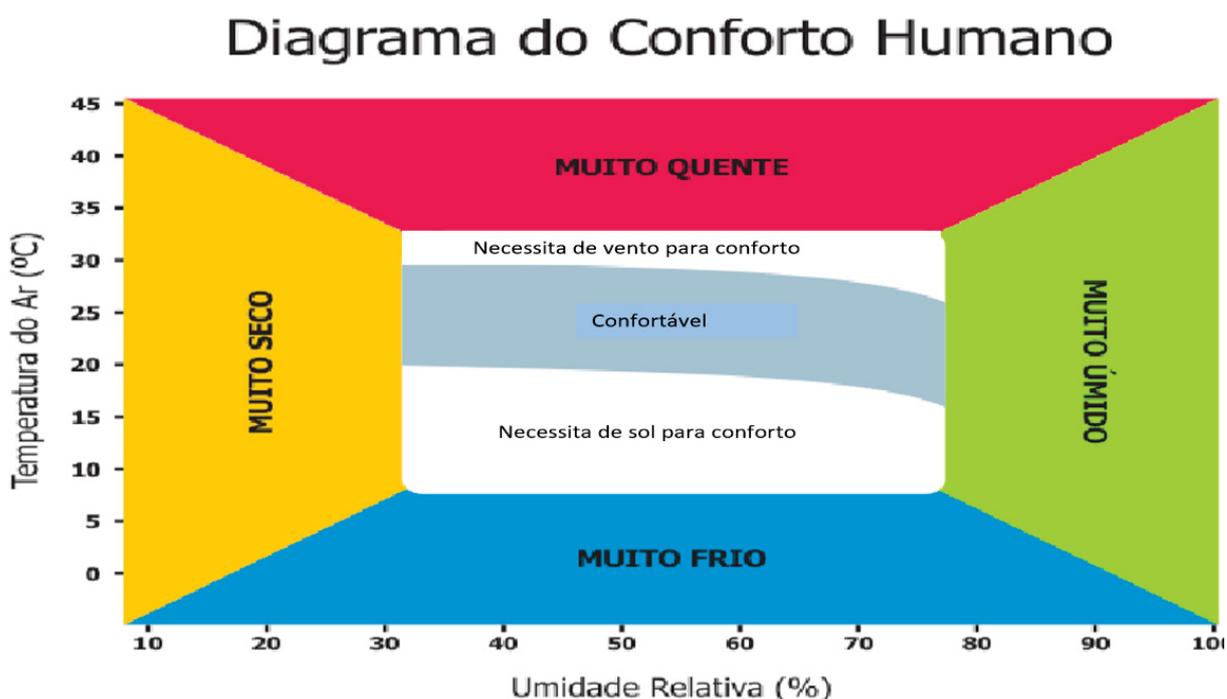
Para a dimensão do conforto térmico em ambientes abertos, diferentes metodologias foram criadas na construção de índices de conforto, índices de calor, e índices de sensação térmica, de acordo com a finalidade de aplicação em diferentes contextos. Essas metodologias envolvem combinações entre diferentes variáveis, que de maneira geral, como já colocado, levam em conta as variáveis atmosféricas da temperatura, da umidade e a direção do vento, além dos fatores ambientais e pessoais.

Os índices relacionados ao estresse térmico, são baseados nas metodologias aplicadas a categorizações de níveis e zonas de conforto térmico (De Souza et al., 2013).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) utiliza um diagrama (Figura 3) para facilitar a representação e aplicação na avaliação geral de conforto térmico.

Este diagrama considera o conforto humano em situações de muito quente a muito frio, bem como situações de muito úmido a muito seco, ocasionado por diferentes condições de conforto ou desconforto térmico para a população. Para essas representações, o diagrama leva em conta as variáveis de temperatura e umidade.

Figura 3 - Diagrama de conforto humano



Fonte: INMET

Uma outra forma de se avaliar as questões sobre conforto térmico é o Heat Index (índice de calor), elaborado pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA). O índice de calor, é uma medida para definir qual a intensidade do calor que uma pessoa sente em função da temperatura e da umidade do ar, ou ainda o efeito da umidade relativa sobre a temperatura aparente do ar. O valor desse índice, é calculado a partir de uma fórmula que considera essas duas variáveis (De Souza et al., 2013; Nobrega et al 2011; NOAA, 2024).

No gráfico a seguir (Figura 4), é possível observar uma representação gráfica que mostra, em gradações de cores, as relações entre as variáveis. A legenda² indica os níveis de alerta e consequências, relacionados as combinações

Figura 4 - Gráfico da relação entre temperatura (y) e umidade (x)

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	46	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	56	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Fonte: NOAA

O quadro 2 descreve os níveis de alerta e os sintomas relacionados com as combinações resultantes do índice de calor.

Quadro 2 - Níveis de alerta e suas consequências a saúde humana do IC

Nível de Alerta	Índice de Calor	Síndrome de Calor (sintomas)
Perigo extremo	54° C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54° C	Cãimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1° - 41° C	Possibilidade de cãimbras, esgotamento e insolação para exposições prologandas e atividade física.
Cautela	27,1 – 32° C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que 27° C	Não há problemas.

² Amarelo: cuidado (risco de cãimbras se exposto por muito tempo) - Dourado: cuidado extremo (cãimbras e exaustão por calor são possíveis; insolação se exposto por muito tempo) - Laranja: perigo (cãimbras, exaustão e insolação muito prováveis) - Vermelho: perigo extremo (insolação iminente)

Fonte: NOAA

O estresse térmico também pode ser analisado com auxílio de índices. Para auxiliar nessa avaliação são utilizados índices térmicos baseados em critérios metodológicos que envolvem o cálculo de conforto e sensação térmica.

No Brasil o INMET divulga em seu site a sensação térmica para cada município brasileiro. Essa sensação é baseada no índice termoclimático universal UTCI, em inglês Universal Thermal Climate Index, e foi desenvolvido pela Comissão de Climatologia (CCI) da Organização Meteorológica Mundial (OMM). O cálculo da sensação térmica é formado pela combinação entre as variáveis meteorológicas e o modelo termofisiológico, podendo ser aplicado a todos os tipos de clima.

Como já demonstrado, as variáveis meteorológicas necessárias para o cálculo da sensação térmica são, a velocidade do vento, a umidade do ar e a temperatura do ar. Os diferentes valores do UTCI são classificados em termos de estresse térmico (calor ou frio). A Tabela 1 apresenta a rotulação das categorias de estresse térmico associado (calor ou frio).”

Tabela 1 - Temperatura equivalente do UTCI classificada em termos de stress térmico

UTCI (°C)	Classificação de Stress
Superior a +46	Stress por calor extremo
+38 a +46	Stress por calor muito elevado
+32 a +38	Stress por calor elevado
+26 a +32	Stress por calor moderado
+9 a +26	Sem stress térmico
0 a +9	Stress por frio ligeiro
0 a -13	Stress por frio moderado
+ -13 a -27	Stress por frio elevado
-27 a -40	Stress por frio muito elevado
-Inferior a -40	Stress por frio extremo

Fonte: INMET, 2023

É importante destacar que os valores visualizados no índice de estresse térmico (Tabela 1) estão relacionadas as condições de um indivíduo parado e sem

realização de grandes esforços. Outro fator de relevância é o tempo de exposição as condições de estresse térmico.

Índices térmicos, como os demonstrados, possuem a função de auxiliar e facilitar a avaliação de situações relacionadas ao conforto e a sensação térmica, diagnosticando condições de desconforto e estresse térmico. Além de serem facilmente aplicados, tem confiabilidade científica por pesquisas em diferentes contextos.

Os índices também são aplicados, com o intuito de estabelecer valores térmicos gerais, que determinem se as condições são confortáveis ou desconfortáveis para as pessoas, incluindo a categorização dos extremos. No entanto, as faixas de valores consideradas confortáveis, geralmente são baseadas em estatísticas médias, negligenciando, em muitos casos, os fatores subjetivos, sociais, culturais e econômicos que influenciam a experiência individual. Em outras palavras, o contexto muitas vezes é deixado de lado.

Existem índices térmicos, que buscam incluir os fatores envolvendo o contexto socioeconômico, mesmo a tarefa se tornando consideravelmente mais complexa. Torna-se evidente a importância de se reconhecer as desigualdades socioeconômicas na sociedade, e como os impactos climáticos afetam de forma diferenciada cada grupo social ou região da cidade (Sant 'Anna, 2008).

No caso dos deslocamentos ciclísticos, o tipo de uso da bicicleta, vai indicar o nível de vulnerabilidade e exposição aos impactos climáticos. Como já destacado, essa pesquisa procura dar destaque a condição de uso laboral e utilitário da bicicleta. Do mesmo modo, esse trabalho tem por objetivo geral, verificar as condições de estresse térmico em deslocamentos ciclísticos, utilizando uma bicicleta e um equipamento de coleta de dados atmosféricos de baixo custo.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este subcapítulo é dedicado a caracterizar a área de estudo em seus aspectos gerais, incluindo questões do planejamento e do clima urbano de Curitiba, além das condições envolvendo a ciclomobilidade. Essas características, foram relacionadas com as especificidades do trecho selecionado para o deslocamento das coletas de dados, nesse caso, o eixo estrutural sul, que envolve diferentes bairros e microclimas da cidade.

As coletas de dados climáticos realizados por transecto móvel nesta pesquisa, foram realizadas envolvendo deslocamentos ciclísticos no eixo estrutural sul de Curitiba, localizada no Estado do Paraná, na região sul do Brasil e posicionada ao sul do trópico de capricórnio, entre as latitudes de 25.5°S e longitude 49°W (IBGE, 2008). O trecho selecionado possui 10km de extensão.

Curitiba (Figura 5), encontra-se a aproximadamente a 935 metros de altitude em relação ao nível do mar, encontrando-se no primeiro planalto paranaense, sob território de atuação do clima tropical de Altitude, ou mesotérmico (Mendonça et al., 2007).

Figura 5 - Mapa de localização da Área de estudo, incluindo parte dos trajetos ciclísticos realizados



Fonte: Autor, 2023

É possível caracterizar a capital paranaense, como um clima subtropical úmido e urbano-regional específico, caracterizado por temperaturas geralmente mais altas do que nas áreas circundantes, devido à influência do processo urbano, relevo e à dinâmica atmosférica (Dumke, 2007).

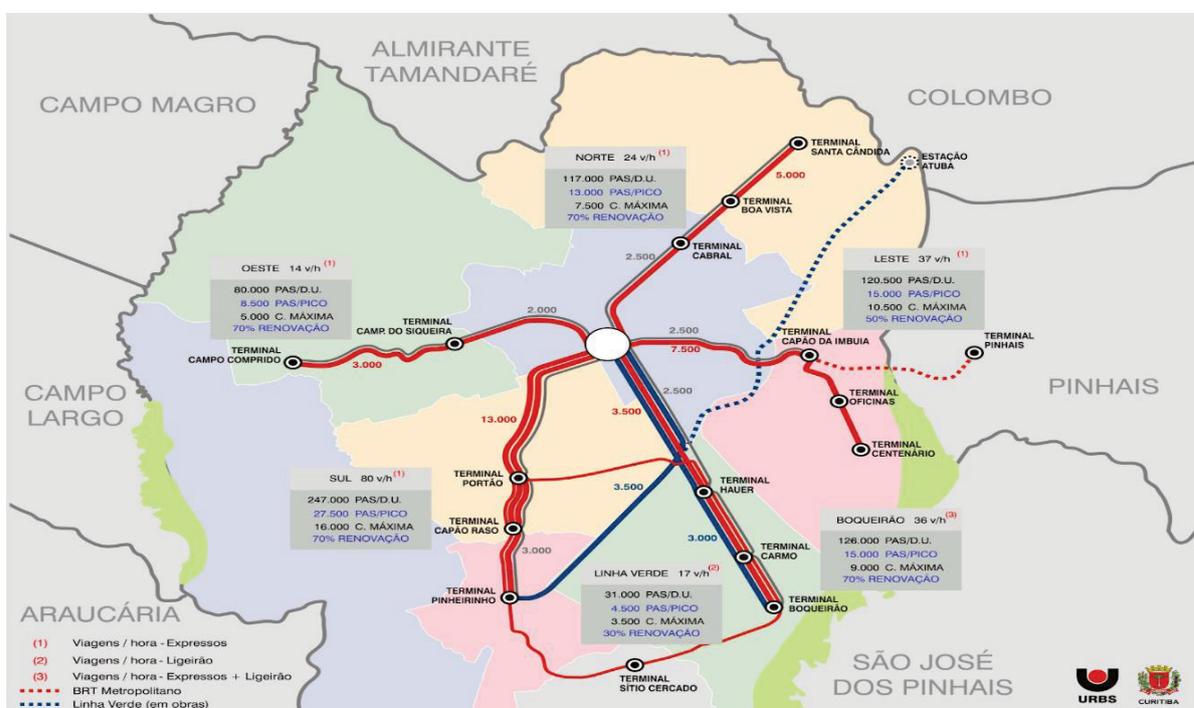
Durante o verão, a temperatura média mensal gira em torno de 20°C, enquanto no inverno as temperaturas podem atingir valores negativos, com média mensal em torno de 13°C (Mendonça et al., 2005; Krüger et al., 2015). Dumke (2002), destaca que essa condição de frio, gera de maneira significativa impactos de desconforto térmico ao longo do ano, com maior incidência na estação de inverno.

De maneira geral, as condições climáticas da cidade são marcadas pelo frio e pela umidade, com uma média de aproximadamente 1.600mm de chuva por ano, apresentando grande variação térmica, diária e anual, além da instabilidade frequente do tempo atmosférico (Mendonça, 2002). Curitiba ocupa uma superfície de 435,06 quilômetros quadrados (Km²), com uma população aproximada de 1.773.718

habitantes e densidade populacional de 4.027,04 habitantes por quilômetro quadrado (PLANCLIM, 2022; IBGE 2023).

O desenvolvimento urbano da cidade de Curitiba sofreu grandes mudanças a partir das décadas de 60 e 70, guiada pelo plano diretor, essa época marcou o início de uma remodelação no sistema viário. Esse novo sistema foi desenvolvido com base na criação de vias estruturais que contornam o centro da cidade. Conforme pode ser visto no mapa a seguir (Figura 6), foram estabelecidos cinco grandes eixos estruturais, os eixos norte e sul, os eixos leste e oeste, e o eixo Boqueirão. Os eixos estão destacados na cor vermelha.

Figura 6 - Mapa dos Eixos estruturais de Curitiba



Fonte: PMF, 2015

Essa pesquisa, como já anunciado, focou no eixo estrutural sul, que compreende as avenidas Winston Churchill, Republica Argentina e Sete de setembro, além de percorrer 9 bairros da cidade (Figura 7). Os bairros atravessados pelo trajeto são o Pinheirinho, Capão Raso, Novo Mundo, Portão, Vila Izabel, Batel, Centro e Rebouças.

Figura 7 - Bairros que fazem parte do eixo estrutural sul de Curitiba (Trajeto selecionado)



AB Trajeto selecionado envolvendo o eixo estrutural sul para as coletas de dados atmosféricos por transecto móvel.

Fonte: Autor, 2023

Essas vias estruturais adotaram o sistema trinário, composto por três grandes avenidas (Figura 8). No centro, há um corredor exclusivo para ônibus, popularmente conhecido como canaleta, cercado por duas vias de tráfego lento, operando em direções opostas: uma em direção ao centro e outra em direção ao bairro (PMF, 2015).

Figura 8 - Eixo estrutural a cidade de Curitiba



Fonte: PMF, 2015

A implementação desse sistema teve impactos significativos na paisagem urbana. Ao cortar a cidade, os eixos estruturais causaram mudanças profundas na configuração dos bairros e atividades relacionadas (Dumke, 2007).

Os eixos estruturais serviram como novos modeladores do espaço urbano, alterando e criando novas áreas de comércio, fluxos de pessoas e de trânsito (PMF, 2015). Na figura 9, é possível visualizar os eixos estruturais sul e oeste e a diferença na altura das edificações ao longo dessas vias em comparação com as áreas vizinhas.

Figura 9 - Imagem de verticalização de edifícios em eixos estruturais na cidade de Curitiba



Fonte: IPPUC, 2011

A figura 10, envolvendo o eixo estrutural leste fornece uma visão mais ampla da cidade e a influência que os eixos estruturais causam na paisagem, refletida na concentração de prédios de maiores altitudes.

Figura 10 - Imagem de verticalização de edifícios em eixos estruturais na cidade de Curitiba



Fonte: IPPUC, 2006

A paisagem urbana de Curitiba, moldada com a utilização dessa lógica, permaneceu como um dos princípios de seu planejamento, sendo recentemente replicada em outras localidades da cidade, como por exemplo a Linha Verde, que recentemente transformou a rodovia federal BR 116, num novo eixo metropolitano aos modelos do sistema trinário, impulsionando o desenvolvimento imobiliário e verticalização (Hardt et al., 2021).

O desenvolvimento dos eixos estruturais foi marcado pela concentração de comércio, residências de referência, transporte público da população, além da verticalização cada vez mais alta dos edifícios. Essa alta verticalização de edifícios, configura um novo perfil urbano, onde a topografia edificada e elevada exerce função de barreira de ventos, modificando seus fluxos e a circulação livre do ar, podendo limitar a dispersão da poluição atmosférica (Dumke, 2007).

A construção dos eixos estruturais tinha entre suas intenções, promover o uso do transporte público, reduzindo o uso de veículos particulares, assim como diminuindo os efeitos ambientais associados. Porém, o que se observa, é que essa configuração urbana de edificações altas e próximas umas das outras, contribuiu para a formação nesses eixos, de áreas com características dos chamados cânions urbanos, os quais por sua vez têm implicações negativas, especialmente em relação aos impactos microclimáticos (Mendonça et al., 2005; Castelhana, 2019; Hardt et al., 2021; Suga, 2005; Lemos et al., 2022).

Sob uma perspectiva morfológica, cânions urbanos são vias urbanas cercadas por edifícios altos em relação à largura da via, os quais estão próximos uns dos outros ou com intervalos estreitos entre eles (Oke, 1981).

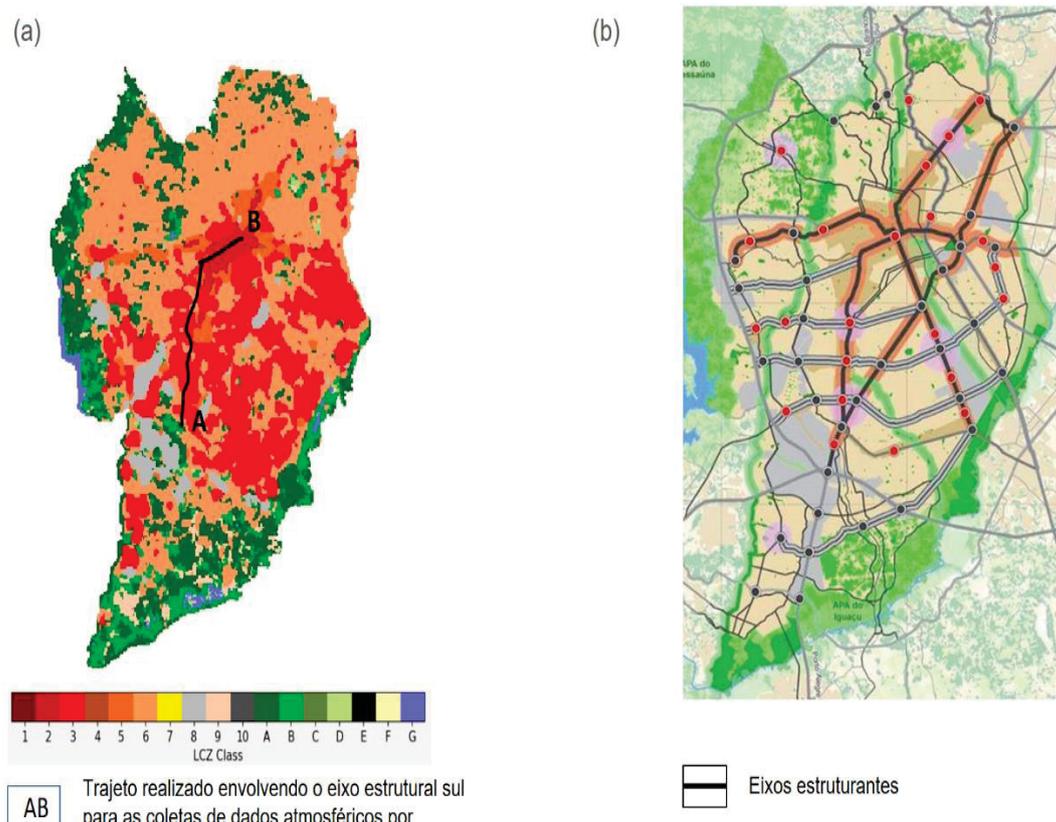
Com as informações apresentadas, é possível de uma maneira geral, relacionar alguns aspectos do clima de Curitiba com seu planejamento e estruturação urbana.

Segundo Schmitz et al., (2021), o planejamento urbano da cidade de Curitiba, através da implantação dos eixos estruturais e o do crescimento acentuado, além de verticalizado, permitido pelo zoneamento, teve como consequência impactos significativos na paisagem e no clima urbano da cidade, principalmente na dimensão do desconforto térmico.

A variabilidade climática das diferentes áreas de Curitiba, reflete uma estrutura caracterizada por eixos lineares verticalizados, bairros polinucleares com diferentes níveis populacionais e áreas verdes desigualmente distribuídas. Esses fatores contribuem para a formação de ilhas de calor (IC) nas áreas centrais e proximidades, e na configuração de temperaturas mais baixas nas regiões periféricas, assim como de maior amplitude térmica em relação a área central da cidade (Schmitz et al., 2021; Schmitz, 2021; Dumke, 2007).

Na figura 11, temos a cidade de Curitiba classificada em zonas climáticas locais (a). Cada zona local climática é definida com base em características geométricas, como proporção de céu visível, altura média das estruturas construídas, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento do solo, área permeável e impermeável. Além disso, são considerados atributos térmicos, radiativos e metabólicos, como inércia térmica, albedo e calor antropogênico emitido (Stewart et al., 2012; Ferreira et al., 2022)

Figura 11 - Mapa das zonas climáticas locais (LCZ) de Curitiba (a) e mapa dos eixos estruturais (b).



Fonte: (a) Anjos, 2024; (b) IPPUC, 2015.

Com base na figura 11, é possível perceber relações das características envolvendo a classificação de zonas climáticas (a) com os eixos estruturais da cidade de Curitiba (b). Na imagem (a), a classificação realizada através da metodologia local climate zone (LCZ), revela áreas próximas aos eixos estruturais com alta densidade construída, edifícios acima de dez andares, muita impermeabilização do solo, além de pouca ou nenhuma vegetação. Essas áreas mais densamente urbanizadas com as características citadas, são representadas pelas cores mais quentes da legenda (manchas vermelhas).

Curitiba soube investir em seu city-marketing, passando a imagem e sendo conhecida como uma cidade modelo a nível nacional e internacional. Seus gestores contribuíram, criando e promovendo símbolos como a capital ecológica ou de primeiro mundo, entretanto, a cidade apresenta graves problemas socioambientais (Mendonça, 2002; Oliveira, 2000b). Esses problemas socioambientais, incluindo os

ligados ao clima urbano, têm se acentuado nos últimos anos devido à dinâmica das mudanças climáticas e eventos extremos em diversas cidades ao redor do planeta.

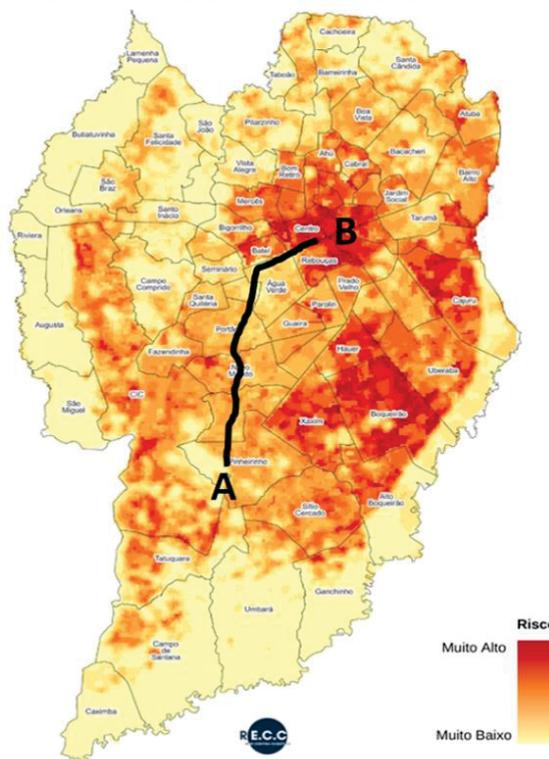
Curitiba já registra em média, um aumento de 1,2 °C na temperatura, comparado a seis décadas passadas. Alterações no regime de chuvas são observadas, com a ocorrência mais frequente de temporais intensos e fortes, assim como períodos de estiagens. Nestas situações, a população é impactada, seja por transtornos causados por enchentes e alagamentos, ou pela escassez de água e desconforto térmico (PANCLIMA, 2020).

Na dimensão do canal termodinâmico (Monteiro, 1976), envolvendo o conforto térmico e ondas de calor, a avaliação dos riscos climáticos para a cidade de Curitiba aponta o seguinte cenário:

O aumento das médias de temperatura, bem como dos extremos desta variável, aliado a uma série de fatores microclimáticos cria condições para a formação de ilhas de calor na cidade de Curitiba. Combinado ao processo de urbanização com possível tendência de supressão de vegetação nativa, conforme indicado pela modelagem da ocupação e uso de solo, há, portanto, aumento no grau de ameaça em algumas regiões (PANCLIMA, 2020).

Na figura 12 a seguir, é possível observar o cenário de riscos de ondas de calor para o ano de 2030 na cidade de Curitiba.

Figura 12 - Mapa de risco de ondas de calor em Curitiba para o ano 2030

RISCO DE ONDA DE CALOR - 2030

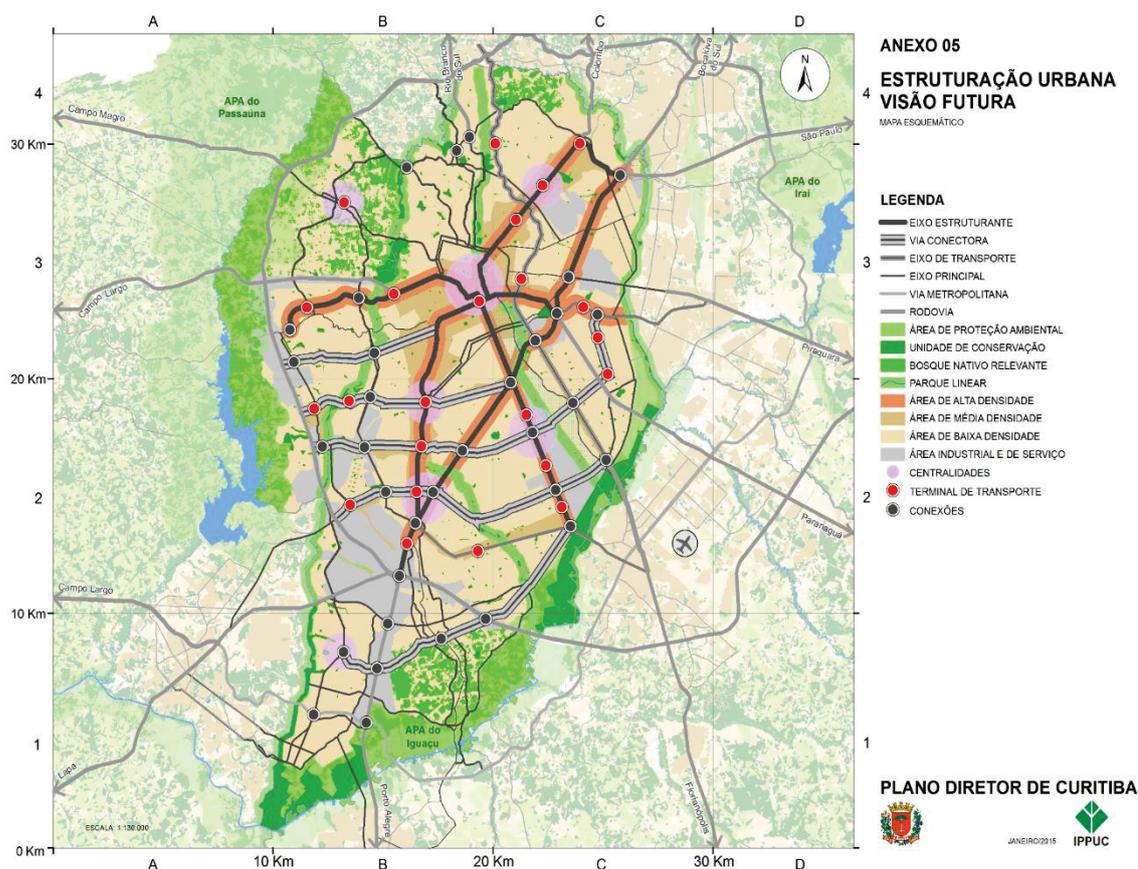
AB Trajeto selecionado envolvendo o eixo estrutural sul para as coletas de dados atmosféricos por transecto móvel.

Fonte: RECC, 2023, PARAGRAFO 2024

Na figura 12 anterior, é possível observar que existem pontos com variados índices de risco de calor. Alguns desses pontos, e com índices altos, se localizam próximos aos eixos estruturais

O plano climático de Curitiba traz um apontamento do planejamento urbano pensado em 2015, para o ano de 2050. Através do mapa (Figura 13) verifica-se a ampliação de áreas verdes como medida para aliviar os impactos das temperaturas elevadas e ondas de calor. Porém, conforme mostra a figura 31, os eixos estruturais carecem de áreas verdes. Essa visão futura, pelo contrário, prevê o adensamento das edificações nessas regiões.

Figura 13 - Mapa da visão futura do planejamento urbano de Curitiba



Fonte: Curitiba, 2020

As informações até aqui observadas, vão se relacionar com as questões de ciclomobilidade da cidade e com a escolha da área de estudo (trecho selecionado), pois como observado os eixos estruturais concentram e atraem fluxos de deslocamentos de boa parcela da população, incluindo os deslocamentos ciclísticos.

2.2 CICLOMOBILIDADE EM CURITIBA - PANORAMA GERAL

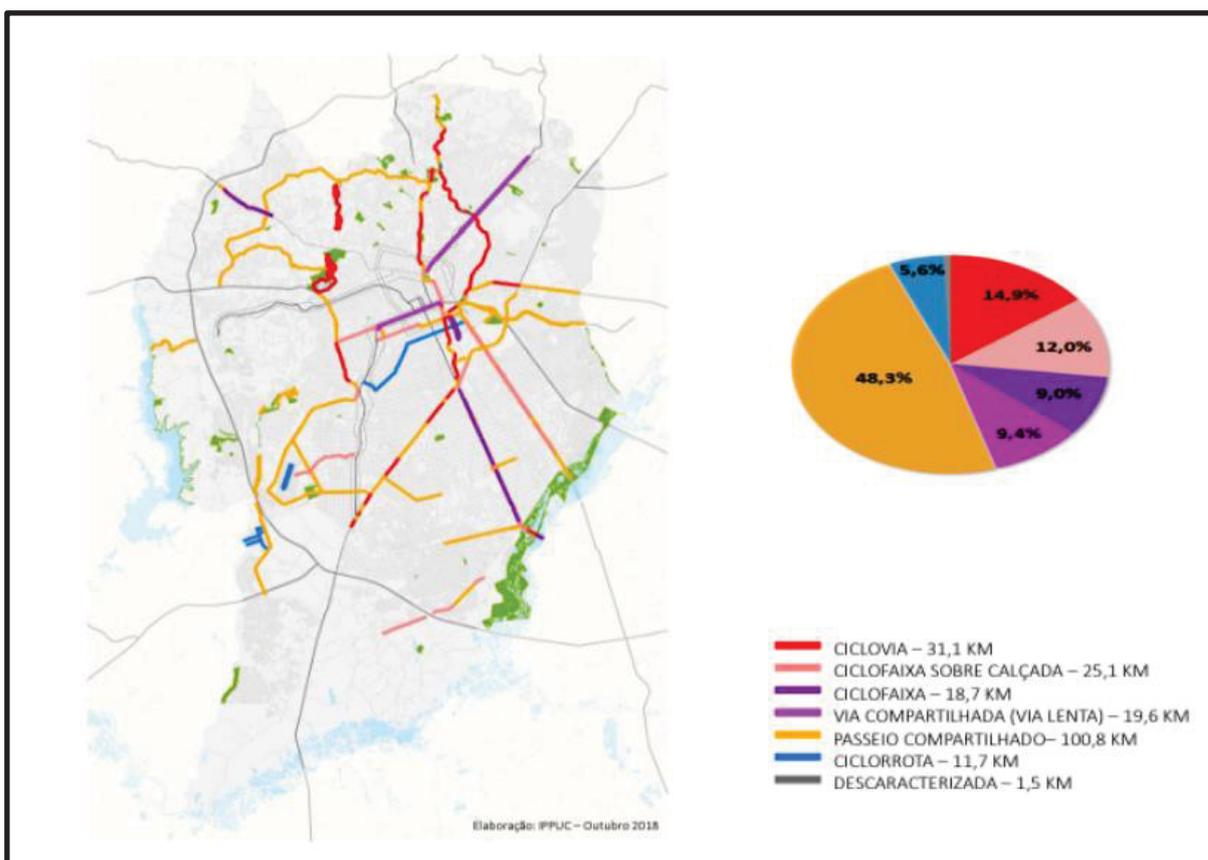
Esse item apresenta uma caracterização geral da ciclomobilidade em Curitiba, através de alguns números e mapas, destacando fatores relacionados à infraestrutura das vias exclusivas, principais fluxos de deslocamentos, além dos motivos do uso da bicicleta.

Quanto à infraestrutura de vias destinadas ao uso da bicicleta, Curitiba conta atualmente com uma malha cicloviária de 261,9 quilômetros, entre ciclovias,

ciclofaixas, ciclorrotas e vias compartilhadas. O início da construção das primeiras ciclovias consta de 1977 com 3 quilômetros iniciais (PMC, 2023).

A cidade de Curitiba possui um plano da estrutura ciclovária realizado em 2018 entre uma parceria do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2019) com a Superintendência de Trânsito (SETRAN). As imagens a seguir (Figura 14) representam a malha ciclovária de Curitiba e um gráfico de distribuição das tipologias de vias.

Figura 14 - Mapa da malha ciclovária de Curitiba e gráfico com distribuição de tipos de vias



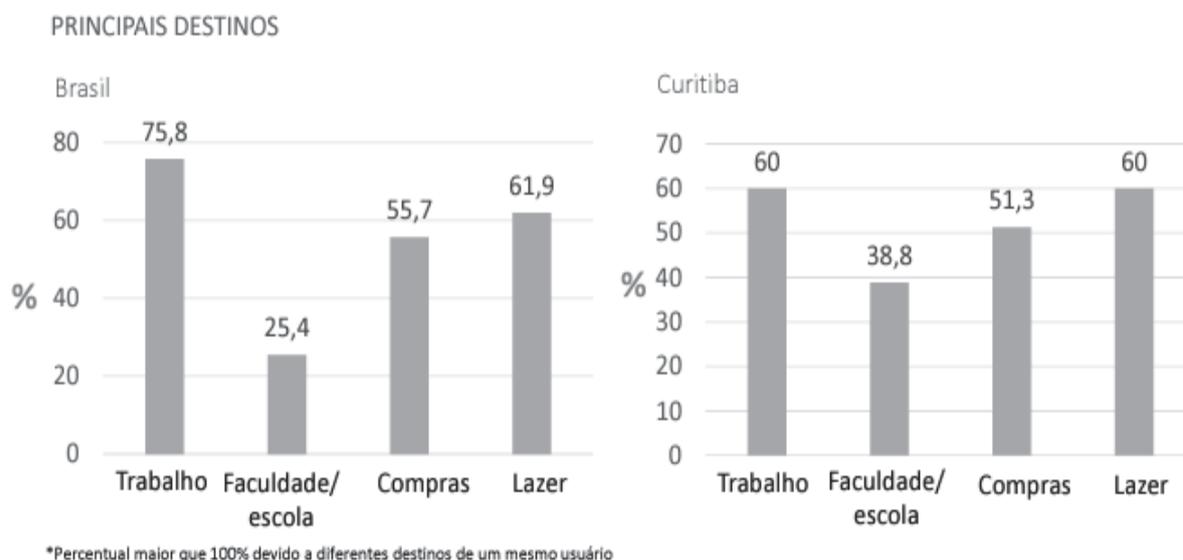
Fonte: IPPUC, 2019

O Plano de Estrutura Ciclovária de Curitiba, tem a meta de dotar a cidade de 408 km, até 2025 (PMC, 2023). Porém como é possível observar pela figura 14, a malha ciclovária apresenta muitas discontinuidades, poucas vias exclusivas e concentração na região central. Os bairros periféricos contam com poucas infraestruturas e como será observado sob piores condições.

Segundo Nichele (2021), o plano ciclovitário de Curitiba demonstra as intenções do poder público, que não vem valorizando os deslocamentos ciclísticos utilitários, promovendo a visão da bicicleta como algo ligado apenas ao lazer. Para a autora o plano favorece as classes de mais poder, deixando de lado a construção de infraestruturas específicas para a bicicleta em bairros, escolas, postos de saúde, além de interligações com o transporte público.

Com relação aos motivos de uso da bicicleta na cidade de Curitiba, uma pesquisa realizada sobre o ano de 2018 (Lobo et al., 2020), revela que a maior parte dos deslocamentos, tem como destino o local de trabalho e de estudo, totalizando 78,6 por cento dos ciclistas curitibanos. Esses dados, ajuda a compreender melhor o perfil do ciclista em Curitiba. Nos gráficos (Figura 15) é possível observar a comparação entre os destinos dos deslocamentos de bicicleta a nível nacional e a cidade de Curitiba.

Figura 15 - Dados comparativos de destinos das viagens de bicicleta entre a escala nacional e Curitiba



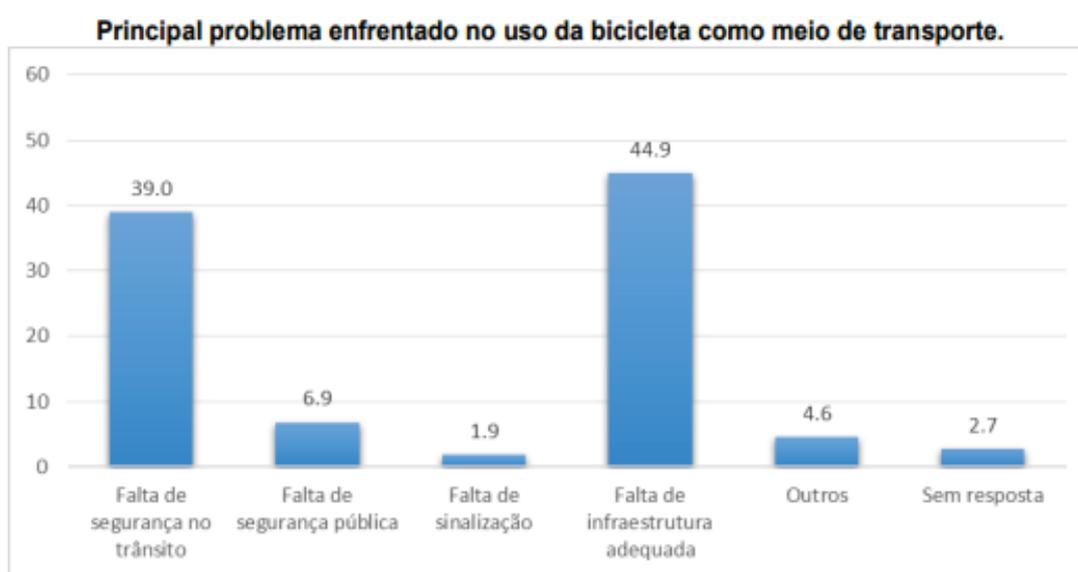
Fonte: Lobo et al. 2020

Pelo gráfico anterior (Figura 15) verifica-se, como já demonstrado anteriormente, uma percentagem significativa do uso da bicicleta como meio de

transporte para o trabalho, reforçando a necessidade de pesquisas que foquem na perspectiva laboral do seu uso.

Já no gráfico a seguir (Figura 16), são apresentados dados da Cidade de Curitiba com relação às principais dificuldades nos deslocamentos ciclísticos, sendo a falta de infraestrutura adequada, apontada como o principal fator limitante, indicando assim, que a bicicleta seria mais utilizada caso houvesse melhor infraestrutura e maior segurança no sistema cicloviário (Lobo et al., 2020).

Figura 16 - Dados comparativos de destinos das viagens de bicicleta entre a escala nacional e Curitiba



Fonte: LOBO et al., 2020

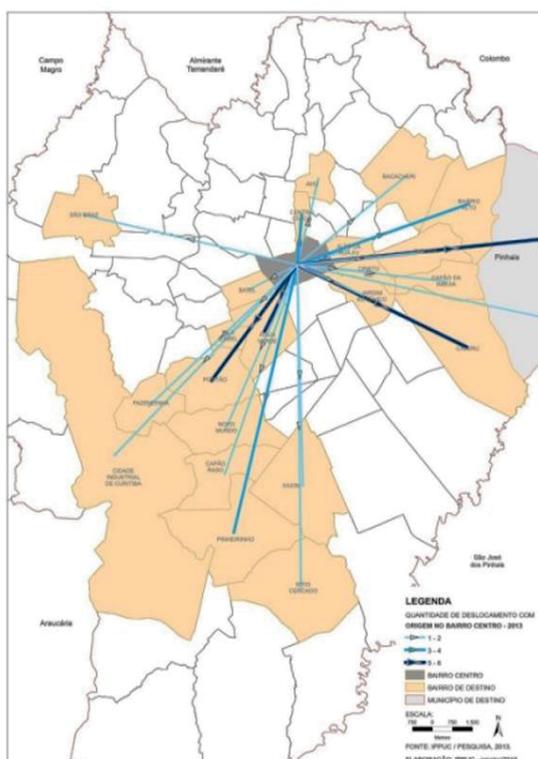
De acordo com Lobo et al. (2020), Curitiba registrou um aumento expressivo no número de novos ciclistas, superando a média nacional. A maioria dos usuários pedalam de 5 a 7 dias por semana, com tempos de viagem que variam em média de 10 a 30 minutos. Entre 30% e 60% usam a bicicleta para trabalho, compras e lazer, enquanto cerca de 39% a utilizam para ir à faculdade, taxa superior à média nacional. A pesquisa ainda revela que os principais motivos para o uso da bicicleta em Curitiba seriam a praticidade, a questão da saúde e uma maior viabilidade econômica (Lobo et al., 2020). Essa pesquisa desconsidera os cicloentregadores.

Esses resultados indicam uma crescente adesão ao uso da bicicleta como meio de transporte na cidade.

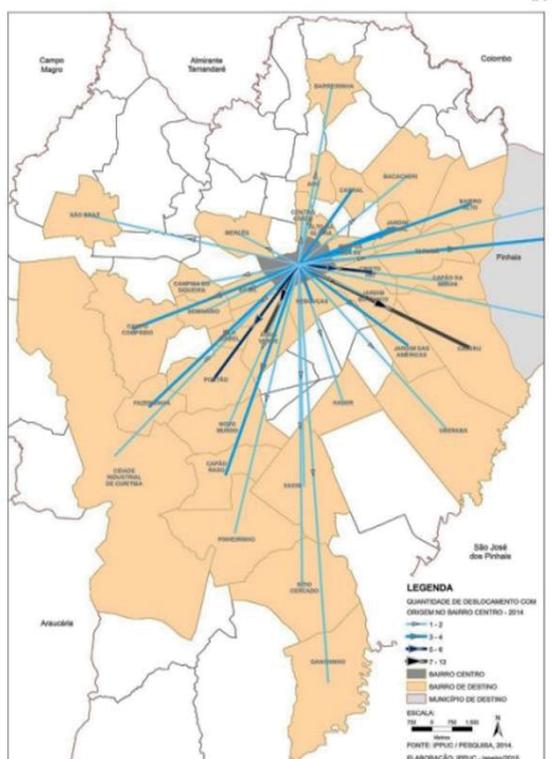
Quando se fala sobre os destinos e origens do ponto de vista geográfico, observa-se que grande parte dos deslocamentos de bicicleta ocorre dos bairros periféricos em direção à região central, e vice-versa (IPPUC, 2019). As figuras 17 e 18 ilustram os fluxos por meio de mapas que mostram os diferentes sentidos dos deslocamentos e seus destinos.

Figura 17 - Mapa de fluxo de deslocamentos - Origem

2013



2014



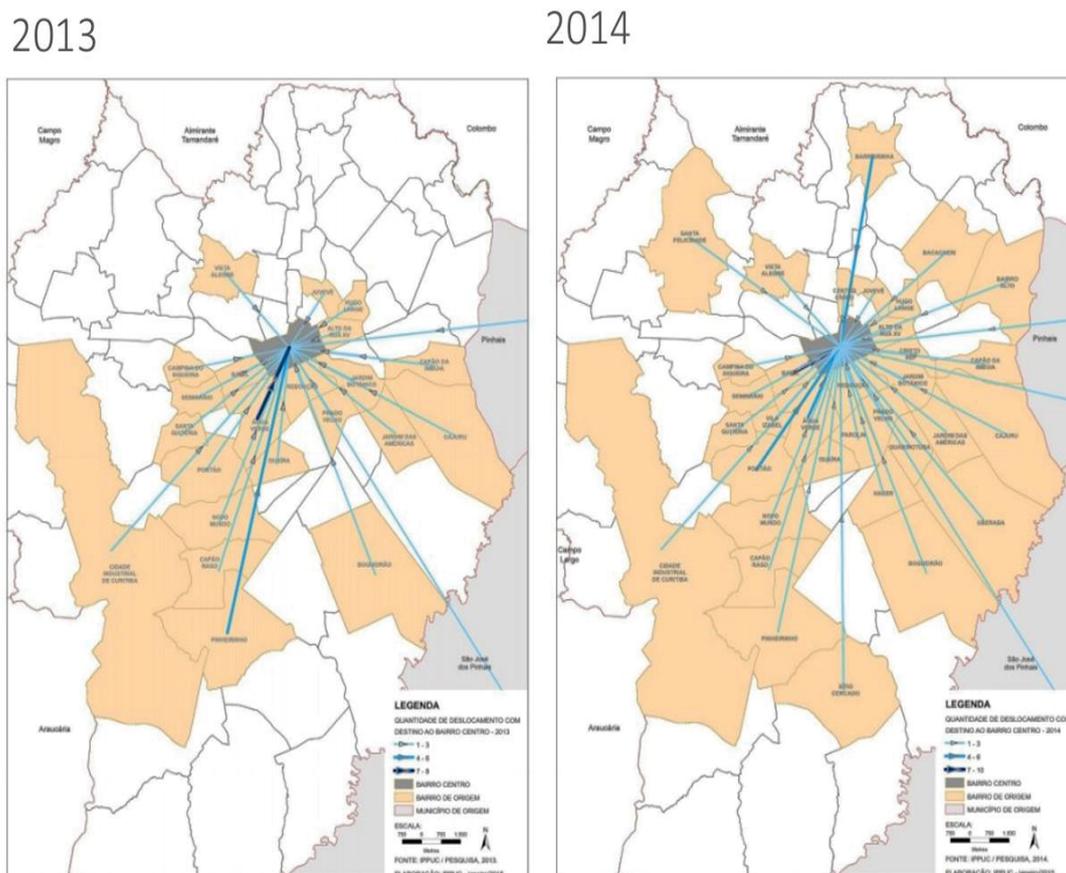
Fonte: IPPUC, 2019

Esses fluxos de deslocamentos foram feitos tendo como referência a Avenida Sete de Setembro, que compõe como já visto, o eixo estrutural sul. Pelo mapa anterior (Figura 17) verifica-se que acontecem grandes fluxos de viagens ciclistas da região central de Curitiba com direção aos bairros, principalmente os localizados na região sul-sudoeste, incluindo os bairros Cidade Industrial de Curitiba, Pinheiro, Capão Raso,

entre outros, além dos bairros da região leste-nordeste. Esses deslocamentos ocorrem grande medida, pelo eixo sul.

Já no mapa a seguir (Figura 18) verifica-se grandes fluxos de deslocamentos ciclísticos com destino a região central, partindo das regiões periféricas, novamente com grande fluxo da região sul, além de bairros da região sudeste.

Figura 18 - Mapa de fluxo de deslocamentos - Destino



Fonte: IPPUC, 2019

De acordo com o IPPUC (2019), na cidade de Curitiba os maiores fluxos de deslocamentos ciclísticos ocorrem próximos aos eixos estruturais do sistema viário.

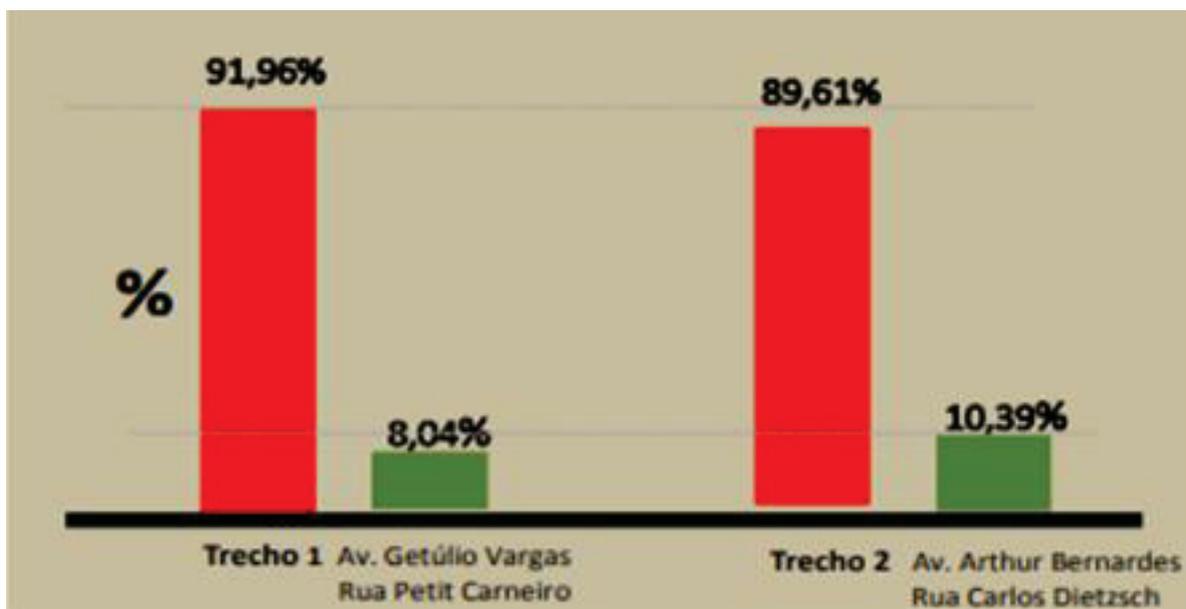
A contagem no volume de deslocamentos ciclísticos nas canaletas exclusivas para transporte público do eixo estrutural (Biarticulados), apresenta tráfego de bicicletas significativamente mais intenso do que nas vias lentas. A contagem de tráfego em ambos os tipos de canaletas é similar, o que sugere um potencial risco de

acidentes entre ônibus e bicicletas (IPPUC, 2019). Esse fluxo maior nas canaletas foi verificado durante a realização dos transectos móveis pelo autor dessa pesquisa.

Segundo normas e leis do município é “proibido pedalar nas canaletas e faixas exclusivas de ônibus” e ainda, “onde não houver o espaço, o ciclista deve usar a rua, com os carros” (PMC, 2024). Muitos ciclistas preferem se arriscar na canaleta, do que dividir o espaço diretamente com os carros, vindos pela parte traseira dos ciclistas. Por diversos motivos os deslocamentos dos bairros a região central ocorrem pelas canaletas, é preciso entender o papel do planejamento urbano e cicloviário nisso.

Conforme informações do IPPUC (2019), a Avenida Sete de Setembro é um dos principais eixos de deslocamento na cidade e atrai o fluxo de ciclistas de 54 bairros distintos. A figura 19 indica o fluxo médio de bicicletas no eixo estrutural sul, dividindo-se entre a canaleta (via exclusiva do ônibus) na cor vermelha e a via calma na cor verde. A contagem das bicicletas ocorreu no mesmo horário e em dois trechos distintos.

Figura 19 - Fluxo médio de bicicletas em canaletas e vias lentas da Av. República Argentina



Fonte: IPPUC, 2019

São significativos a função e o destaque que os eixos estruturais da cidade têm para o uso da bicicleta. Apesar da malha de cicloviária construída, a necessidade dos

deslocamentos não obedece às regras estabelecidas. Como já apresentado, muitos ciclistas por necessidade ou falta de acesso às ciclovias, utilizam as ruas e canaletas sem a segurança necessária. Várias vias da bicicleta são compartilhadas com pedestres, o que reduz a velocidade de deslocamento. Outro fator de não utilização das vias destinadas à bicicleta diz respeito a seu estado de conservação e manutenção. Desníveis, buracos, alagamentos, rachaduras, além de obstruções, são alguns problemas encontrados.

Podemos observar pelas imagens a seguir, algumas dessas condições (Figura 20). Nas imagens, dois exemplos de obstrução de vias. Essas vias fazem parte de trajetos que partem dos bairros até chegar aos eixos estruturais.

Figura 20 - Obstrução de vias compartilhadas entre ciclistas e pedestres. (a) Rua João Bettega. (b) Rua João Rodrigues Pinheiro



Fonte: Autor, 2023

Na figura 21, pode-se averiguar além de obstruções (b), buracos, desníveis, e descontinuações das vias. A imagem (a) possivelmente tem relação com mal planejamento e ação do clima, em dias de chuva a água vai acumulando e se

infiltrando por onde pode, criando em boa parte das ciclovias desníveis e buracos, que em dias de chuva alagam.

Figura 21 - Buracos e desníveis em vias compartilhadas



Fonte: Autor, 2023

Esses desníveis e buracos, causados sobretudo, por falta de planejamento e construção, se tornam problemas de efeito retardado das chuvas, pois mesmo após o evento de uma precipitação, a via pode apresentar diversos pontos de alagamento por um tempo prolongado. Esses problemas podem ser visualizados na figura 22 a seguir.

Figura 22 - Alagamentos e buracos nas vias compartilhadas



Fonte: Autor, 2023

A imagem (Figura 23) demonstra de um modo bem simbólico esse abandono das vias, com buracos e placas de sinalização caídas e antigas.

Figura 23 - Falta de manutenção nas vias compartilhadas para bicicleta bairro CIC



Fonte: Autor, 2023

As imagens vistas anteriormente revelam falta de manutenção e problemas relacionados, que se refletem por diversos pontos da malha cicloviària de Curitiba. Esses exemplos ajudam a entender, o porqué de muitos deslocamentos ciclísticos ocorrerem fora de vias destinadas à bicicleta. Além do que, como jà mencionado, boa parte das vias para a bicicleta, sào compartilhadas com pedestres, ou ainda estào concentradas em parques, distantes de boa parcela da população.

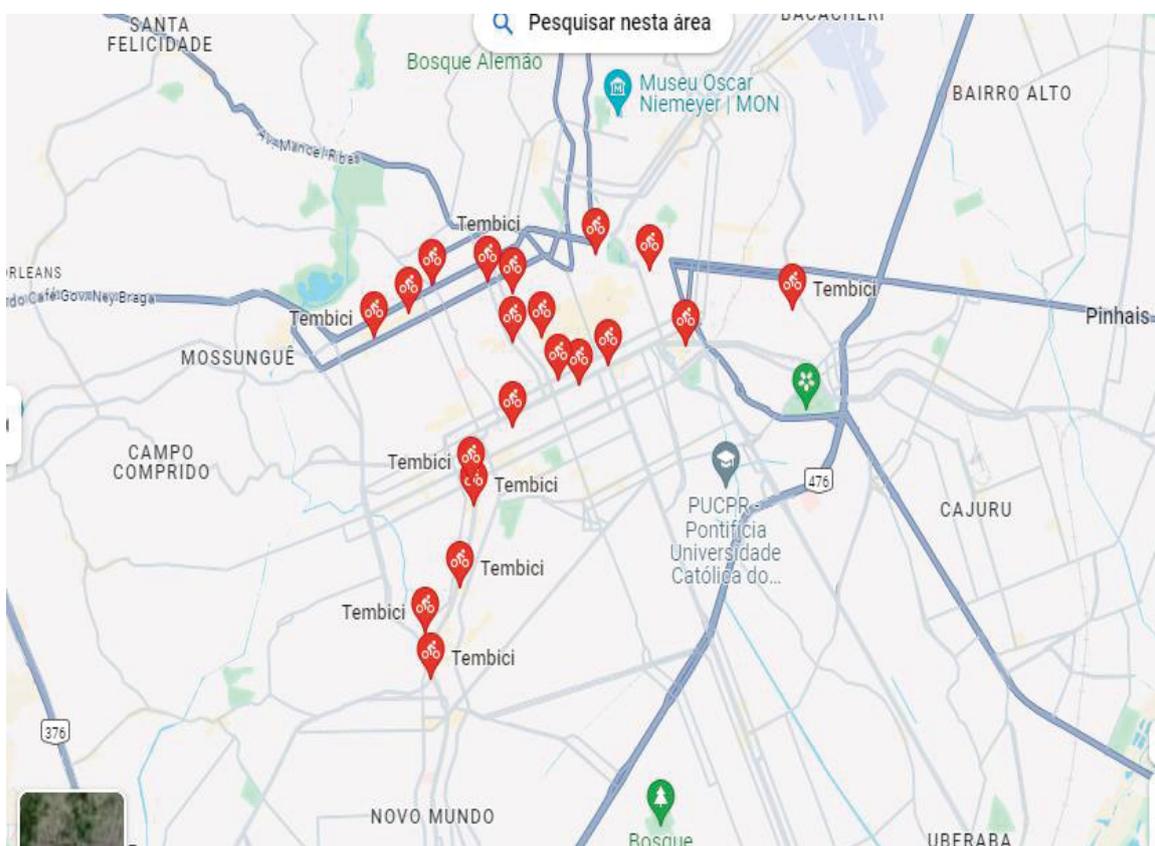
Dessa maneira, como alerta a matéria, o "Número de ciclistas cresce em Curitiba, mas infraestrutura segue precària: Ciclistas apontam que muitas ciclovias ainda interligam parques e sào voltadas ao lazer" (BRASIL DE FATO, 2017).

Como jà abordado, em relação aos eixos estruturais e mais especificamente ao eixo estrutural sul, apesar da construção das vias calmas destinadas à bicicleta, verifica-se ainda grande presençãa de ciclistas nas canaletas, colocando sobre esse eixo, maior pressào de fluxos de viagens (Ferraz et al., 2017).

A construção e ampliação da via calma, que é uma via compartilhada com carros e velocidade limitada por sinalização, soma-se ao fluxo das bicicletas nas canaletas, apesar da proibição da prefeitura e constantes acidentes ocorridos.

Em 2023 foram instaladas estações de bicicletas compartilhadas em uma parceria da prefeitura municipal de Curitiba (PMC) e a empresa Tembici, que hoje conta com 50 estações e o serviço já vinculado ao UBER (JORNALCOMUNICACAO, 2023; MASSANEWS, 2024). Na figura 24, é possível observar que boa parte das estações se encontra no eixo estrutural sul da cidade, fato que logicamente contribui num maior fluxo de deslocamentos próximos e nos eixos-estruturais, pelas canaletas ou pela via-calma.

Figura 24- Mapa das estações de bicicletas compartilhadas pela Tembici



Fonte: GoogleMaps, 26 mar. 2024

Essa distribuição arquitetada pela prefeitura e pela empresa parece ter desconsiderado todo o restante da malha cicloviária, concentrando suas estações de

bicicletas compartilhadas na região central e próximas ao eixo estrutural sul, onde tem um pouco mais de estações sentido bairro. Durante as coletas de dados realizados nessa pesquisa, foi possível perceber vários bike-entregadores utilizando essas bicicletas para a realização do serviço, o que leva a lógica, de que essas bicicletas têm por função atender ao mercado de ciclogística, desconsiderando outros fatores ligados a ciclomobilidade.

Uma questão que merece atenção e destaque é que a maioria das estações da empresa Tembici, foram instaladas ao ar livre sem nenhuma proteção para os equipamentos, nem para os usuários (Figura 25). A ação da chuva, do sol e da variabilidade térmica durante o dia podem trazer um desgaste antecipado e forçado das bicicletas.

Figura 25 - Estações de bicicletas da empresa Tembici ao longo do eixo estrutural sul. (a) Esquina Avenida Marechal Floriano Peixoto. (b) Shopping Água Verde



Fonte: Autor, 2024

O sistema de bicicletas compartilhadas da Tembici não foram as primeiras experiências de Curitiba nesse modelo. No ano de 2018 a capital recebeu o sistema de compartilhamento de bicicletas da empresa Yellow e dos patinetes da empresa Grin que posteriormente acabaram se fundido na empresa Grow. Diversos fatores

contribuíram para o encerramento da empresa em 2021, entre eles, problemas de vandalismo e o início da pandemia da Covid-19 (JORNALCOMUNICAÇÃO, 2023).

As diferenças entre o novo modelo incluem relações de preços mais acessíveis, fidelização de clientes com pacotes de uso mais baratos através do cartão de crédito, monitoramento das bicicletas por GPS além de propaganda nas estações de compartilhamento. Os equipamentos e infraestrutura, como as bicicletas e a estação de compartilhamento também se destacam em relação aos modelos anteriores (Yellow e Grow).

A empresa aposta alto no mercado da ciclogística, para os bike-entregadores é oferecido um plano mais acessível. No ano de 2021, o perfil ciclo entregador representava 21 por cento dos usuários totais da empresa, no Rio de Janeiro e São Paulo (INFOMONEY, 2021).

É preciso entender que independentemente da via utilizada, se a via calma ou a canaleta, a questões atmosférica e climática que impactam o deslocamento são as mesmas, pois são poucos metros que as separam. É nesse eixo estrutural, o eixo sul que foram realizadas as coletas de dados por transecto móvel.

O desenvolvimento da cidade de Curitiba tem em seus eixos estruturais uma forte relação, como pontes que ligam as regiões periféricas as regiões centrais, esses eixos atraem fluxos de deslocamentos e consequentes expansões de áreas comerciais e residenciais de alta edificação.

Entre esses fluxos, centenas de deslocamentos ciclísticos diários, atraídos pela falta de melhores trajetos, pois como visto, boa parte das ciclovias está concentrada na região central e parques. O planejamento cicloviário é assim deficitário nas regiões periféricas e induzido aos eixos estruturais pela criação de vias calmas e estações de aluguel de bicicletas compartilhadas.

Os eixos estruturais, a exemplo do eixo estrutural sul, apresentam características morfológicas semelhantes, que potencializam alguns impactos do clima, nesse caso presente, a condição de estresse térmico por calor.

Indica-se pelos resultados nessa pesquisa encontrados, que mais estudos sejam realizados nos demais eixos estruturais, referentes a demais condições meteorológicas, como o estresse pelo frio, além do estudo de outras variáveis que afetam os ciclistas, como o vento.

3. COLETA DE DADOS POR TRANSECTO MÓVEL UTILIZANDO A BICICLETA E O ARDUINO

“Adentrando a cidade para tomar-lhe a temperatura” (Monteiro, 1990a, p.1)

Este capítulo visa trazer informações a respeito da metodologia de coleta por transecto móvel, incluindo a utilização da bicicleta para o mesmo. Além da utilização da bicicleta para a coleta, esse capítulo, vai apresentar a tecnologia de prototipagem eletrônica, base para a montagem do equipamento de coleta de dados.

Pesquisas envolvendo o clima urbano, geralmente demandam a utilização de metodologias e formas de análise das variáveis climáticas, incluindo técnicas de leitura, coleta e registro das mesmas.

Para a geografia, os trabalhos de campo se tornam fundamentais, pois envolvem a caracterização da área de estudo, incluindo coleta de dados objetivos, além de observações e análises de ordens subjetivas.

Os dados ou variáveis coletadas em estudos que envolvem o clima e o tempo atmosférico, são, entre outros, a temperatura, a umidade, a pluviosidade e a radiação, por exemplo. É nessa etapa, da coleta de dados meteorológicos da área de estudo, que aparecem umas das primeiras problemáticas enfrentadas em pesquisas que envolvem o clima e a geografia (Galvani, 2019).

A coleta e a sistematização dos dados meteorológicos, permitem uma melhor compreensão das variações atmosféricas e climáticas de uma determinada área ou lugar, sendo necessário considerar as complexas relações entre diferentes escalas espaço-temporais. Os métodos utilizados para a coleta de dados, podem variar dependendo da escala e da finalidade do estudo, assim como os custos e operações.

De forma básica, a utilização de dados ou variáveis ambientais ligadas à dinâmica atmosférica pode ser dividida em dados primários ou secundários. Os dados primários seriam aqueles obtidos diretamente pelo pesquisador, já os dados secundários, aqueles lidos e registrados por outros, como empresas e instituições.

A importância da coleta de dados primários em estudos climatológicos é fundamental, dependendo da aplicação e do recorte espacial selecionado para o estudo de determinada área.

Em função da escala de estudo, os dados secundários são pertinentes, como no caso de um clima local ou regional. Porém como já observado anteriormente, a área urbana também envolve microclimas, sendo que a utilização de dados primários pode ser um fator relevante para a pesquisa.

Como abordado nas escalas do clima urbano, os microclimas apresentam condições particulares diversas em sua dinâmica atmosférica. Galvani (2019) comenta a situação onde normalmente uma estação meteorológica oficial não consegue representar essa diversidade,

“ou seja, àqueles dados da estação meteorológica oficial, no plano, com cobertura de grama, amplo horizonte... não conseguem expressar, fidedignamente, e essa nova condição indica a necessidade do pesquisador produzir seus próprios dados” (Galvani, 2019, p. 128).

Em se tratando da coleta de dados primários, as metodologias mais conhecidas, geralmente utilizam técnicas e equipamentos relacionados às estações meteorológicas fixas. Porém esses métodos, podem apresentar algumas limitações, como a dificuldade em se verificar uma grande área, pois como já verificado, o custo com a instalação e manutenção de inúmeras estações, seria alto e em muitas das vezes inviável para grupos acadêmicos de pesquisas (Araújo et al., 2011).

Uma outra forma de medição e coleta de dados climáticos, pode ser realizada de maneira móvel, ao longo de um trecho selecionado, sendo esse método, conhecido como transecto móvel (Santos, 2017; Araújo et al., 2011).

3.1 TRANSECTO MÓVEL

A metodologia envolvendo a leitura de variáveis atmosféricas em movimento, conhecido como transecto móvel, envolve a coleta de dados ao longo de um trajeto específico. Geralmente, essa coleta é realizada com o uso de veículos automotivos, bicicletas ou até mesmo a pé. Essa abordagem, permite uma avaliação contínua das variáveis ambientais ao longo do percurso selecionado (Valin, 2020).

Os dados coletados, geralmente são obtidos através da utilização de equipamentos e sensores específicos, muitos dos quais requerem abrigos para proteção, que ajudam a manter a consistência e qualidade dos dados.

Rajkovic et al., (2016) aponta que a metodologia envolvendo o transecto móvel, é indicada e tem potencial positivo de aplicação para as escalas urbanas. Dados provenientes de estações meteorológicas fixas ou de aeroportos podem não dar conta de cobrir pesquisas em microescalas, como os bairros, por exemplo. Da mesma maneira os dados provenientes de sensores orbitais, que nos fornecem variáveis físicas valiosas, podem apresentar algumas limitações relacionadas a resolução espacial, custo e tempo.

Como já mencionado, a instalação de pontos de coleta de dados climáticos fixos, pode ter um custo elevado, além de exigências de permissões e condições para instalação. Os equipamentos podem ficar vulneráveis a algum tipo de vandalismo, e não são rapidamente instalados para coletar a tempo dados de algum evento extremo, como uma onda de calor (Rajkovic et al., 2016).

No contexto urbano, a metodologia de medição de variáveis atmosféricas por meio de transectos móveis, aliado a outras metodologias, têm sido aplicadas com o intuito de analisar de que forma essas variáveis influenciam o meio urbano.

Entre outras aplicações, a coleta por transecto móvel é particularmente útil para estudar, por exemplo, as temperaturas em áreas de ilhas de calor, avaliar o conforto térmico, investigar a dispersão de poluentes e identificar padrões térmicos locais. Além disso, permitem compreender a variabilidade espacial da temperatura, explorar o comportamento do campo térmico e mapear as condições termo-higrométricas, fornecendo informações valiosas para lidar com questões relacionadas à poluição e ao clima urbano (Amorim et al., 2013; Kegler et al., 2016; Fialho, 2009; Santos, 2017; Lehnert et al., 2018; Rajkovic et al., 2016; Castelhana et al., 2021,2022; Writzl, 2022; Araújo et al., 2011).

Como em toda metodologia, o uso do transecto móvel em pesquisas de clima urbano, apresenta tanto potencialidades, quanto limitações. Fialho (2009) destaca diversas vantagens, incluindo o aumento do número de pontos de coleta dentro da área de estudo, o que agiliza o processo de monitoramento, e a capacidade dessa técnica de melhor descrever a heterogeneidade do meio urbano. Ele ressalta que as pesquisas móveis, oferecem alta resolução temporal de dados, são mais econômicas em comparação com a instalação de várias estações meteorológicas fixas e

dispensam a necessidade de calibração cruzada de sensores e dados de vários locais.

Lehnert et al., (2018) ressalta a relação sobre a abrangência e quantidade de pontos coletados, segundo esse autor, essa maior quantidade de dados coletados em deslocamento podem servir de base para técnicas cartográficas, gerando mapas de temperatura com zonas climáticas urbanas, por exemplo.

Cabe ressaltar, que o comprimento do transecto e a distância entre os pontos selecionados para amostragem/coleta, irão depender dos objetivos da pesquisa.

Quanto a padronizações metodológicas envolvendo o uso do transecto móvel em estudo sobre o clima urbano, Valin, (2020), identificou pouca clareza metodológica. Sua pesquisa envolveu um levantamento bibliográfico com recorte em pesquisas sobre o clima urbano no Brasil.

Uma das limitações da coleta de dados por transecto móvel, está na necessidade da repetição do percurso algumas vezes, com o intuito de aumentar a confiabilidade. Outra limitação refere-se a sua não recomendação para grandes distâncias, além de ter sua locomoção restrita apenas a estradas de rodagem no caso de automóveis. O uso de automóveis também apresenta limitações que influenciam o sensor de medição. O calor gerado pelo motor do carro e a proximidade de outros veículos podem afetar a precisão do sensor.

A dificuldade em se definir pontos representativos para coleta de dados na pesquisa, e a não mensuração simultânea dos elementos climáticos, também são apontados como fatores limitantes (Fialho, 2009).

Algumas recomendações são sugeridas, para a contribuição de uma melhor padronização envolvendo a coleta de dados atmosféricos em movimento, sendo possível elencar as seguintes:

- Quanto à altura de instalação do(s) sensor(es) para as coletas, recomenda-se o valor de 1,5 metros do chão (Amorim et al., 2021), ou ainda compreendido entre 1,25 a 2,00 metros acima do solo, com coletas sistemáticas, padronizadas no tempo, e uniformes, além de ser ininterruptas “(Santos, 2017).
- A velocidade de coleta em deslocamento sugerida é de 20 e 30 km/h quando realizada por automóveis ou motocicletas (Valin, 2020).

- Na questão sobre os horários de medições das variáveis atmosféricas a recomendação é seguir as orientações da Organização Meteorológica Mundial, sendo esses horários os seguintes, 00h, 12h e 18h GMT, devendo ser ajustadas de acordo com a localização (Valin, 2020). Logicamente, cada aplicação deve levar em conta seus objetivos e ajustar o horário de coleta para sua função.
- Ainda são destacadas questões referentes ao abrigo dos sensores, velocidade de coleta, e quantidade de dias e frequências. A coleta deve ser realizada em dias de condições meteorológicas favoráveis, com horários e trajetos predefinidos para garantir consistência nos resultados (Valin, 2020).

Na pesquisa realizada por Valin, (2020) dos 25 trabalhos analisados, 2 foram realizados a pé, 19 com carros, um com moto e 3 não descreveram a base utilizada. Os tipos de sensores utilizados foram variados (Valin, 2020). A velocidade de resposta do sensor utilizado para a coleta de dados, reflete na precisão envolvida na medição real do local. Quanto maior o tempo de resposta do sensor, maior sua precisão.

Embora Valin (2020) não tenha identificado pesquisas envolvendo o transecto móvel utilizando a bicicleta, a mesma já vem sendo utilizada para pesquisas relacionadas a coletas de dados por transecto móvel em diferentes aplicações (Castelhano et al., 2021,2022; Lehnert et al., 2018).

O uso da bicicleta apresenta diversas vantagens para estudos em áreas urbanas, incluindo metodologias como a coleta de dados atmosféricos e ambientais por meio de transectos móveis em diferentes regiões da cidade. Além disso, a bicicleta reflete a percepção daqueles que se deslocam ativamente pelo ambiente urbano.

É inegável o ganho de conhecimento atual proporcionado pelo avanço tecnológico, sobre as dinâmicas do tempo atmosférico e do clima. A velocidade aliada a capacidade de coleta e análise de dados, realizada pelos modernos sistemas de medições, envolvendo tecnologias eletrônicas e computacionais, são fundamentais para seguir ampliando os conhecimentos das diferentes escalas e processos envolvidos no clima.

Para Oliveira (2018), porém, diante da complexidade envolvida nas dimensões do clima, o culto à velocidade e quantidade, não podem ser exclusivas, pois dessa maneira, deixam-se de analisar alguns aspectos, ou ainda de usar diferentes abordagens. A busca pela velocidade e quantidade, por vezes, se sobrepõem ao de

outros sentidos, que poderiam ter relevância em se tratando de sistemas complexos como a da paisagem urbana em constante transformação.

Nesse sentido Miranda (2019) apud Nakamori (2015), apresenta algumas virtudes que a bicicleta tem comparada a outros meios de locomoção, e que seriam, o silêncio, a agilidade, o baixo custo de compra e de manutenção, assim como a variedade de usos, o baixo impacto no meio urbano, além da sensação do usuário ligada ao prazer pessoal. Outras características favoráveis da bicicleta incluem a eficiência energética, a baixa perturbação ambiental, flexibilidade, equidade, rapidez e menos necessidade de espaço público (BRASIL, 2007).

A utilização da bicicleta como uma ferramenta de estudo no meio urbano, tem potencialidades e merece ser melhor explorada. Segundo Oliveira (2018),

“O próprio uso da bicicleta na composição da paisagem urbana pode ser mais bem estudado em cima desse meio de transporte. A percepção de áreas em processo de transformação, as melhores alternativas viárias e as territorializações dos espaços feitas pelos próprios ciclistas – esportistas, cidadãos comuns, entregadores, vendedores de salgados e pães etc. – são um filão interessante e muito pouco trabalhado. Há ainda uma infinidade de surpresas no ambiente urbano a partir do ponto de vista do selim de uma bicicleta, como reconhecer passantes, escutar a vocalização de pássaros ou perceber detalhes da transformação da cidade (Oliveira, 2018, pág. 43).

Assim, a bicicleta oferece base de suporte e deslocamento para coleta e análise de dados objetivos, como por exemplo, das variáveis atmosféricas de temperatura e umidade, como também permitem análises de ordem subjetiva e qualitativa do ponto de vista do usuário. Oliveira (2018) destaca ainda, que o acesso ilimitado a dados secundários, tem deixado o pesquisador mais distante de uma possibilidade de obtenção da realidade. Assim, o uso da bicicleta como ferramenta para pesquisas, pode representar um estímulo para uma relação mais direta e sensorial com o meio que se estuda.

Foram identificados alguns exemplos de pesquisas que aplicaram transectos móveis com a bicicleta para estudos envolvendo o clima (Writzl et al., 2023). No quadro 3 é possível verificar algumas das principais pesquisas e características de cada trabalho.

Quadro 3 - Pesquisas sobre o clima urbano realizadas utilizando o transecto móvel de bicicleta

Table 2. Collection of main data from the 13 articles.

Author/Year	Country	Continent	Climate	Objectives	Seasons	Day/Period	Collection/Days	Methods in the Urban
Chow et al (2011)	USA	America	BWh	Cooler Island	Fall	Day	1 day	Envi-Met SVF 3D SkyView
Drach et al (2014)	Brazil	America	Am	Thermal Comfort	Summer	Day	16 days	SVF Envi-Met
Klemm et al (2015)	Netherlands	Europe	Cfb	Thermal Comfort	Summer	Day and Night	2 day	Many methods
Rajkovich et al (2016)	USA	America	Dfa	Temperature	Summer	Day	1 day	SVF
Nastos et al (2017)	Greece	Europe	Csa	Thermal Comfort	Summer	Day and Night	1 day	Envi-Met
Lenhert et al (2018)	USA	Europe	Cfb	Temperature	Fall, Summer and Winter	Day and Night	16 days	LCZ
Alonso et al (2020)	France	Europe	Cfb	Temperature	Summer	Day	4 days	Many methods
Emery et al (2021)	France	Europe	Cfb	Temperature	Spring and Summer	Night	33 days	LCZ
Kim et al (2022)	South Korea	Asia	Dwa	Thermal Comfort	Fall	Day	2 days	PET SKYEF
Writzl et al (2022)	Brazil	America	Cfa	Thermal Comfort	Summer	Day	1 day	SVF LCZ
Croce et al (2022)	Italy	Europe	Dfb	Heat Island	Spring	Day	60 days	Gateway LoRaWAN EDP
May et al (2023)	USA	America	Csc	Cooler Island	Summer and Fall	Day	90 days	Many methods
Viejira et al (2023)	Belgian	Europe	Cfb	Temperature	Summer	Night	2 days	Bodembedek Ekingskaart (BBK)

Fonte: WRITZL et al., 2023

Como é possível observar, a grande maioria dos trabalhos são internacionais, exceto por uma pesquisa realizada em Santa Catarina, relacionada ao conforto térmico e outra realizada no Rio de Janeiro, mas que não realizou coleta por transecto móvel, mas sim coletas em pontos fixos. Isso demonstra que existem poucas pesquisas relacionadas a essa metodologia de maneira geral, demandando pesquisas mais aprofundadas (Writzl, 2022; Writzl et al., 2023).

Embora existam poucas pesquisas, após 2021, houve um aumento considerável na produção de artigos que usam bicicletas para medições móveis, indicando uma possível mudança para maior aceitação e exploração dessa

metodologia. Esse crescimento sugere interesse potencial, para desenvolvimentos futuros em pesquisas relacionadas ao ambiente térmico urbano em escala global (Turba et al., 2024).

Cabe destacar que a nível nacional foram identificados nessa pesquisa presente, outros exemplos de pesquisas relacionadas ao uso do transecto móvel com a bicicleta para estudos do clima no Brasil, (Castelhana et al., 2021; Castelhana et al., 2022).

3.2 COLETA DE DADOS COM A TECNOLOGIA ARDUINO

A bicicleta utilizada nesta pesquisa, servirá igualmente como base para o equipamento de coleta de dados atmosférico. Como parte dos objetivos dessa pesquisa, utilizou-se a tecnologia arduino. Arduino é uma tecnologia de prototipagem eletrônica e seu desenvolvimento tem por base, a tecnologia open-source, isso quer dizer que, tanto o projeto da placa eletrônica como do firmware, podem ser usados e desenvolvidos livremente por outros fabricantes ou usuários.

A escolha em montar um equipamento de medição envolvendo a tecnologia arduino, possui relação com seu baixo custo, sua política open-source e sua fácil utilização, permitindo assim, uma diversidade de projetos e usos. Sua concepção está na ideia do “faça você mesmo”.

O projeto arduino surgiu em 2005, com a ideia de ser uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto e projetado para ser utilizado de maneira simples, por pessoas sem muita experiência em eletrônica ou programação. O projeto foi iniciado pelo italiano Massimo Banzi e pelo espanhol David Cuartielles, que se conheceram na Interaction Design Institute Ivrea³, na Itália.

A primeira versão do Arduino foi chamada de "Arduino NG" (Next Generation), apresentando um micro controlador ATmega168, uma porta USB para programação e comunicação com o computador, além de uma série de pinos de entrada/saída que permitem a conexão de sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos

³ Interaction Design Institute Ivrea foi um programa de pós-graduação na área de Design de Interação operando na cidade de Ivrea, no norte da Itália

(ARDUINO, 2023).

A popularização e relevância do arduino, devem-se em grande medida às características que tornam a plataforma um projeto open-source (código aberto). Um dos princípios fundamentais da tecnologia open source é a autonomia, ao permitir que os usuários acessem e modifiquem o código fonte, eles ganham mais controle sobre o software ou hardware utilizado, e podem personalizá-lo de acordo com suas necessidades específicas, além de realizarem contínuas melhoras (LAPTOP.ORG, 2023).

Essa forma de desenvolvimento colaborativo tem permitido a criação de diversas soluções tecnológicas inovadoras e acessíveis, possibilitando que pessoas e organizações de diversos lugares do mundo possam desenvolver e compartilhar soluções tecnológicas de forma democrática.

Entre essas soluções, são criados uma variedade de projetos, envolvendo por exemplo, robótica, automações residenciais e controladores de processos, além da relevância em projetos de monitoramento ambiental e atmosférico.

As tecnologias que envolvem o código aberto, tem sido um catalisador importante para a resolução de questões socioambientais em todo o mundo. A disponibilidade do código fonte e a capacidade de colaboração global têm permitido que indivíduos e organizações de todos os níveis possam criar tecnologias acessíveis e personalizáveis, que contribuem na análise de problemas ambientais complexos (Stallman, 2015).

Diversas melhorias, atualizações e novos modelos do arduino foram sendo lançadas desde sua primeira versão. A empresa arduino, fundada em 2009, é responsável pelo desenvolvimento e produção das placas eletrônicas, bem como pela organização da comunidade e dos eventos relacionados ao arduino em todo o mundo.

Como já mencionado, por ser um projeto de código aberto, outras empresas e até mesmo usuários comuns, podem criar e desenvolver produtos com características semelhantes, desenvolvendo por exemplo, suas próprias placas de prototipagem eletrônica para as mais diversas aplicações.

Entre alguns exemplos conhecidos de placas comerciais, está o Raspberry Pi que tem bastante aplicação em projetos de Internet das coisas, automação residencial e educação. Outra alternativa ao Arduino é ESP32, produzido por uma empresa

Chinesa, baseada no micro controlador ESP32 da Espressif Systems, e destaca-se por possuir preços menores no mercado (2023).

Como trazido anteriormente, o arduino é uma das plataformas de prototipagem eletrônica mais populares e amplamente utilizadas em todo o mundo, com milhões de usuários e projetos criados com a plataforma. O sucesso do arduino é um exemplo da importância da acessibilidade e da democratização da tecnologia, permitindo que pessoas de diferentes níveis de conhecimento possam criar e desenvolver projetos eletrônicos de forma rápida, fácil e acessível.

Com a crescente preocupação em relação às mudanças climáticas e à degradação ambiental, a utilização da tecnologia para o estudo e o monitoramento do meio ambiente tornou-se cada vez mais importante. Nesse contexto, a tecnologia arduino apresenta-se como uma plataforma de prototipagem eletrônica acessível e versátil, capaz de contribuir significativamente para o desenvolvimento de projetos voltados ao monitoramento ambiental.

Com o uso de sensores e módulos eletrônicos, é possível criar projetos para medir, monitorar e coletar, diversos parâmetros ambientais, como temperatura, umidade, qualidade do ar, luminosidade, nível de ruído, entre outros. Alguns exemplos de sensores encontrados no mercado para monitoramento de variáveis ambientais podem ser verificados a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Exemplos de tipos de sensores disponíveis no mercado para monitoramento ambiental e atmosférico.

Tipos de sensores	Variáveis lidas
DHT11/ DHT 22	Temperatura e umidade relativa do ar.
BMP180/ BMP280	Pressão atmosférica e temperatura
SDS011	Partículas finas (PM2.5 e PM10)
TSL2561	Luz ambiente.
GP2Y10: Sensor de poeira e fumaça.	Poeira e fumaça
BME280	Temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica
LM393	Chuva e umidade
-MQ-2/MQ-135	Qualidade do ar (monóxido de carbono, dióxido de carbono, amônia e benzeno, entre outros.

Fonte: Autor, 2023

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas utilizando o arduino e semelhantes, para coletar e monitorar variáveis atmosféricas/ambientais. É possível encontrar aplicações nas áreas da arquitetura, das engenharias, na meteorologia e na física (Moreira et al., 2013; Laskar, 2016; Consiglieri et al., Castelhana, 2020; Castelhana et al., 2022; Santos, 2017; Lima et al., 2019; Sanches et al., 2017). Na área da educação básica, seu uso também já é presente, pois alia a questão tecnológica e a questão interdisciplinar, fatores indicados pela BNCC (Mannrich et al., 2021).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os pressupostos teórico-metodológicos que embasam essa pesquisa, partem de trabalhos já elaborados na esfera da aquisição de dados primários realizados na Geografia. Para alcançar o objetivo de avaliar níveis de estresse térmico nos deslocamentos ciclísticos, primeiramente foi necessário montar através do método indutivo experimental, um equipamento automático de baixo custo, para realizar a coleta das variáveis atmosféricas de temperatura e umidade, além de sua instalação numa bicicleta para a realização dos transectos móveis.

A montagem do equipamento, envolveu testes, além de validação, utilizando como referência uma estação meteorológica automática oficial (INMET), através da correlação dos dados em escala horária. Após essas etapas, foram realizadas coletas de dados em transectos móveis no trajeto selecionado para a verificação de estresse térmico com base no índice utilizado pelo INMET.

As coletas por transecto móvel no trecho selecionado aconteceram entre os meses de setembro de 2023 a março de 2024, envolvendo as estações com temperaturas médias mais elevadas. O objetivo inicial era realizar igualmente coletas de dados, em períodos com sensações térmicas mais frias, o que não foi possível. As etapas anteriores contribuíram igualmente na caracterização da área de estudo relacionados a fatores do clima e da ciclomobilidade.

4.1 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO DE COLETA AUTOMÁTICA DE DADOS

Com base nas pesquisas bibliográficas em arduino e trabalhos relacionados a sua aplicação, foram selecionados os componentes iniciais para a montagem do equipamento (protótipo) para cumprir a função desejada.

Após a escolha dos componentes, foram realizadas pesquisas para avaliar preços e locais de compra dos mesmos. Os componentes escolhidos foram facilmente encontrados em diversos sites de venda na internet, sendo os melhores custos/benefícios ligados a sites importadores de países da região asiática. Foi verificado que existem lojas de eletrônica locais (Curitiba) que vendem os componentes. Assim, de modo geral, os componentes apresentam baixo custo e fácil

disponibilidade de compra.

A seguir, é apresentado a lista inicial de componentes comprados (Tabela 3) com preço e origem de compra, com valores em Real (R\$) no ano de 2023.

Tabela 3 - Componentes comprados para a construção do equipamento

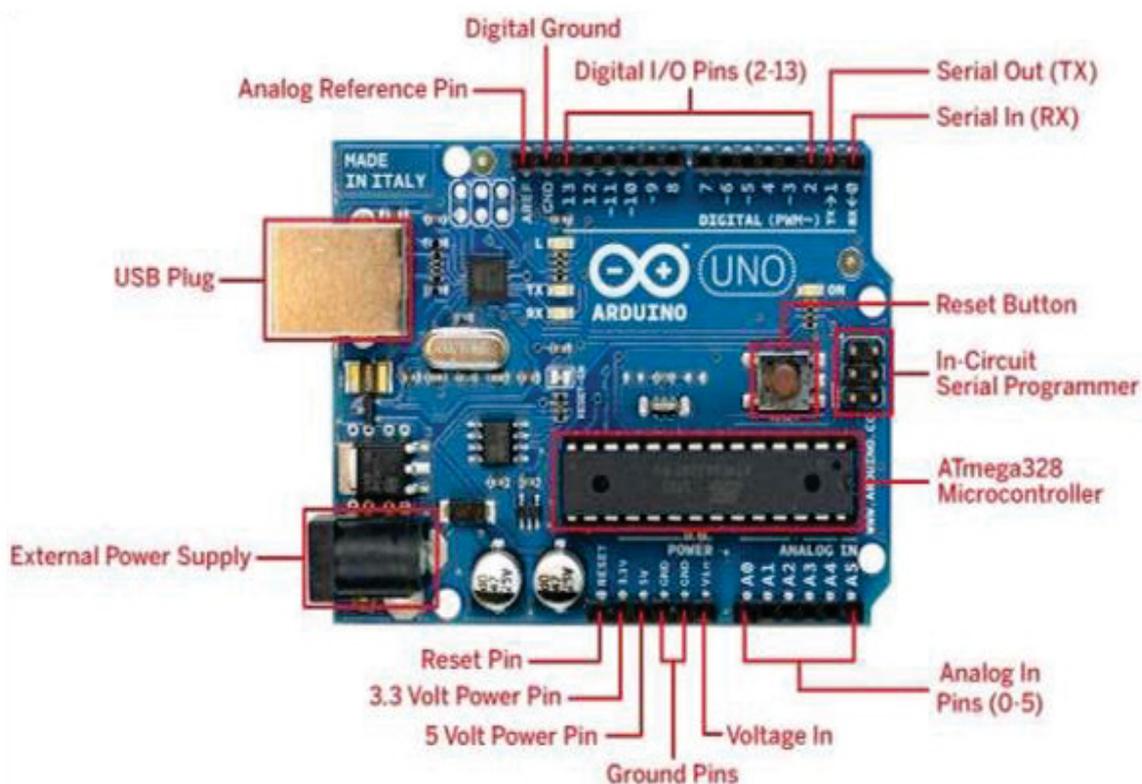
Componentes e materiais	Local-origem	R\$
Placa compatível Arduino Uno R3 + cabo USB + barra de pinos	E-commerce	51,90
Modulo GPS Ublox Gy gps6mv2	E-commerce	32,99
Sensor de temperatura e umidade DHT11	E-commerce	11,55
Display OLED 128x4	E-commerce	18,99
Modulo shield SD-CARD Arduino	E-commerce	5,99
Modulo Real-Clock	Eletrônica/Curitiba	11,00
Protoboard 400 furos	Eletrônica/Curitiba	8,90
Ferro de solda 30w	Eletrônica/Curitiba	38,35
Bateria recarregável Li 3,7v	Eletrônica/Curitiba	36,10
Jumpers x 40	Eletrônica/Curitiba	4,00
Shield módulo carregador Li	Eletrônica/Curitiba	8,55
Shield modulo conversor step-up	Eletrônica/Curitiba	18,95
Chave liga/desliga	Eletrônica/Curitiba	6,90
Plug P4 para alimentação	Eletrônica/Curitiba	6,90
Fio 0,20MM	Eletrônica/Curitiba	4,20
Total		254,27

Fonte: Autor (2022)

O componente principal é o microprocessador acoplado em uma placa de comando. Existem diferentes modelos da placa arduino disponíveis, cada uma apresentando recursos e especificações diferenciadas. Na pesquisa presente, a placa utilizada é a placa arduino uno (Figura 26), de desenvolvimento de código aberto e baseada no micro controlador ATmega328P da Atmel. Seu hardware, é composto além da placa microcontroladora, de entradas e saídas, tanto digitais, como analógicas, portas de comunicação serial, comunicação USB e sistema de alimentação (ARDUINO.CC).

A escolha desse modelo de placa tem relação com seu custo/benefício, além de ser a mais popular e indicada para projetos iniciais.

Figura 26 - Placa do arduino uno



Fonte: ARDUINO.CC, 2023

As principais especificações técnicas da placa arduino uno (Tabela 4) são as seguintes:

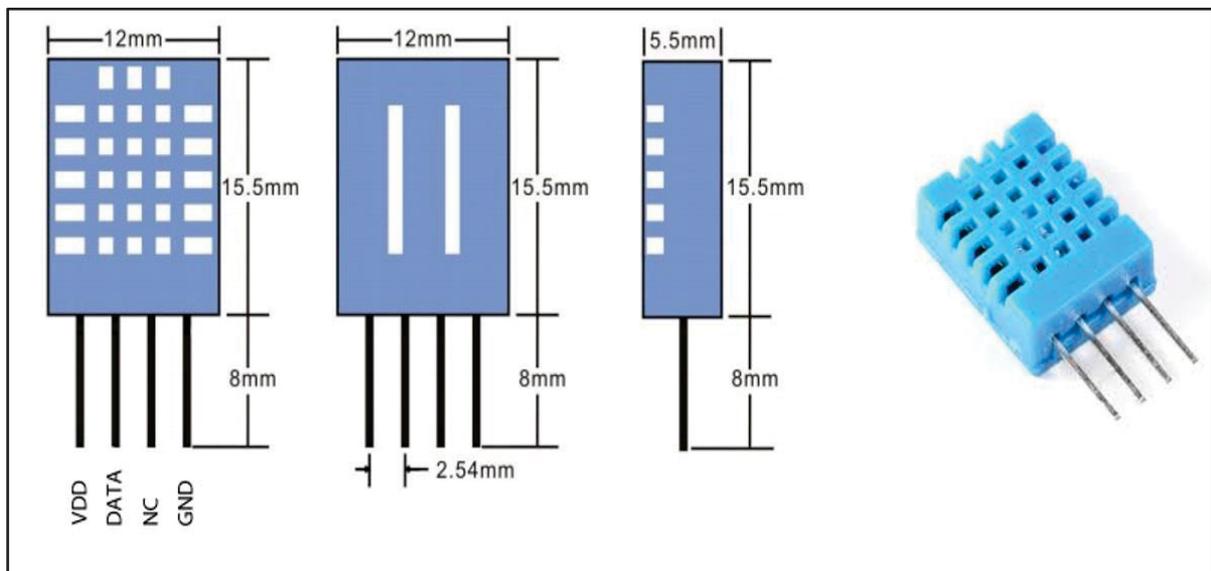
Tabela 4 - Características técnicas placa arduino uno

Microcontrolador	ATmega328P
Tensão de operação: 5V	5V
Tensão de entrada recomendada	7-12V
Tensão máxima de entrada	20V
Pinos de entrada/saída digitais:	14 dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM
Pinos de entrada analógica	6
Corrente máxima por pino de E/S	20 mA
Memória flash	32 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade do clock	16 MHz

Fonte: ARDUINO. CC, 2023.

Para a realização das coletas de dados, o componente principal envolve a escolha do sensor de medição. O sensor eletrônico DHT11 (Figura 27) foi igualmente escolhido para esse projeto pela questão de seu baixo custo, fácil localização e disponibilidade de projetos em que já foi utilizado.

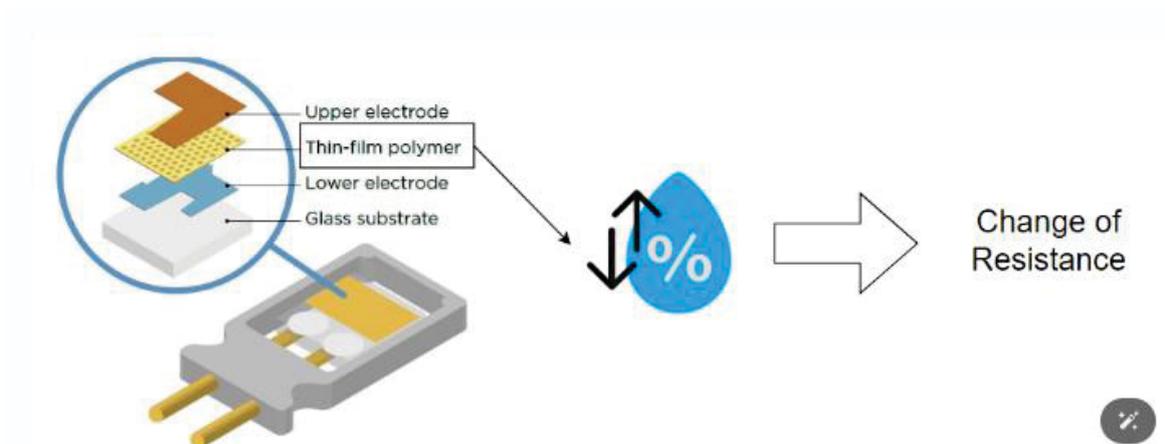
Figura 27 - Sensor de temperatura e umidade DHT11



Fonte: SUNROM, 2023

O DHT11 (Figura 28) é um sensor híbrido, utilizado para medição de temperatura e umidade, fabricado com um componente (termistor) resistivo de medição de umidade e um componente de medição de temperatura NTC (Negative Temperature Coefficient), ambos conectados a um microcontrolador de alta performance. O sensor apresenta, boa qualidade, leituras e respostas rápidas e capacidade anti-interferência (SUNROM, 2023).

Figura 28 - Características de funcionamento sensor DHT11



Fonte: MOUSER, 2023

Principais características do sensor DHT11 (Tabela 5):

Tabela 5 - Características técnicas DHT11

Alimentação	3 a 5 VDC
Faixa de medição de umidade	30 a 95%
Faixa de medição de temperatura	0 a 50°C
Precisão da medição de umidade	+ /- 5,0 %
Precisão de medição de temperatura	+/- 2.0C

Fonte: SUNROM, 2023

No quadro 4, mais algumas características relacionadas a performance das leituras realizadas pelo sensor. Conforme as especificações o tempo de resposta varia

entre 6s a 10s, com diferenças entre as variáveis lidas, e pode ser lido num intervalo de até dois segundos.

Quadro 4 - Performances de leitura das variáveis pelo sensor DHT11

Temperatura performance					
Parameter	Condition	min	type	max	Units
Range		-20		60	°C
Precision [1]	25°C		±2		°C
Repetition			±1		°C
Interchangeability		Completely Interchangeable			
Response time [2]	1/e(63%)		<10		S
Hysteresis			±0.3		°C
Drifting[3]	Typical		<±0.5		°C/year

Humidity performance					
Parameter	Condition	min	type	max	Units
Range		5		95	%RH
Precision [1]	25°C		±5		%RH
Repetition			±1		%RH
Interchangeability		Completely Interchangeable			
Response time [2]	1/e(63%)		<6		S
Hysteresis			±0.3		%RH
Drifting[3]	Typical		<±0.5		%RH/year

Fonte: MOUSER, 2023

Esse sensor é amplamente utilizado em projetos de automação residencial, sistemas de climatização, sistemas de irrigação, sistemas de monitoramento ambiental, entre outros. Seu funcionamento de maneira básica consiste de um resistor revestido de um material que absorve a umidade, sendo essa umidade e sua quantidade presente no ar, responsável por variar a resistência elétrica do resistor.

Para a medição da temperatura, o sensor utiliza um NTC (Negative Temperature Coefficient), um dispositivo que varia sua resistência elétrica, inversamente proporcional à temperatura do ambiente (ADAFRUIT, 2023). Esse sensor é controlado por um microcontrolador que realiza a leitura dos sinais de umidade e temperatura, convertendo-os em valores digitais que possam ser processados e utilizados em sistemas eletrônicos. A comunicação com o microcontrolador é feita por meio do protocolo digital single-wire (1-Wire), que permite a transmissão dos dados com apenas um fio.

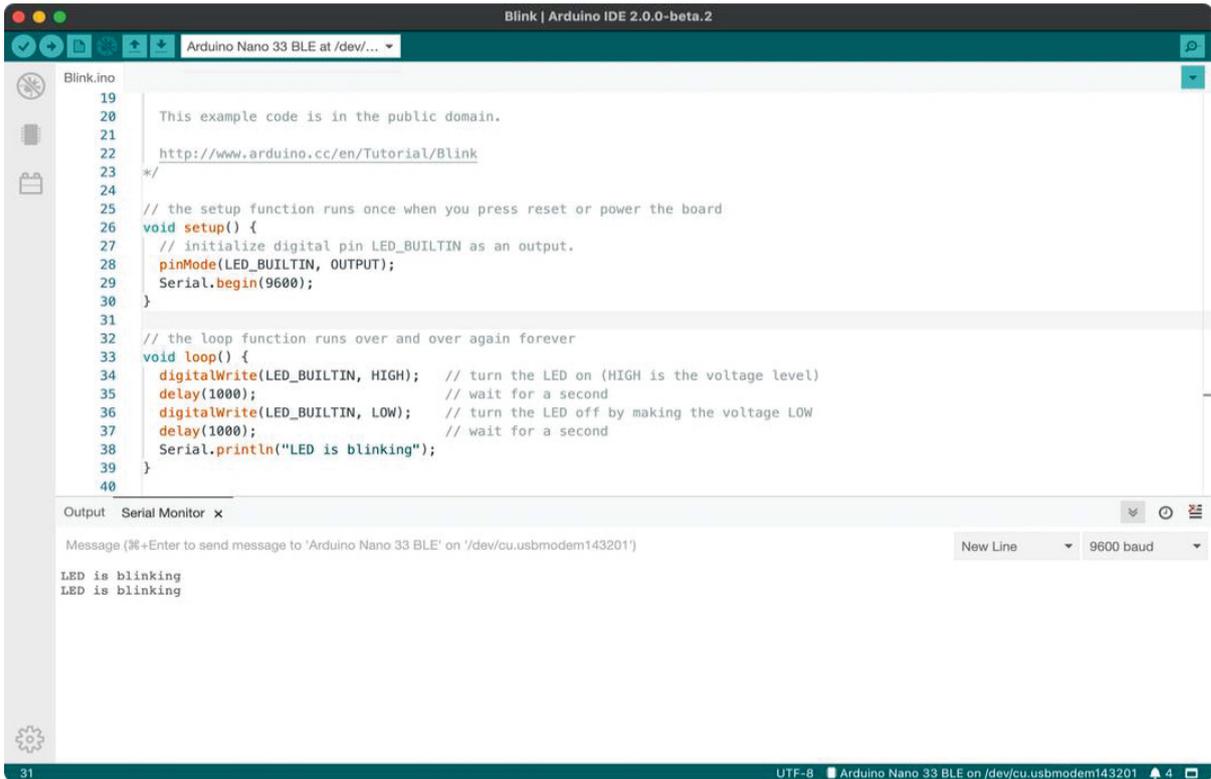
É importante deixar claro que o sensor DHT11 é projetado para fornecer leituras razoavelmente precisas e confiáveis, mas não é um dispositivo de laboratório de alta precisão. A depender da aplicação, é indicado que seus resultados sejam comparados e interpretados com outros equipamentos. Nessa pesquisa para além dos valores exatos medidos, também é significativo a questão da variabilidade entre diferentes áreas do deslocamento ciclístico.

Além do sensor e da placa uno, outros dispositivos eletrônicos foram necessários para a montagem do equipamento automático de coleta de dados. O módulo gps tem a função de coletar as coordenadas geográficas, enquanto os módulos real-clock junto ao módulo sd-card são os componentes que irão realizar a função do data logger. O display oled tem por função mostrar visualmente os valores que estão sendo lidos pelo equipamento. Os jumpers são fios elétricos flexíveis para realizar ligações entre os componentes, e a placa de protoboard serve como base para realizar a ligação entre todos os componentes com a placa arduino. A bateria de lítio de 3, 5v, junto com os módulos conversor step-up e o módulo carregador, terão a função de alimentar externamente o equipamento durante os transectos móveis.

Antes de iniciar a montagem dos componentes como um sistema de coleta automático de dados atmosféricos, foram realizados testes isolados dos mesmos para verificar seus funcionamentos individuais. Para isso, foi necessário realizar o download do programa IDE (Figura 29), plataforma de desenvolvimento integrado que permite escrever, compilar e carregar programas para a placa arduino.

O software do arduino inclui uma biblioteca padrão de funções, para o controle do hardware da placa, e através de uma comunidade de desenvolvedores, se criam bibliotecas e exemplos que ajudam os usuários a programar a plataforma. O código do arduino é escrito em linguagem baseada em C/C++ (ARDUINO, 2023).

Figura 29 - Ambiente do software IDE



Fonte: Autor (2022)

Após download concluído e software instalado, foi dado início aos testes de componentes. O software foi desenvolvido com a ideia de ser utilizado por qualquer pessoa, porém conhecimento em programação pode ajudar de maneira mais eficiente sua utilização. Os testes dos componentes de forma isolada e em conjunto, demandam a escrita de funções (programação) que desejamos no software IDE de acordo com a aplicação desejada.

Nos testes com os componentes, o módulo gps não funcionou como desejado. A solução adotada para registrar as coordenadas geográficas do transecto móvel foi a utilização de um aplicativo gps para celulares, BASIC AIR DATA, GPS LOGGER, 2023. O módulo oled não foi utilizado no sistema completo, pois exigia algumas mudanças de códigos no programa utilizado, e demandava energia extra da bateria, que foi adiado pelo tempo da pesquisa.

A programação utilizada, permitiu ao equipamento realizar automaticamente em tempo pré-estabelecido, medições das variáveis de temperatura e umidade,

através sensor DHT11, armazenando os dados coletados de forma organizada em arquivo.TXT (Tabela 6) no cartão de memória (sd-card).

Tabela 6 - Arquivo.txt com dados salvos no SD CARD

Date	Time	Temp °C	Umi
23/09/2023	15:44:30	30.80	44.00
23/09/2023	15:44:36	30.20	44.00
23/09/2023	15:44:43	30.20	44.00
23/09/2023	15:44:49	30.20	44.00
23/09/2023	15:44:55	30.20	44.00
23/09/2023	15:45:01	30.20	44.00
23/09/2023	15:45:07	30.20	44.00
23/09/2023	15:45:13	30.20	44.01

Organizado por: Autor (2023)

Nas pesquisas bibliográficas foram verificadas boa quantidade de materiais, fóruns e sites que trazem programas prontos para algumas aplicações e ajudam na escrita de outros. Foram realizados diversos testes para encontrar e rodar com sucesso algum programa para a aplicação desejada. A versão utilizada do programa foi retirada na internet (RANDOMNERDTUTORIALS, 2022) precisando ser modificada através da adição de algumas linhas de comando envolvendo a medição e registro da umidade, além da definição de tempo de leitura (ANEXO 1). Na tabela 7 a seguir, uma parte da programação para demonstrar sua estrutura.

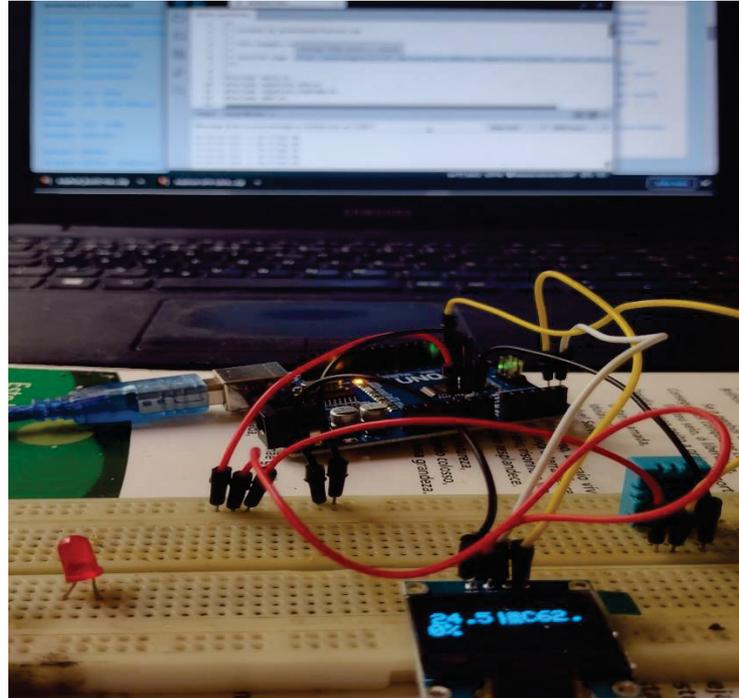
Tabela 7 - Parte das funções de código utilizadas no equipamento

```
#include <SD.h> // for the SD card
#include <DHT.h> // for the DHT sensor
#include <RTClib.h> // for the RTC
//define DHT pin
#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to
// uncomment whatever type you're using
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
```

Organizado: Autor, 2023

O programa com os códigos de comando completo se encontra no ANEXO 1 ao final do trabalho. Após a realização dos testes individuais dos componentes, iniciou-se a fase de testes com o equipamento ligado de forma completa, que consiste no sistema de coleta de dados automático (Figura 30).

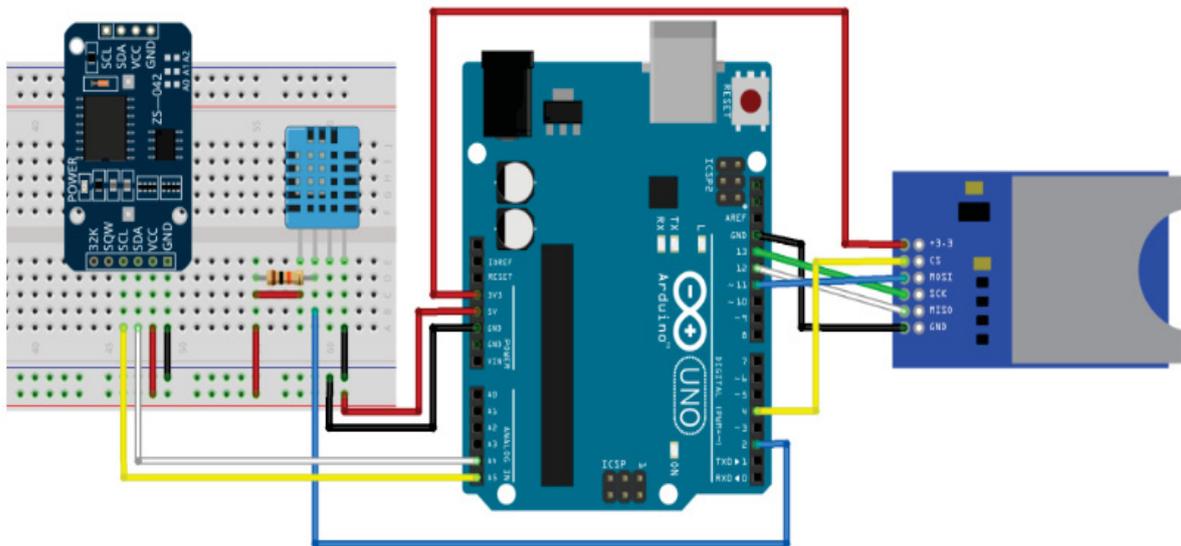
Figura 30 - Equipamento em montagem e testes



Fonte: Autor (2023)

O esquema de ligação elétrica entre os componentes do equipamento, pode ser visualizado pela figura 31. Posteriormente, esse equipamento foi ligado ao sistema de alimentação, tendo as conexões soldadas para evitar rompimentos durante as coletas.

Figura 31 - Diagrama esquemático de ligação do equipamento de coleta de dados



Fonte: Autor, 2024

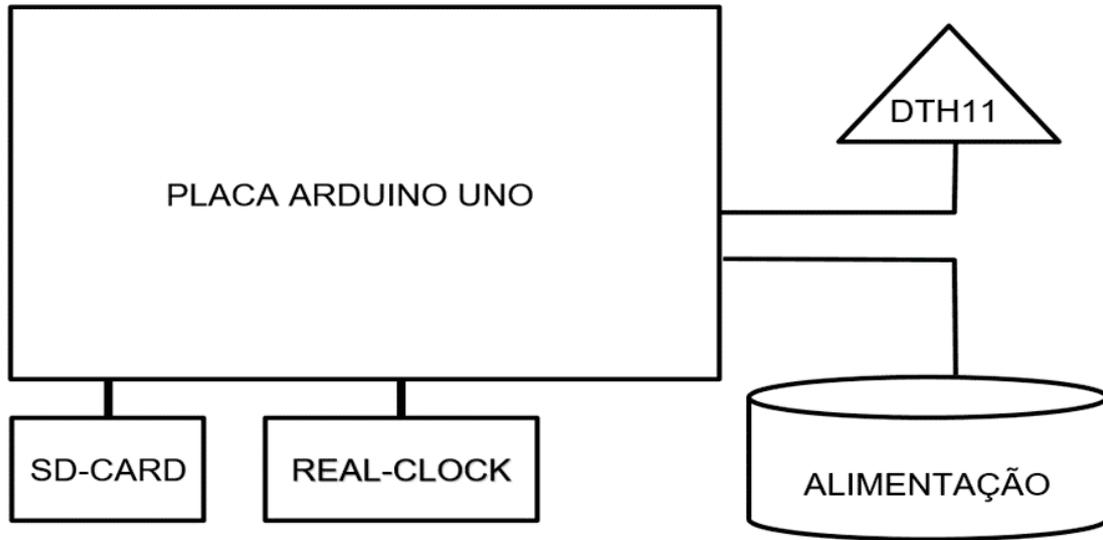
Os primeiros testes foram conduzidos em uma residência, alimentando o equipamento diretamente com computador através da entrada USB da placa Arduino. Os testes tiveram diferentes durações. Além disso, esses testes possibilitaram a visualização em tempo real do programa sendo executado e das medições sendo mostradas no ambiente do software IDE, em uma possível configuração do equipamento para leituras fixas por exemplo.

De forma geral, os testes iniciais apresentaram resultados eficientes, considerando fatores e funções básicas aplicadas ao equipamento. Destaca-se entre esses fatores, a facilidade de montagem e uso do equipamento. Igualmente, foram realizados testes com alimentação externa, através de um esquema elétrico que combina o uso de bateria recarregável.

A placa arduino não conta com alimentação acoplada, sendo necessário para a aplicação em transecto móvel, criar uma forma de alimentação portátil. Foram testadas algumas configurações, sendo escolhida a utilização de bateria de celular usada, que pode ser recarregada e dura em média 4h.

A figura 32, representa um fluxograma do diagrama esquemático geral do equipamento de coleta.

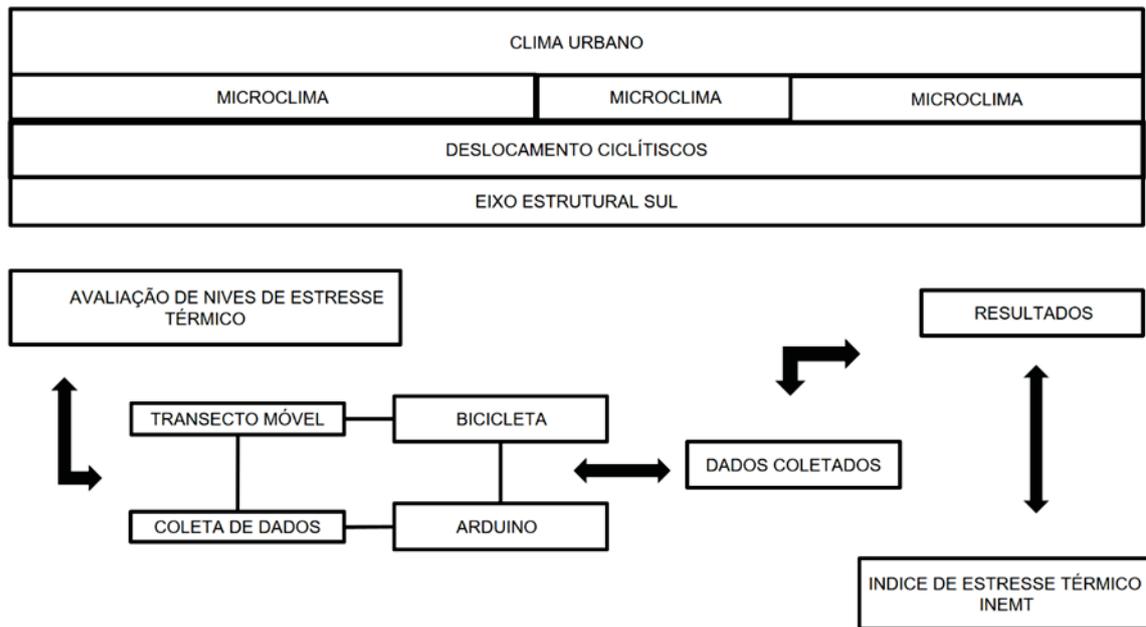
Figura 32 - Diagrama esquemático do equipamento



Elaboração: Autor (2022)

A figura 33 apresenta um fluxograma geral da metodologia.

Figura 33 - Fluxograma geral da metodologia da pesquisa



Fonte: Autor, 2023

A fim de realizar validação do equipamento, o mesmo foi instalado próximo a uma estação automática oficial da INMET, localizada dentro da Universidade Federal do Paraná, no bairro dos Jardins das Américas. Essa coleta em ponto fixo serviu tanto de base comparativa de dados, como também para calibração necessária do equipamento.

Após verificação dos dados coletados pelo arduino, foram realizados cálculos de coeficiente de correlação de Pearson para as séries coletadas no programa Excel.

A correlação de Pearson, consiste na medida estatística que avalia a relação linear entre duas variáveis quantitativas contínuas. Essa medida é calculada através de um coeficiente de correlação, que varia de -1 a +1, onde -1 indica uma correlação negativa perfeita (ou inversa), sendo que 0 indica ausência de correlação e +1 indica uma correlação positiva perfeita. O coeficiente de correlação de Pearson é obtido a partir da fórmula (a):

$$r = (\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})) / \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2]} \quad (1),$$

onde x_i e y_i são os valores das duas variáveis, \bar{x} e \bar{y} são as médias das variáveis, e Σ representa a soma.

Também foi realizado o cálculo da correlação de regressão linear, para avaliar a relação entre duas variáveis quantitativas contínuas, onde uma variável é considerada a variável independente (X) e a outra é a variável dependente (Y). Esse cálculo tem como objetivo encontrar uma linha reta que melhor represente a relação entre as duas variáveis, permitindo que se possa prever valores da variável dependente com base nos valores da variável independente.

O equipamento foi instalado e colocado em funcionamento no dia 09/02/23, junto a um dos abrigos da estação convencional oficial do INMET na Universidade Federal do Paraná na cidade de Curitiba (Figura 34). Durante 7 dias o equipamento realizou medições de minuto a minuto. O teste ocorreu de forma positiva, mas foi verificado que o ideal seria que os dados fossem lidos de hora em hora, que é a base da fonte de dados disponível da estação automática oficial da INMET.

Figura 34 - Foto do equipamento instalado próximo à estação oficial do INMET

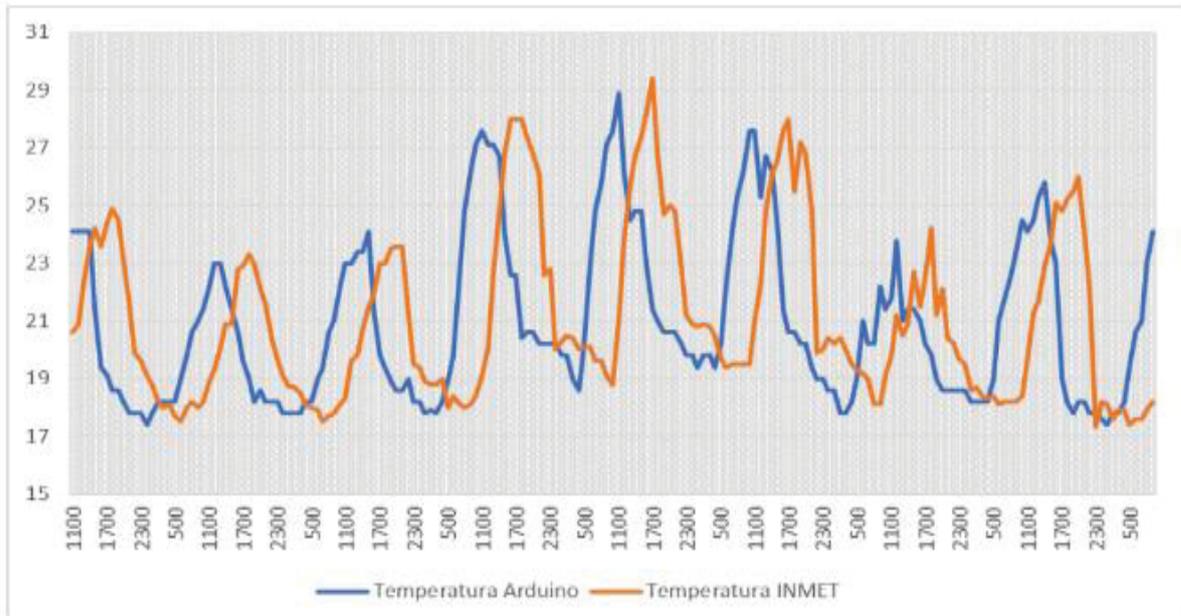


Fonte: Autor (2023)

No dia 27/02/23, foi realizada uma segunda coleta, com o equipamento ajustado via programa (software) para realizar a leitura das variáveis a cada uma hora,

com o intuito de padronizar as leituras e facilitar a correlação com os dados da estação do INMET. Na figura 35, podemos visualizar os dados de temperatura coletados pelo arduino relacionados com os dados disponibilizados pela estação do INMET.

Figura 35 - Relação dos dados coletados (temperatura) entre o Arduino e os dados da estação do INMET de 27/02 a 07/03

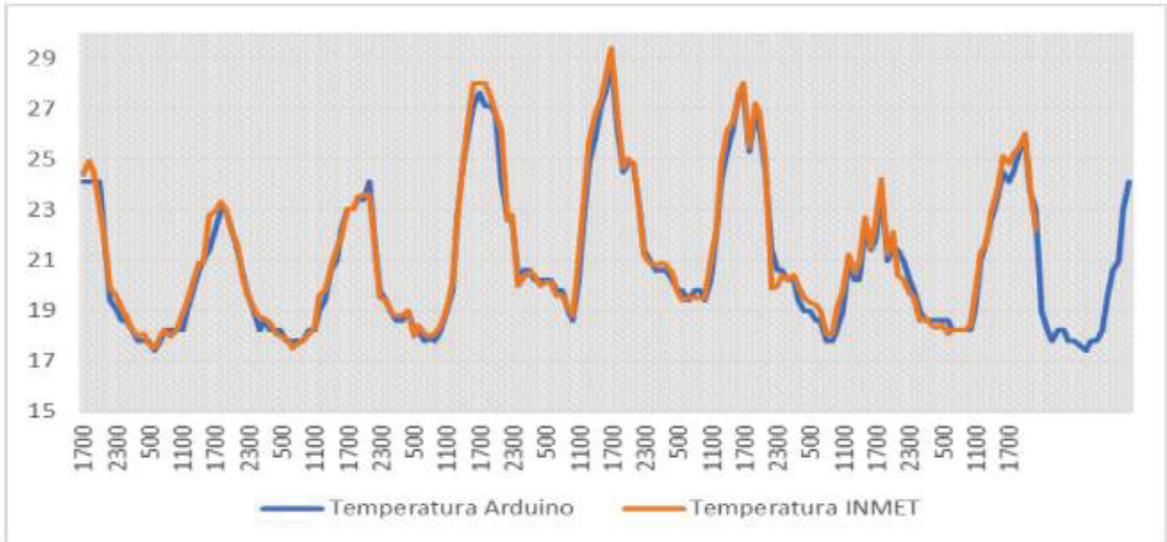


Organizado por: Autor (2023).

Após a realização dessa coleta, foi verificada uma pequena falta de sincronia na hora registrada pelo arduino, com as horas registradas pelo INMET. Dentre os motivos, um deles se refere a diferença de formatos de hora, enquanto o INMET forneceu a hora de registro no formato GMT, o arduino registrou os dados na hora local (UTM). Portanto, é necessário realizar a conversão, ou sincronização. Outro motivo verificado foi um atraso de pulsos no registro do real-clock feitos pelo arduino, ajustado com testes no programa.

Após a sincronização temporal entre os dados coletados com os dados da estação do INMET, os dados ficaram mais sincronizados (Figura 36), refletindo numa melhor correlação que ficou em 0,989545, indicando uma correlação positiva e muito forte.

Figura 36 - Correlação dos dados coletados (temperatura) entre o Arduino e os dados da estação do INMET de 27/02 a 07/03



Organizado por: Autor, 2023

Na (Figura 37) podemos observar o gráfico de dispersão entre os dados de temperatura coletados pelo arduino e os dados de temperatura fornecidos pelo INMET.

Figura 37 - Gráfico de dispersão dos dados de temperatura entre Arduino e INMET



Organizado por: Autor, 2023

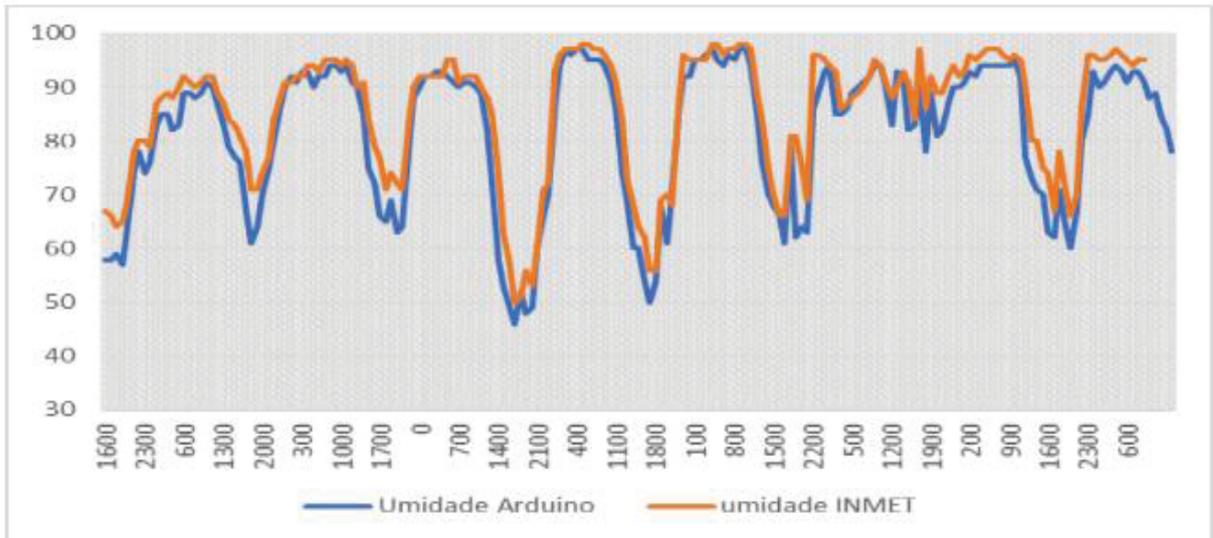
O gráfico de dispersão é a representação visual das relações entre duas variáveis. Seu formato é produzido por uma série de pontos plotados em um plano cartesiano, onde cada ponto representa uma combinação de valores das duas variáveis, sendo um eixo de valores dependentes e um eixo de valores independentes. Analisando um gráfico de dispersão, podemos observar a distribuição dos pontos e identificar padrões ou tendências na relação entre as variáveis. Esses padrões podem ser positivos, negativos ou com ausência de padrões. Através desse gráfico podemos também analisar valores atípicos ou anomalias (defeitos).

No gráfico 16 é possível perceber que existe uma relação positiva entre os dados, o gráfico mostra que as medições (dados) coletadas pelo Arduino estão próximas à linha de tendência do gráfico, indicando assim uma correlação positiva. A correlação positiva entre os dados pode ser verificada também através do coeficiente de determinação, que está representado no gráfico 16 pela sigla R^2 .

O R^2 pode variar entre 0 e 1 e demonstra uma medida de ajuste de um modelo estatístico linear, como a regressão linear simples, aos valores observados de uma variável aleatória. Expresso em percentual numérico, o R^2 , indica qual percentual do erro de previsão na variável dependente é eliminado quando usamos a regressão de mínimos quadrados sobre a variável independente. Valores mais próximos de 1 indicam um melhor ajuste do modelo aos dados observados.

Na figura 38, podemos visualizar os dados de umidade coletados pelo arduino relacionados aos dados disponibilizados pela estação do INMET.

Figura 38 - Correlação entre umidade coletada pelo Arduino x dados INMET

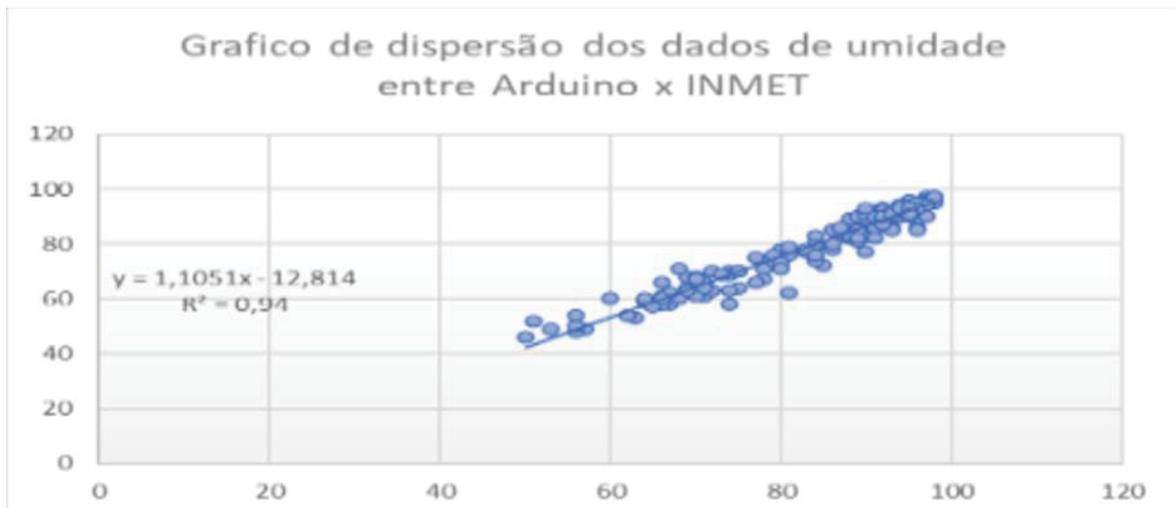


Fonte: Autor 2023

Entre os dados de umidade, o valor da correlação ficou em 0,968949, indicando uma correlação positiva e muito forte.

No gráfico de dispersão (figura 39) entre os dados de umidade do arduino em relação aos dados de umidade registrados pelo INMET, pode-se visualizar a indicação de uma relação média e positiva.

Figura 39 - Gráfico de dispersão entre umidade coletada pelo Arduino x dados INMET



Elaboração: Autor (2023)

Findada essa etapa, o equipamento foi instalado em uma bicicleta para a realização das coletas em transectos móveis (Figura 40). Na foto pode se observar que o equipamento foi instalado na garupa da bicicleta, o sensor ficou a uma altura de 1,50 metros com relação ao nível do chão, com a ajuda e proteção para os fios, de um cano de pvc.

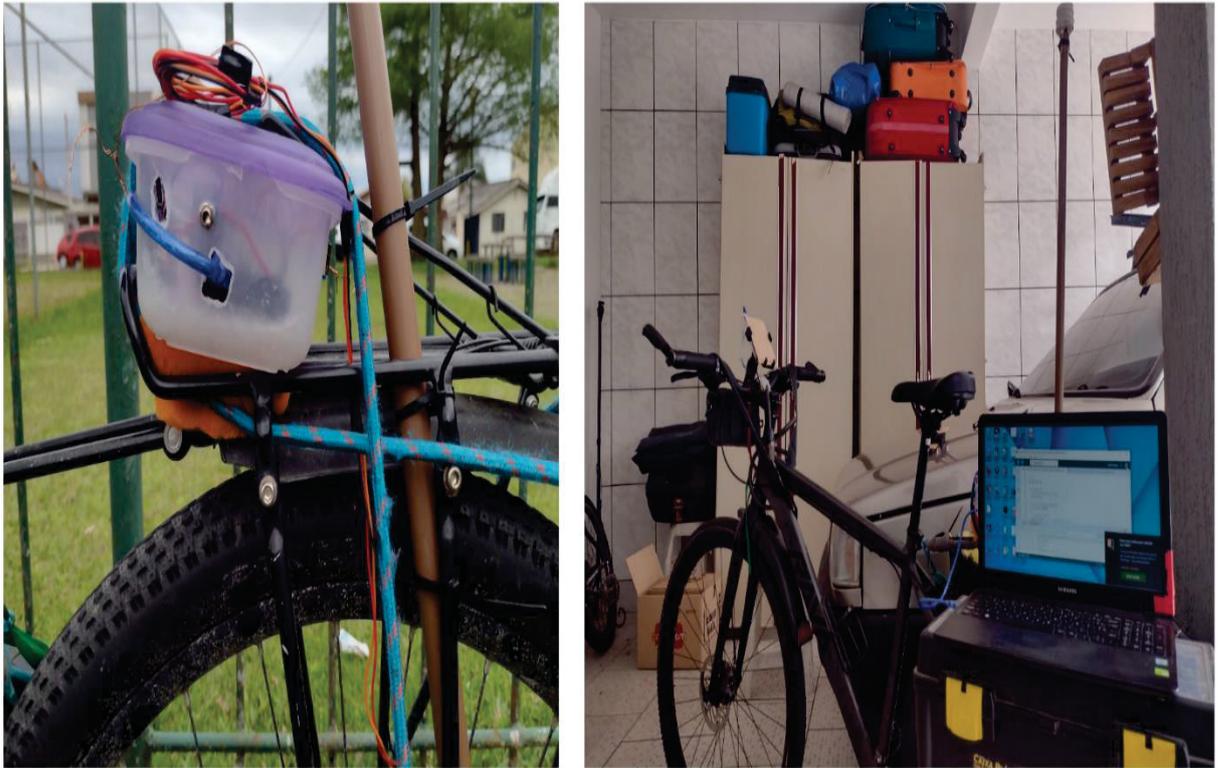
Figura 40 - Bicicleta utilizada e equipamento instalado na bicicleta



Fonte: Autor, 2023.

Na imagem anterior (figura 40) temos o detalhe da bicicleta, com características básicas, como aro 29 e conjunto de relação de 21 marchas e o equipamento instalado pronto para realizar coletas. Já na imagem (Figura 41), é apresentado detalhes do equipamento instalado na garupa da bicicleta e ajustes no programa realizados durante as coletas. Para evitar choques, o equipamento ficou dentro de uma caixa de plástico, sobre plástico bolha. A caixinha de plástico por sua vez foi apoiada sobre uma espuma e fixada na garupa. Os pneus dessa bicicleta têm diâmetro considerável que também ajudam na absorção de impactos.

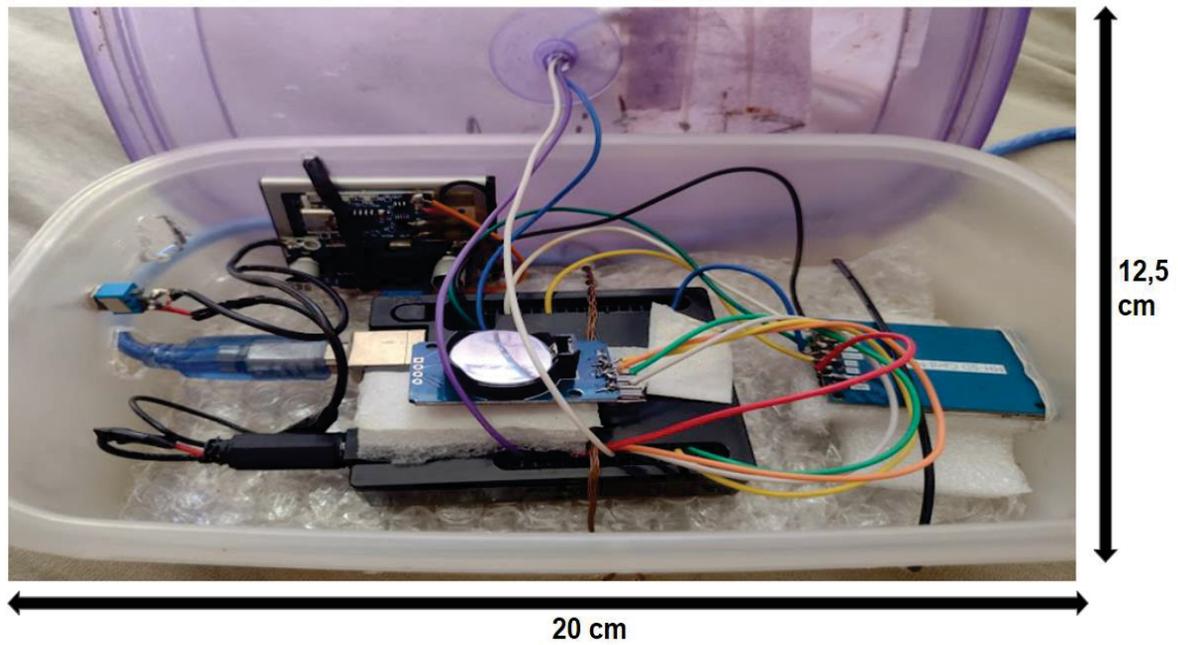
Figura 41 - Equipamento instalado na bicicleta e ajustes no programa



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 42, é apresentado o equipamento montado para utilização dentro de uma caixa (pote) de plástico simples.

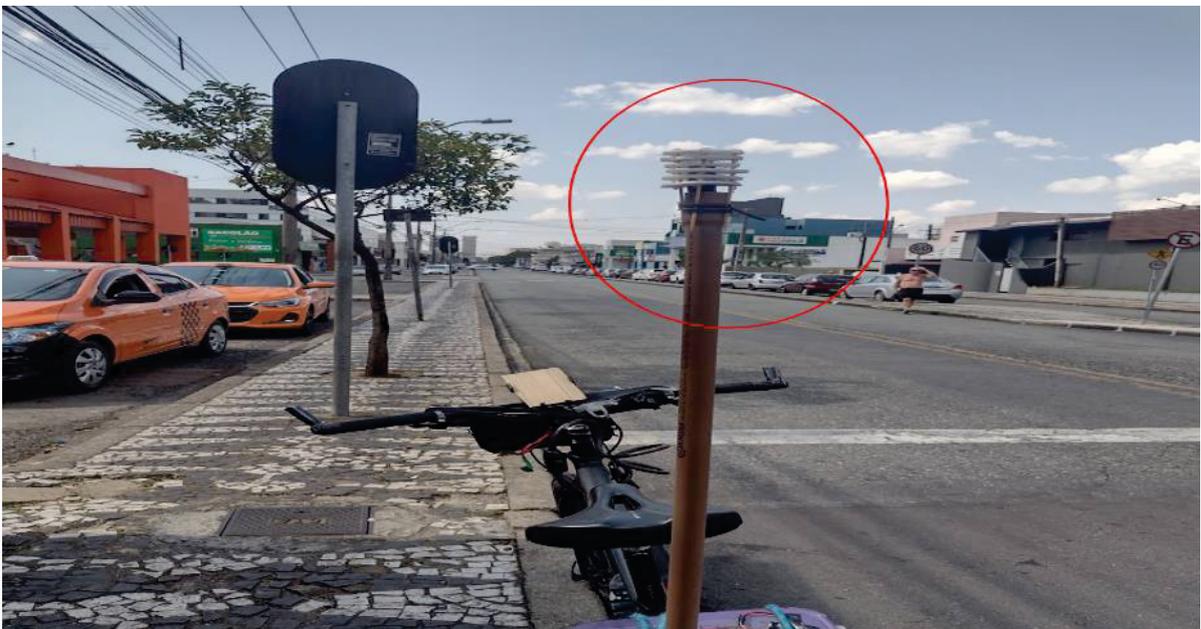
Figura 42 - Equipamento montado dentro da caixa plástica. (Altura da caixa 5cm)



Fonte: Autor, 2023

Foi montado um abrigo provisório de isopor e madeira para a realização das coletas (Figura 43), mesmo o sensor já estando envolto em uma proteção (Abrigo).

Figura 43 - Imagem do sensor instalado na bicicleta e detalhe do abrigo



Fonte: Autor, 2023.

Encerrada as etapas de montagem do equipamento e testes, foi dado início as coletas de dados em deslocamento no trecho selecionado. Os campos e coletas de dados foram realizados, dando destaque a questão dos eixos estruturais, que como foi visto representa grande concentração de fluxos de viagens de bicicleta, incluindo usos de lazer, esporte e trabalho, além de promover impactos significativos na morfologia urbana.

Essa pesquisa selecionou como parte dos trajetos, o eixo estrutural sul, que faz a conexão de parte dos bairros da região sul com a área central, localizado entre o terminal do pinheirinho e a praça Eufrásio Corrêa. Este eixo envolve as avenidas Winston Churchill, a avenida Brasília e a avenida Sete de Setembro, numa distância de aproximadamente 10 km entre os pontos citados. Em alguns momentos as coletas excederam o eixo estrutural e também foram realizadas em áreas próximas, incluindo trechos de asfalto e ciclovia, como a ciclovia que corta o bosque do alemão, e deslocamentos até o eixo estrutural.

O período de coleta de dados visou abranger diferentes estações do ano, verificando níveis de estresse térmico, entre calor e o frio, embora não tenha sido possível realizar transectos nas estações mais frias devido a questões relacionadas a atrasos no cronograma da pesquisa relacionadas ao tempo. Para a realização dos transectos móveis, buscou-se realizar as coletas em horários similares e em dias de condições atmosféricas favoráveis, sem chuvas ou vento muito forte.

As coletas, ocorreram em dois sentidos, bairro-centro e centro-bairro. A velocidade dos deslocamentos, variou em média de 25km/h a 30km/h, buscando realizar um deslocamento normal. O tempo de leitura do sensor foi ajustado para 10 segundos. Durante a realização das coletas de dados, foi utilizada uma ficha de coleta elaborada pelo autor dessa pesquisa, para contribuir na sistematização de dados referentes ao transecto do dia. A ficha completa se encontra no anexo 2 ao final desse trabalho.

Após as coletas, os dados foram analisados em relação ao índice de estresse térmico do INMET para a verificação de condições e níveis. Os dados e sua relação com o índice, foram convertidos em gráficos e infográficos, para ajudar na visualização dos dados e sua relação com o índice de estresse térmico, sendo apresentados no capítulo referente aos resultados.

Além das coletas, os deslocamentos permitiram realizar outras observações objetivas e subjetivas sobre o trajeto e a condição da bicicleta relacionada ao clima urbano. Entre essas observações estão a contagem de bicicletas, o registro de imagens relacionadas a fatores de uso da bike e condicionantes urbanas, como a questão da arborização, das infraestruturas cicloviárias, entre outras, que contribuíram para o objetivo de caracterização da área de estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo visa apresentar os resultados alcançados a partir dos objetivos propostos nessa pesquisa, dando destaque para verificação da variabilidade térmica entre diferentes pontos do trajeto, assim como dos níveis de estresse térmico.

5.1 COLETAS DE DADOS REALIZADAS

De maneira geral, a presente pesquisa conseguiu atingir o objetivo de avaliar condições e níveis de estresse térmico durante deslocamentos ciclísticos no trajeto selecionado. Como já apresentado, a conclusão das etapas de montagem do equipamento de coleta automática de dados atmosféricos e sua utilização em uma bicicleta tiveram êxito.

O equipamento montado para a realização da coleta de dados atmosféricos por transecto móvel, se mostrou eficiente, atendendo entre outros requisitos, ser de baixo custo, assim como de simples operação. A tecnologia open-source envolvida no arduino torna-o popular, permitindo encontrar boa quantidade de material disponível na rede de forma gratuita, possibilitado pela construção de uma rede mundial de colaboradores no aprimoramento da mesma.

Do mesmo modo, a tecnologia de prototipagem eletrônica com a placa arduino uno, apresenta característica versátil, permitindo configurações variadas de arranjos no hardware e no software para atingir a aplicação desejada, tornando o projeto aberto à personalização de quem constrói. Assim, essa pesquisa buscou entre suas intenções, apresentar uma proposta metodológica que vise democratizar o acesso aos dados meteorológicos, uma vez que a ferramenta desenvolvida tem baixo custo e pode ser facilmente operada, contribuindo para a inclusão de mais pesquisadores e profissionais interessados nos estudos climáticos urbanos. Essa proposta igualmente está em linha com o ODS número 10 e número 13 (ONU, 2015), que buscam reduzir as desigualdades sociais e econômicas, promovendo a igualdade de oportunidades para todos, incluindo ações de enfrentamento climático.

Além disso, buscou-se contribuir para o avanço de estudos climáticos na geografia, e outras áreas de interesse que envolvam relações como variabilidade

térmica, conforto térmico, ilhas de calor, entre outros estudos relacionados ao clima urbano, e ciclomobilidade.

As potencialidades do arduino para pesquisas que envolvam coletas de dados atmosféricos são diversas. A fim de potencializar essas possibilidades, recomenda-se colaborações interdisciplinares, com áreas como a arquitetura, engenharias, tecnologias da informação, entre outras. A abordagem interdisciplinar enriquece o processo de pesquisa, permitindo explorar melhor o potencial de aplicações com o arduino. Independentemente do nível de conhecimento técnico, a colaboração entre especialistas de diferentes áreas é vantajosa para melhores resultados das pesquisas.

Através dos dados coletados e analisados, foi possível relacioná-los com índice de estresse térmico utilizados pelo INMET. Além disso, também, como parte dos objetivos presentes nessa pesquisa, foi possível relacionar as coletas de dados por transecto móvel, com questões relacionadas a características da área de estudo e do clima urbano, envolvendo a dimensão microclimática dos deslocamentos ciclísticos intra bairros da cidade de Curitiba.

Como já verificado no capítulo referente à metodologia, as coletas por transecto móvel se concentraram em dos eixos estruturais da cidade, mais especificamente no eixo sul que interliga o terminal do pinheirinho ao centro da cidade, além de trechos envolvendo o deslocamento até o eixo e áreas próximas. Os dias das coletas ocorreram sob condições atmosféricas favoráveis, dando preferência a dias sem chuva e sem vento muito forte.

De acordo com os dados coletados e relacionados com o índice de estresse térmico, foi possível verificar durante grande parte dos deslocamentos níveis de estresse térmico, sendo que alguns dias da coleta coincidiram com eventos de onda de calor, refletindo condições semelhantes em mais dias consecutivos. As coletas foram realizadas entre os meses de setembro de 2023 a março de 2024, compreendendo a maior parte nas estações de primavera e verão.

Para auxiliar na sistematização dos dados coletados, foi utilizada uma ficha de coleta utilizada no início dos deslocamentos, com dados referentes as condições climáticas do dia, além de outras observações pertinentes (ANEXO 2). Nessa ficha

são anotados dados objetivos através de dados secundários disponíveis na rede móvel, como também dados envolvendo a percepção do pesquisador.

Os dados coletados foram convertidos para gráficos e infográficos, visando ter uma melhor visualização da variabilidade e valores relacionados à temperatura ao longo dos transectos, além da relação aspectos da morfologia urbana da área de estudo. Os infográficos serviram para mostrar os diferentes fatores e elementos de cada deslocamento.

Como já dito, o tempo de leitura do sensor foi ajustado para 10 segundos, e a velocidade dos transectos variaram de 25km/h a 30km/h, sempre procurando manter o mesmo ritmo, num trajeto de aproximadamente 10 km (somente num sentido). A seguir, é possível visualizar novamente um dos deslocamentos realizados (Figura 44).

Figura 44 – Mapa da rota das coletas de dados por transecto móvel com a bicicleta



Fonte: Autor, 2024

No quadro 8 a seguir, é possível visualizar um resumo dos dias de coletas realizadas, indicando temperaturas mínimas e máximas registradas, assim como o nível de estresse térmico referente aos deslocamentos.

Quadro 8 – Resumo das coletas realizadas por transectos móvel no trajeto selecionado

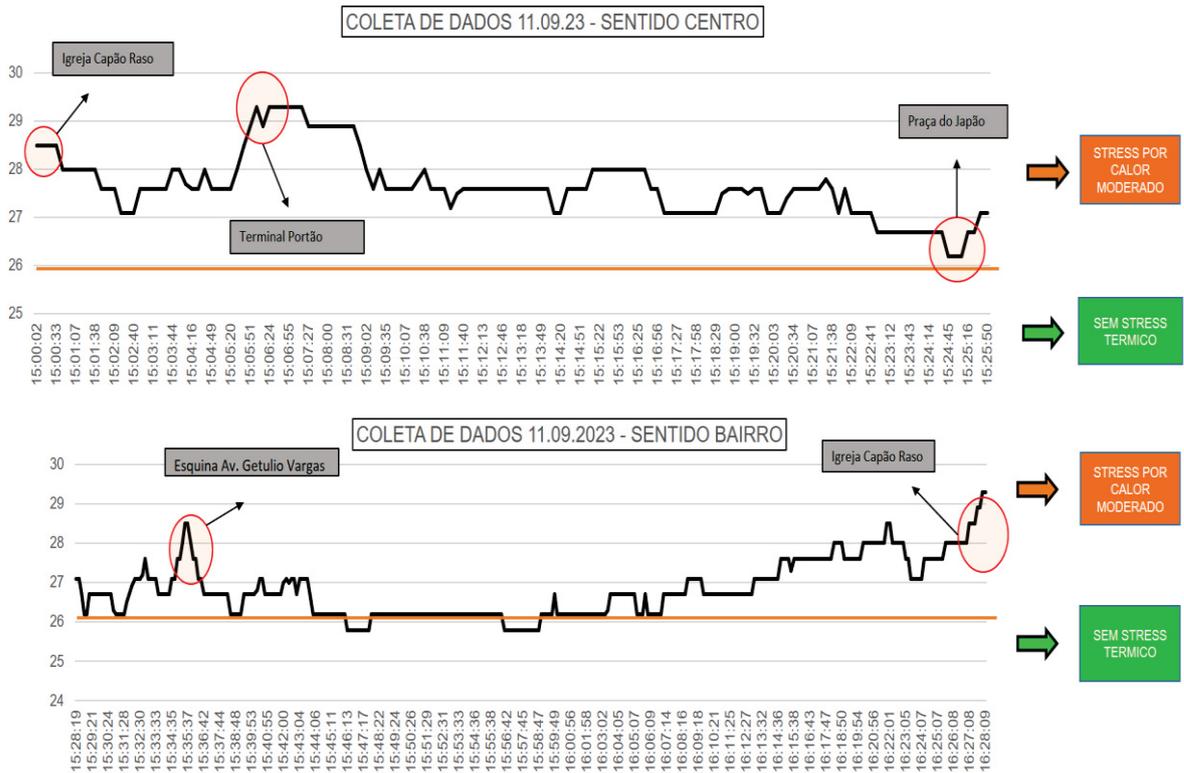
DATA	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA	NÍVEL DE STRESS
11/09/23 - SENTIDO CENTRO	26,5	29,5	STRESS POR CALOR MODERADO
11/09/23 - SENTIDO BAIRRO	26,5	29,5	STRESS POR CALOR MODERADO
18/09/23 - SENTIDO CENTRO	31,5	34,5	STRESS POR CALOR ELEVADO E MODERADO
23/09/23 - SENTIDO CENTRO	26,5	34,5	STRESS POR CALOR ELEVADO E MODERADO
23/09/23 - SENTIDO BAIRRO	25,5	30,5	STRESS POR CALOR MODERADO
15/10/23 - SENTIDO CENTRO	15,5	17	SEM STRESS
15/10/23 - SENTIDO BAIRRO	16	17,5	SEM STRESS
11/11/23 - SENTIDO CENTRO	32	37	STRESS POR CALOR MUITO ELEVADO, CALOR ELEVADO E CALOR MODERADO
11/11/23 - SENTIDO BAIRRO	32	36,5	STRESS POR CALOR MUITO ELEVADO, CALOR ELEVADO E CALOR MODERADO
1/12/23 - SENTIDO CENTRO	32	39	STRESS POR CALOR MUITO ELEVADO, CALOR ELEVADO E CALOR MODERADO
1/12/23 - SENTIDO BAIRRO	28	33,5	STRESS POR CALOR ELEVADO E MODERADO
16/12/23 - SENTIDO CENTRO	32,5	29,5	STRESS POR CALOR ELEVADO E MODERADO
16/12/23 - SENTIDO BAIRRO	32,5	34	STRESS POR CALOR ELEVADO E MODERADO

Fonte: Autor, 2024

A primeira coleta de dados por transecto móvel ocorreu no dia 11 de setembro de 2023 (Figura 45). É possível verificar que boa parte do trajeto, sentido

centro e sentido bairro, apresentou níveis de estresse térmico por calor moderado. A coleta dos dados ocorreu no período da tarde, entre as 15 horas e às 16h30. De acordo com o (INMET, 2023), esse dia foi caracterizado por ventos com velocidade e rajadas de calmo a fraco, com direção variando entre noroeste-nordeste.

Figura 45 - Infográfico de coletas de dados do dia 11.09, sentido centro



Fonte: Autor, 2024

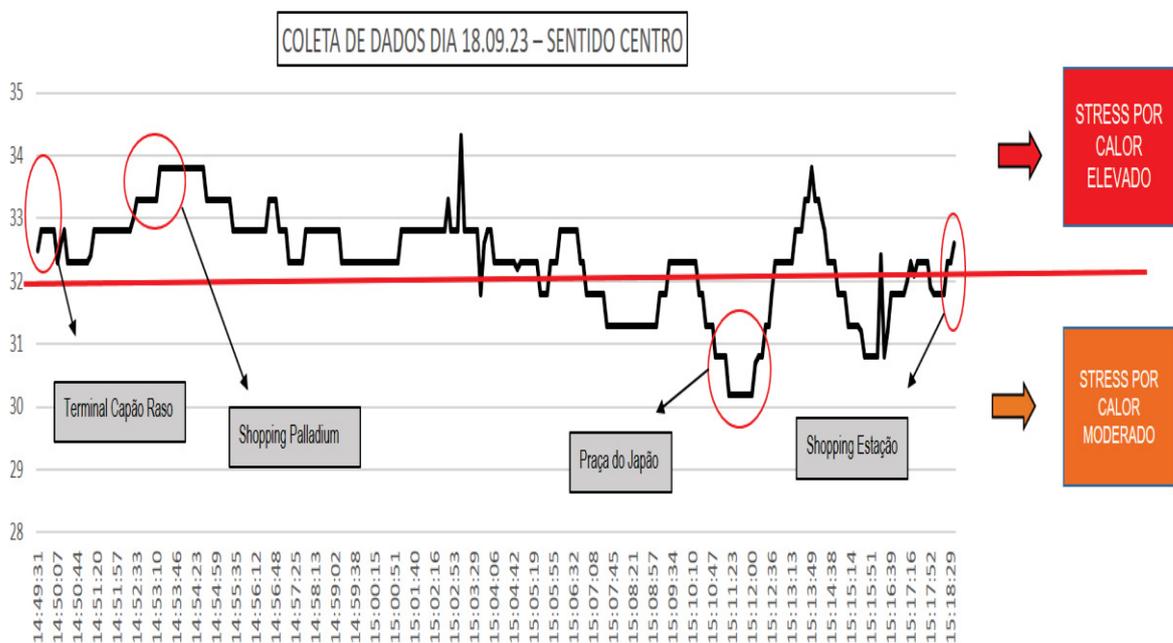
Alguns pontos são destacados no infográfico, como parte do trecho próximo ao terminal do Portão, do terminal do Capão Raso, além da esquina da Avenida Getúlio Vargas, onde pode ser observado um acréscimo da temperatura, superior ao de outras áreas. Já a localização da praça do Japão demonstra um decréscimo da temperatura, possivelmente relacionado à questão da arborização presente na área.

Cabe ressaltar que a temperatura registrada pelo equipamento montado nesta pesquisa, atingiu em alguns pontos 29°C, enquanto que o registro oficial do INMET indicou uma temperatura máxima de 27,6° C para o mesmo período da coleta,

demonstrando a importância do monitoramento e estudo dos diferentes microclimas presentes na cidade, os quais revelam características que fogem a generalização da escala local.

No dia 18 do mesmo mês, foi efetuada outra coleta de dados por transecto móvel com a bicicleta (Figura 46), envolvendo o trecho selecionado (Eixo estrutural Sul) entre o período das 14 horas às 16 horas. A velocidade do vento estava variando entre calmo e fraco (INMET, 2023), apresentando céu com poucas nuvens e boa visibilidade.

Figura 46 - Infográfico de coleta de dados do dia 18.09, sentido centro



Fonte: Autor, 2024

Esse transecto móvel foi realizado somente no deslocamento sentido centro, indicando todo o trajeto níveis de estresse térmico, sendo em grande parte, estresse por calor elevado. Destacam-se nesse transecto, as áreas próximas ao shopping Palladium e ao terminal do portão, devido à maior intensidade da temperatura, além da praça do Japão que se observa uma área de queda na temperatura. A temperatura

máxima registrada pelo INMET foi de 31,1° C, enquanto o equipamento registrou até 34° C.

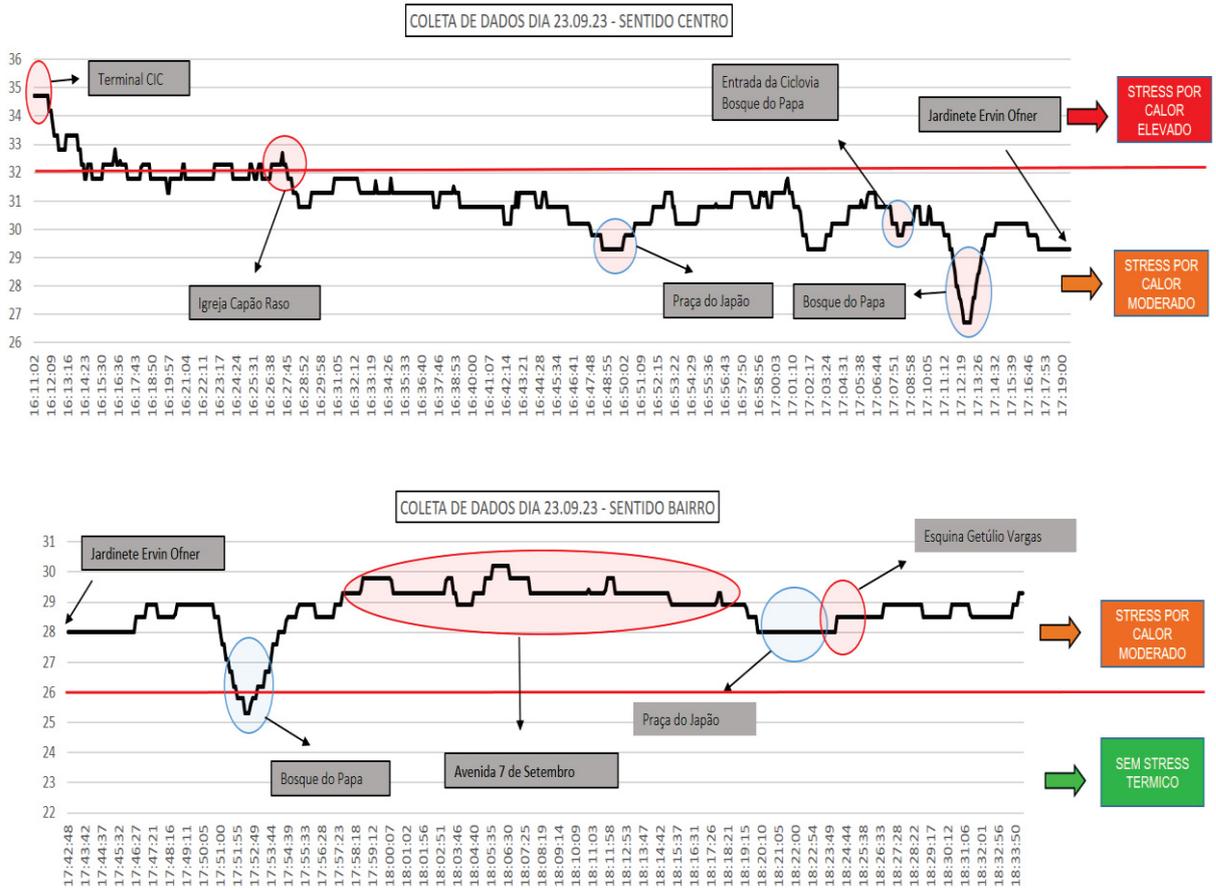
Ainda no mês de setembro, no dia 23, foi realizada mais uma coleta de dados por transecto móvel, envolvendo o eixo estrutural sul e seus arredores, no sentido periferia - centro e centro - periferia. O período de coleta ocorreu no período da tarde entre 16h às 19h.

O dia se configurava através do céu com poucas nuvens e vento variando de calmo a moderado (INMET, 2023). Nos dois sentidos pode-se observar pelos dados coletados, índice de stress térmico por calor moderado na maior parte dos deslocamentos e algumas áreas apresentando stress por calor elevado. Nessa coleta de dados, o deslocamento se estendeu até o bosque do Papa, a fim de verificar e comparar as condições de estresse térmico nessa parte da malha cicloviária.

Pela figura 47, nota-se alguns destaques para áreas de maior intensidade de calor, como áreas próximas ao terminal do CIC e do Capão Raso, além da Avenida Sete de setembro. Já entre as áreas que representam uma menor intensidade térmica ou diminuição da mesma, destacam-se a praça do Japão e o bosque do Papa, que tem parte de sua ciclovia envolta por um bosque bem arborizado, além de ser atravessado pelo Rio Belém.

O deslocamento em direção ao bairro apresentou menores índices de estresse térmico em comparação ao deslocamento em direção ao centro. Isso provavelmente está relacionado ao horário, com a diminuição da radiação solar ao fim do dia, quando maiores áreas de sombreamento se formam devido à verticalização dos prédios ao longo do trajeto. Nesse dia a temperatura máxima registrada pelo INMET para o período da coleta foi de 31,6° C, enquanto o equipamento de coleta de dados dessa pesquisa registrou 34° C.

Figura 47 - Gráficos do transecto móvel e coleta de dados dia 23.09.2023, sentido centro



Organizado por: Autor, 2024

Nas imagens adiante, (Figura 48) é possível verificar as algumas diferenças nas condicionantes urbanísticas que refletem em uma maior ou menor intensidade térmica nos deslocamentos ciclísticos. As imagens da direita foram geradas pelo google earth e na esquerda fotos retiradas pelo autor desta pesquisa e são referentes a pontos destacados na figura 46, sendo a primeira a área próxima à Avenida Getúlio Vargas (1) e a outra na ciclovia próxima ao Bosque do Papa (2).

Figura 48 - Imagens comparativas de pontos relevantes destacados no transecto móvel. Shopping Palladium (1) e Bosque do Papa (2)

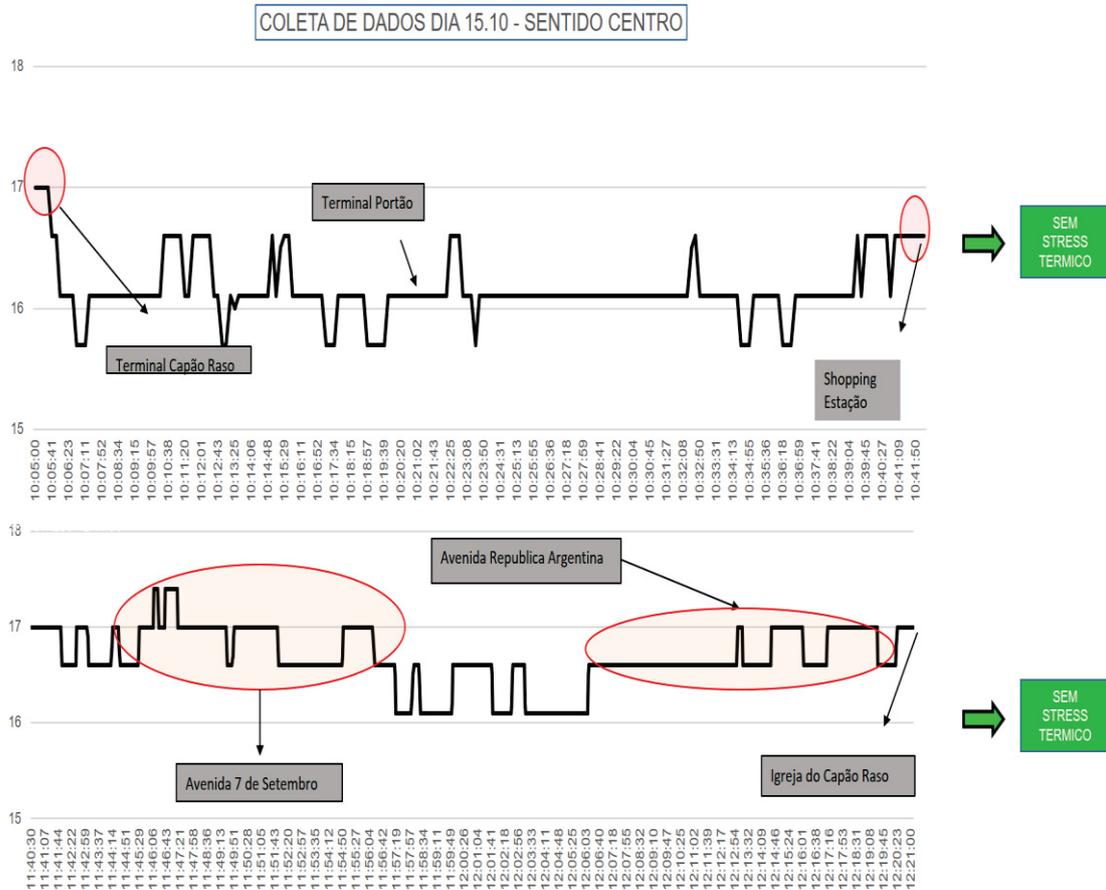


Organizado por: Regazzo, 2023

De acordo com os registros das condições meteorológicas (INMET), as condições registradas nesse dia, se repetiram três dias antes e dois posteriores, configurando um evento de onda de calor.

O próximo transecto móvel foi realizado no dia 15 de outubro de 2023, no período da manhã, entre as 10 horas e 12h30. Esse dia foi caracterizado por não apresentar nenhum nível de stress térmico em ambos os sentidos do deslocamento (Figura 49). Alguns pontos apresentaram temperaturas maiores do que as registradas pelo INMET, que indicou como temperatura máxima nesse período 16,6 ° C.

Figura 49 - Gráficos do Transecto móvel e coleta de dados dia 15.10.2023



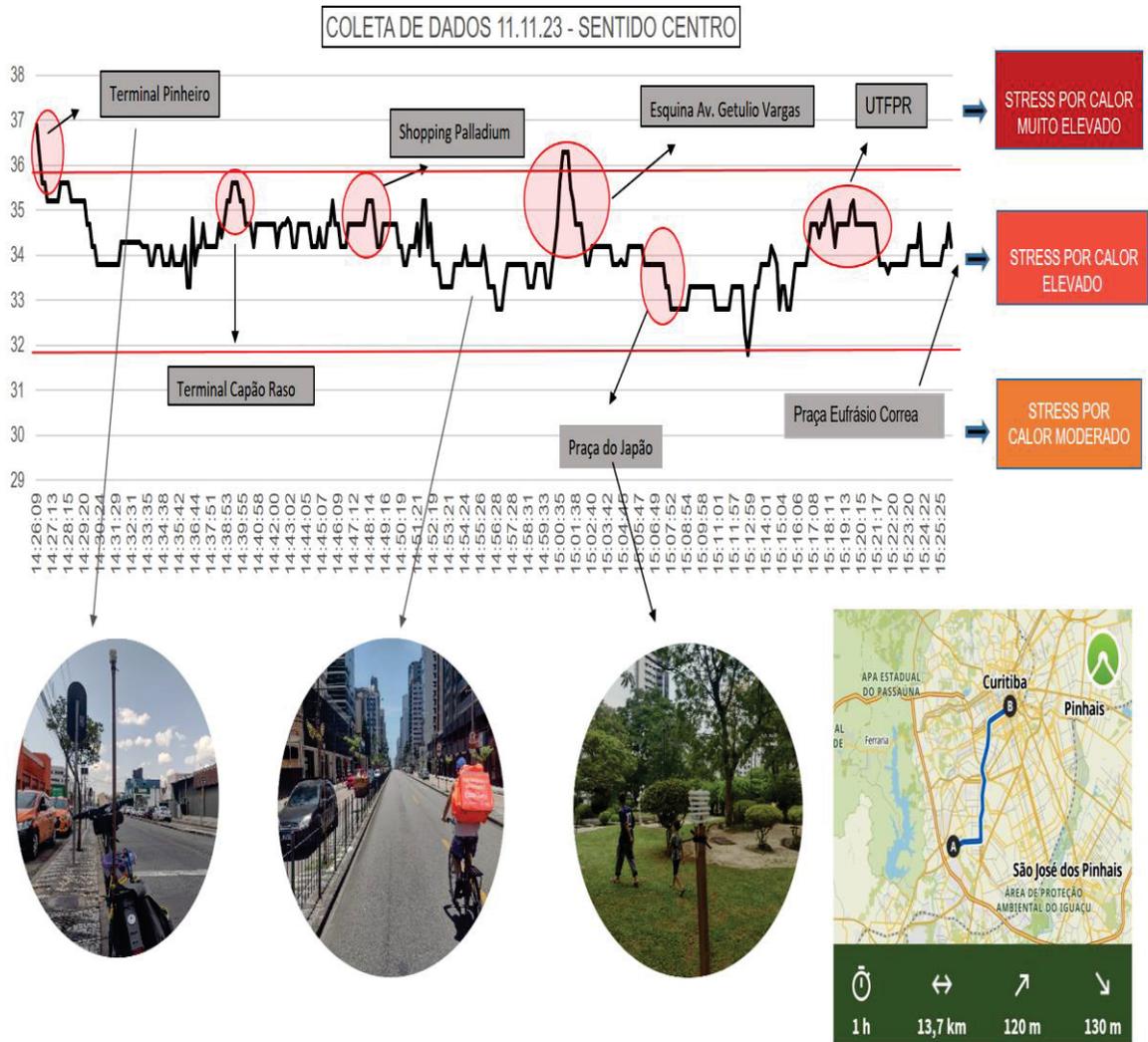
Organizado por: Autor, 2023

No dia 11 de novembro, outro transecto móvel foi concluído no período compreendido entre as 14 horas e 17 horas, num dia de sol e ventos de fraco a moderado. De acordo com o índice de estresse térmico utilizado pelo INMET, os deslocamentos em ambos os sentidos apresentaram níveis de estresse térmico durante todo o percurso, em grande parte por calor elevado e alguns pontos, estresse por calor muito elevado.

É possível verificar através do infográfico (Figura 50) alguns pontos em destaque, que revelam temperaturas mais elevadas que o restante do trajeto, como os terminais do Pinheirinho, do Capão Raso e do Portão junto ao Shopping Palladium. Alguns desses pontos repetiram o comportamento nos transectos anteriores, quanto a intensidade térmica. Essas áreas apresentam características relacionadas ao

cruzamento de vias, concentração de transporte público e pouca ou nenhuma arborização.

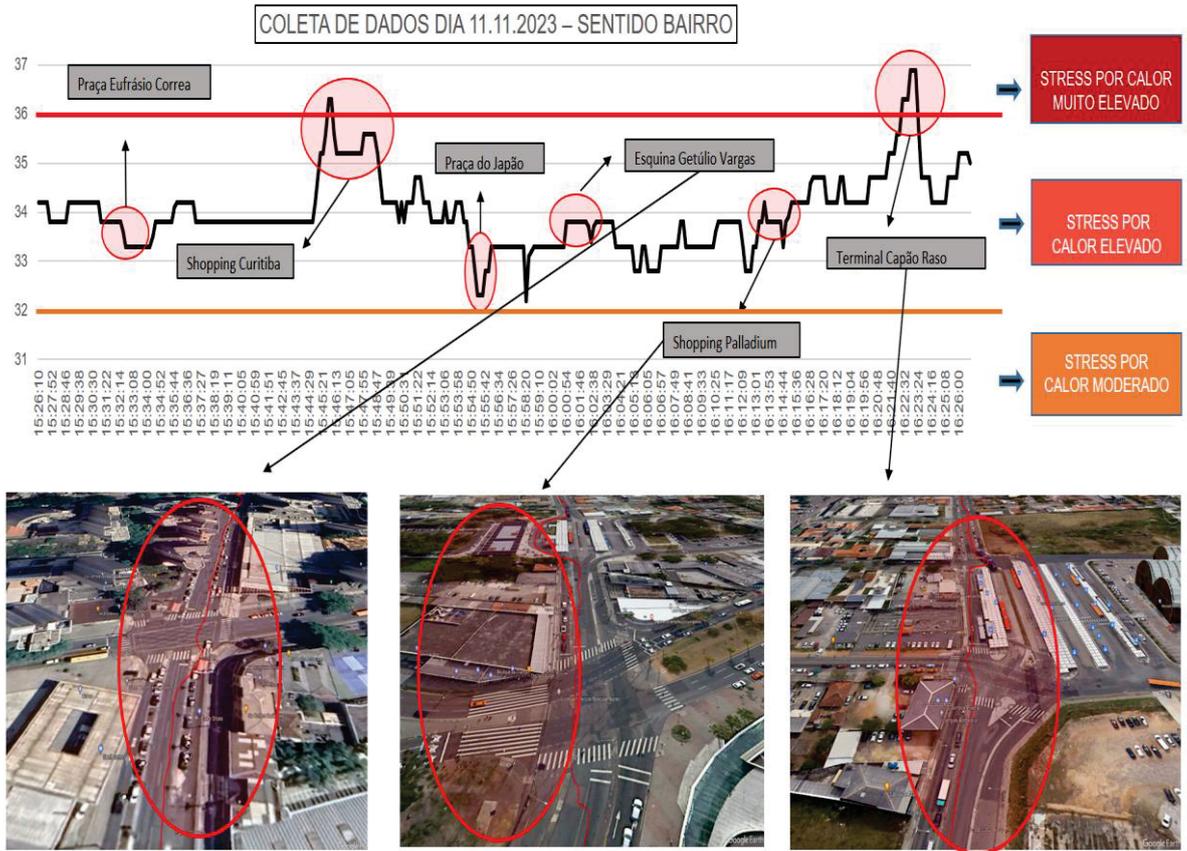
Figura 50 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 11.11.2023, sentido centro.



Organizado por: Autor, 2023

O deslocamento no sentido bairro (Figura 51), apresentou estresse por calor elevado em quase todo seu trajeto, também apresentando pontos com amplitude e estresse térmico maiores.

Figura 51 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 11.11.2023, sentido bairro



Fonte: Autor, 2023

O registro feito pela estação oficial do INMET nesse dia foi de 33,5°C como temperatura máxima durante o transecto, que através de seu equipamento registrou 36 °C, numa diferença de graus considerável.

No dia 1 de dezembro de 2023, foi executado um novo transecto móvel envolvendo o eixo estrutural sul no período entre as 14 horas da tarde e 17 horas, com dados do INMET indicando ventos de calmos a moderado. Dia de céu limpo e poucas nuvens, como mostra a imagem (Figura 52) a seguir.

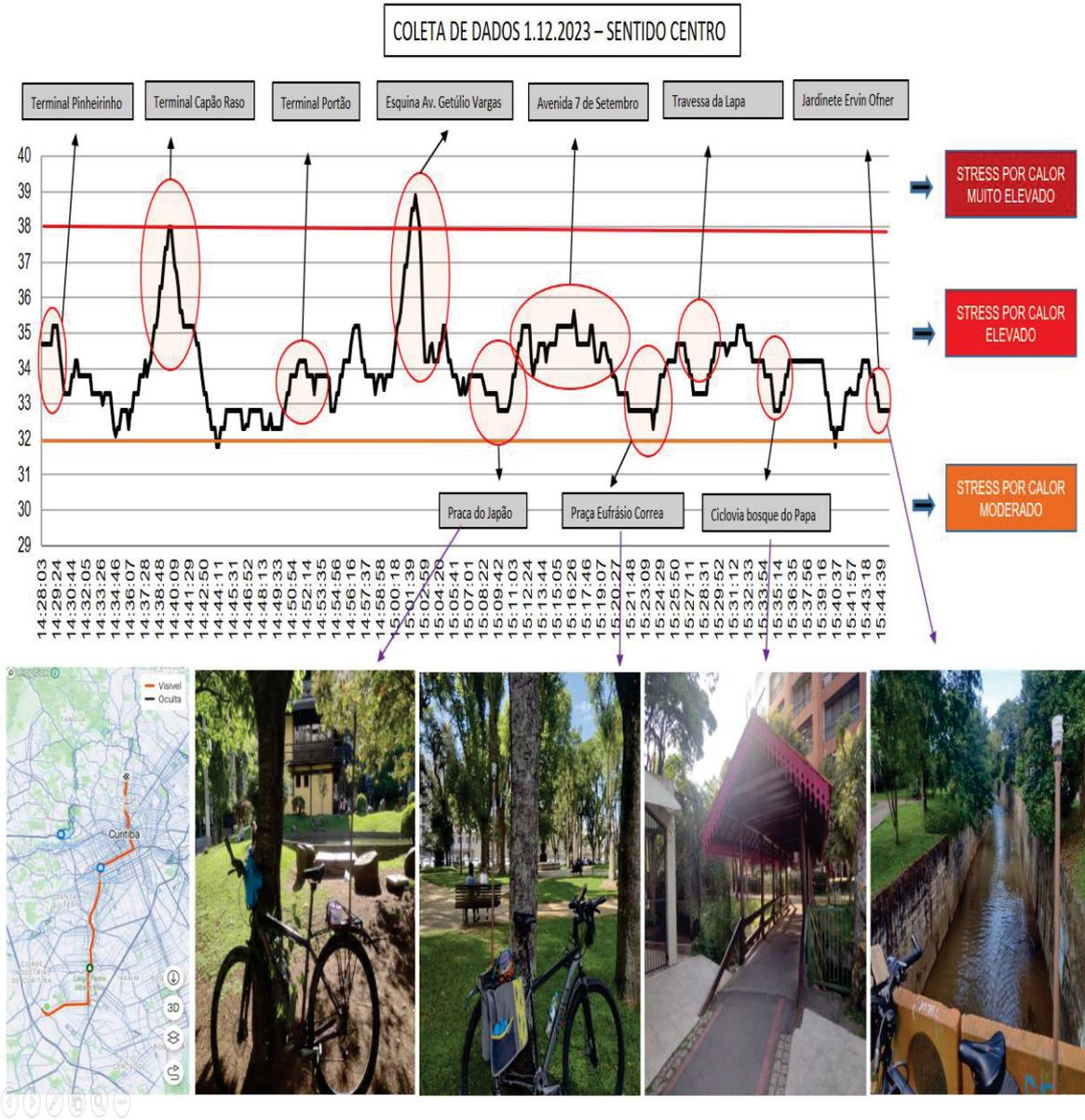
Figura 52 - Terminal do Pinheiro na coleta do dia 1.12.23



Fonte: Autor, 2023

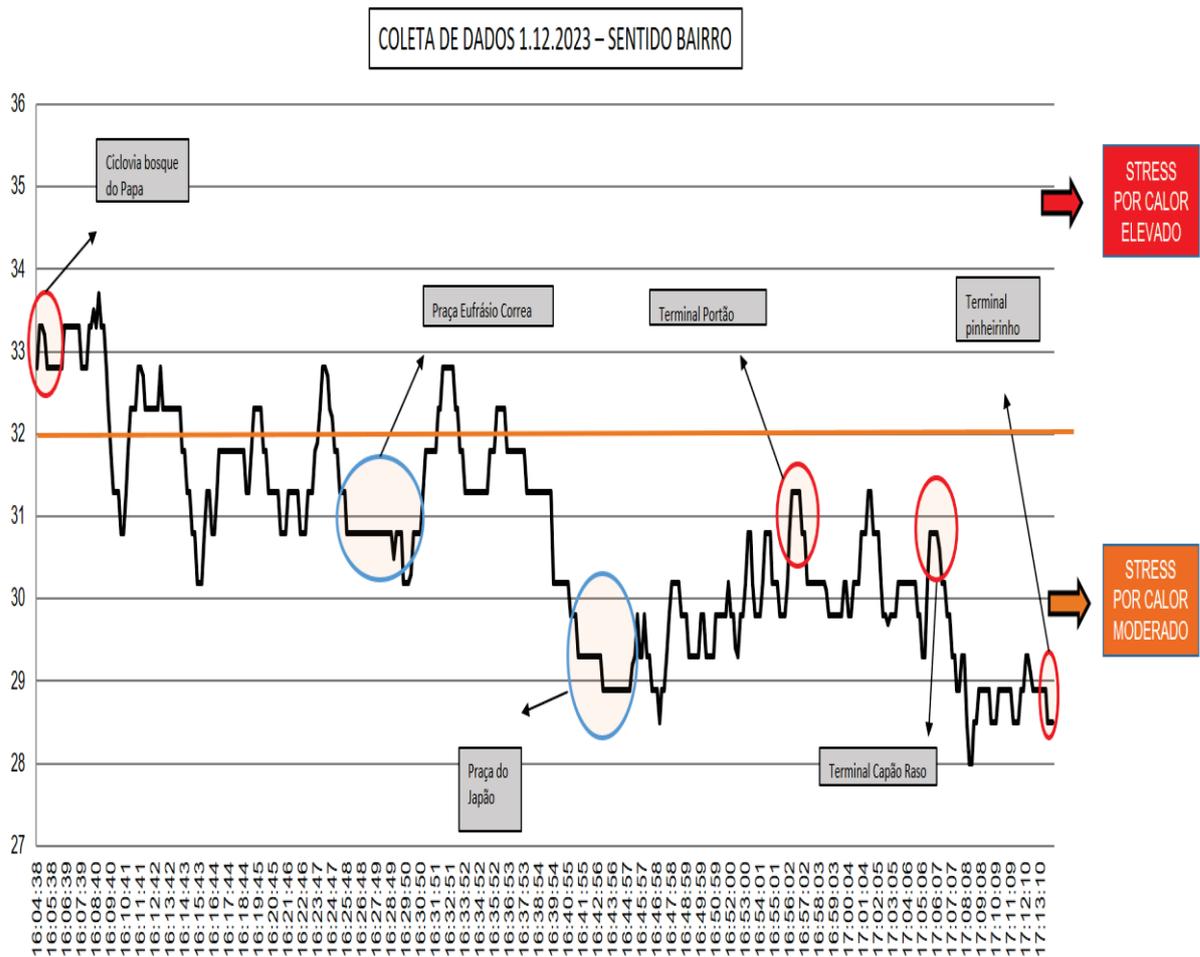
Esse dia representou mais um deslocamento ciclístico com níveis de estresse térmico durante todo o deslocamento, tanto sentido centro (Figura 53), como sentido bairro (Figura 54). No deslocamento sentido centro predominou o nível de estresse térmico por calor muito elevado, enquanto no sentido bairro foi o nível de estresse por calor moderado a maior parte, com menor intensidade de estresse térmico do que comparada a ida, provavelmente por uma questão horária.

Figura 53 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 1.12.2023, sentido centro



Fonte: Autor, 2023

Figura 54 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 1.12.2023, sentido bairro



Organizado por: Autor, 2024

Os pontos destacados revelam semelhanças com os transectos anteriores, tendo a esquina de Getúlio Vargas atingindo o nível de estresse térmico por calor muito elevado. Como abordado na caracterização da área de estudo, essa área provavelmente tem relação com a formação de cânions urbanos.

Nesse dia realizou-se uma contagem manual aproximada do número de viagens de bicicleta ao longo do trajeto, resultando em uma média aproximada de 80 bicicletas na canaleta exclusiva para ônibus e 30 bicicletas na via calma. Essas contagens são essenciais para auxiliar na justificativa do lugar escolhido para o estudo, assim como para mostrar a importância do local para um planejamento cicloviário e urbano eficiente e seguro para o uso da bicicleta.

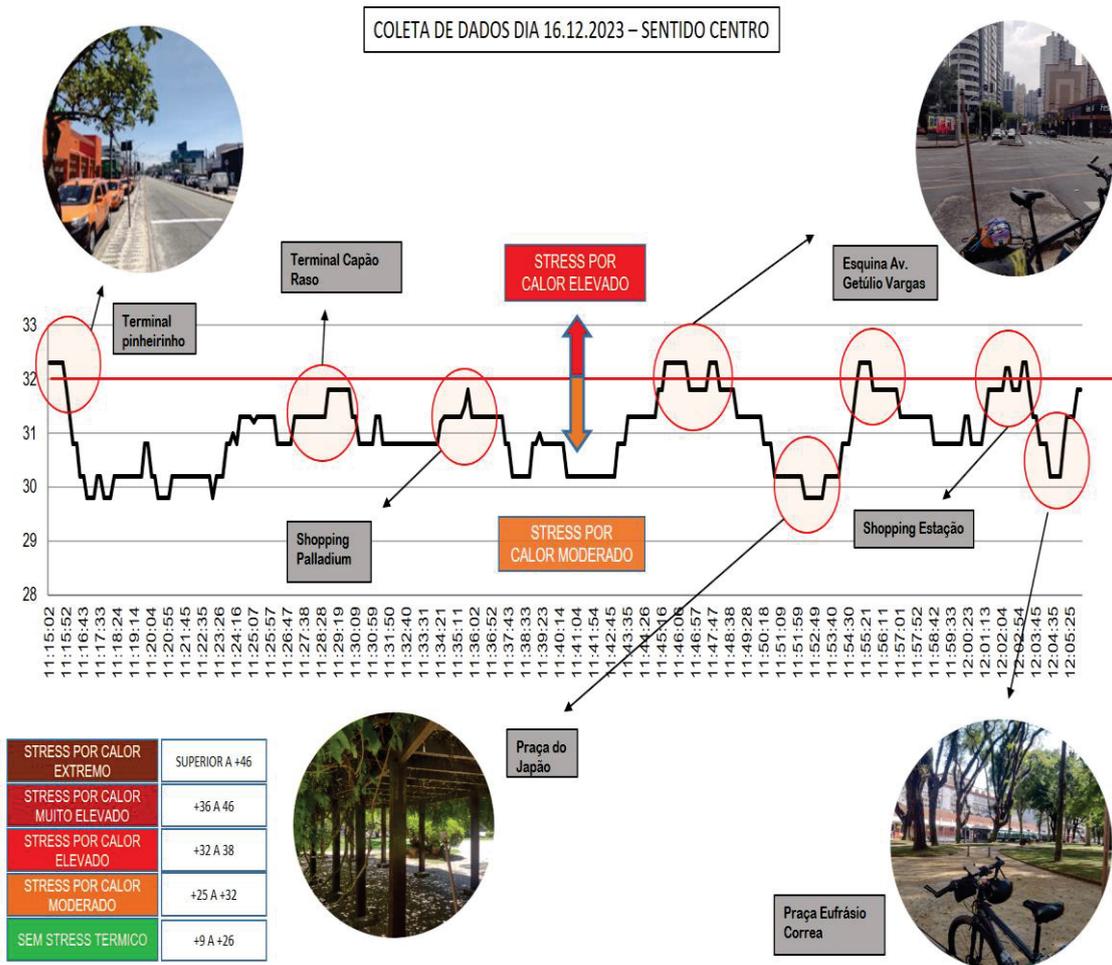
Ainda em dezembro, no dia 16, entre as 11 horas e 14 horas, foi realizada mais uma coleta por transecto móvel utilizando a bicicleta, sendo novamente verificado durante todo o deslocamento níveis de estresse térmico. A coleta de dados sentido centro (Figura 55) foi marcada durante a maior parte do trajeto pelo estresse térmico de calor elevado, já no sentido bairro o nível de estresse térmico predominante foi por calor moderado.

Conforme demonstrado pelos transectos anteriores, os locais de destaque apresentaram temperaturas mais elevada comparada a outros locais do deslocamento ciclístico. Esses locais incluem as proximidades dos terminais e shoppings do eixo estrutural, bem como a região próxima a esquina da Avenida Getúlio Vargas.

Na figura 56, sentido bairro, é possível observar que apesar desse trabalho ter focado no uso da bicicleta, outros atores utilizam o eixo estrutural para deslocamento e trabalho, estando igualmente mais vulneráveis em condições de impactos climáticos como as altas temperaturas e ondas de calor.

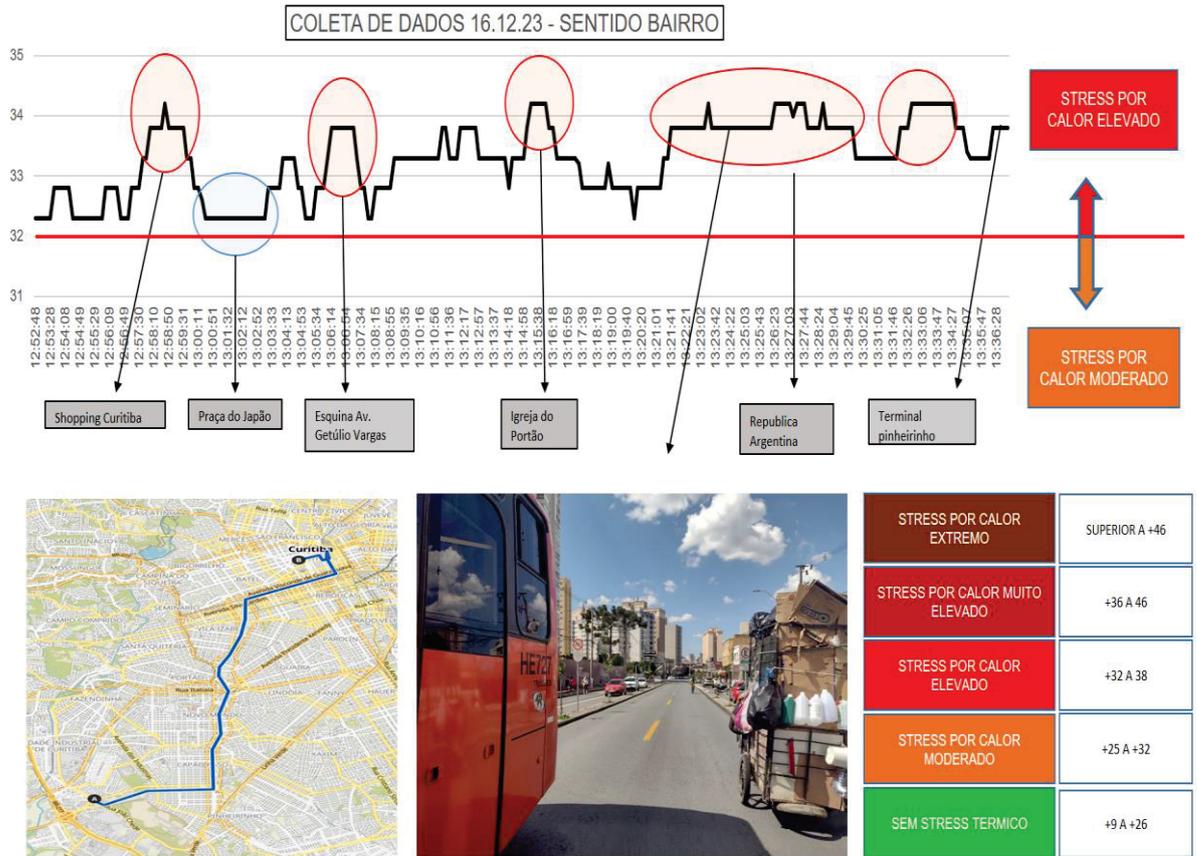
Os três dias anteriores e mais dois posteriores a essa coleta, apresentaram características climáticas semelhantes. Os valores registrados pela estação automática do INMET localizada na UFPR, registraram como temperatura máxima nesse período o valor de 30,8° C, trazendo novamente o reforço da necessidade e importância de estudos nas escalas microclimáticas.

Figura 55 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 16.12.2023, sentido centro



Fonte: Autor, 2024

Figura 56 - Infográfico do Transecto móvel e coleta de dados dia 16.12.2023, sentido bairro



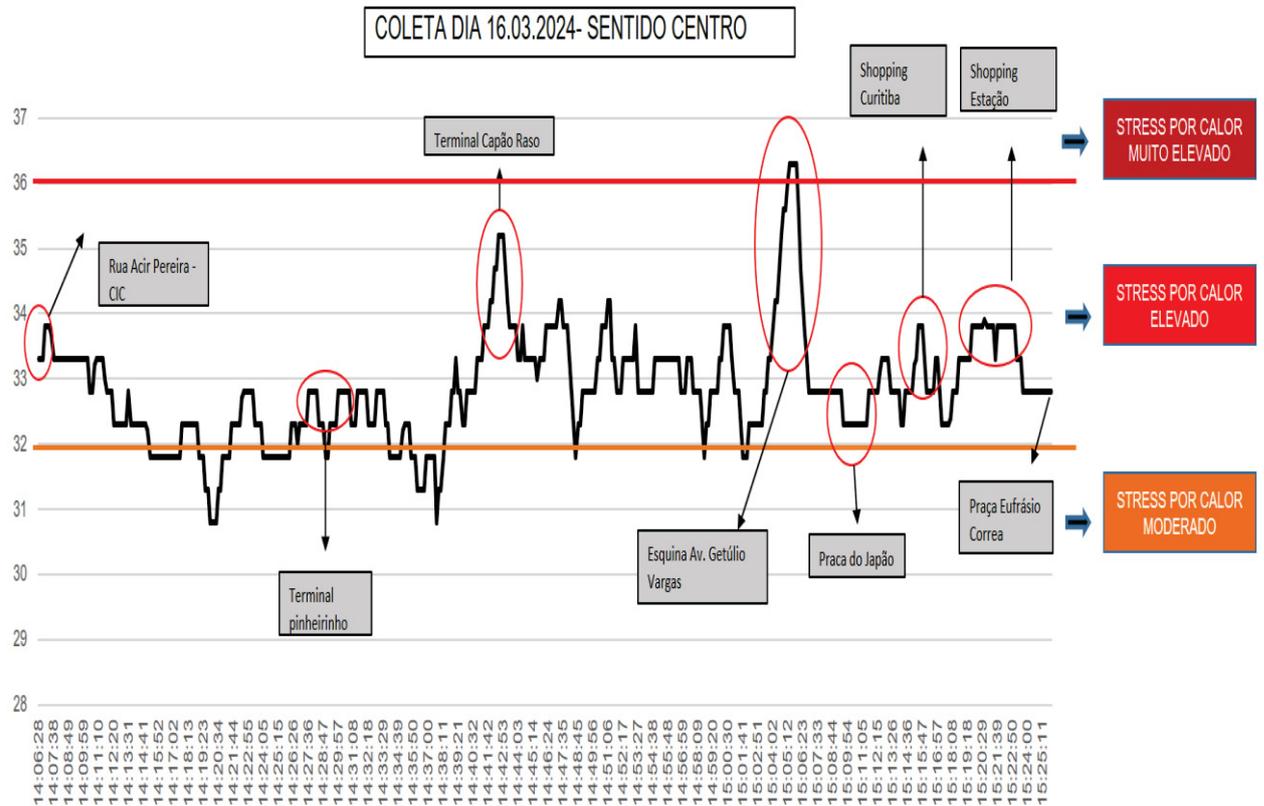
Fonte: Autor, 2024

Por fim, no dia 16 de março de 2024, quase de outono, foi realizada uma última coleta de dados por transecto móvel envolvendo o eixo estrutural sul. O dia apresentou sol, com velocidade e rajadas de vento de fraca a moderada. Através dos dados coletados, verificou-se a repetição da incidência de níveis de estresse térmico durante todo o deslocamento (20km). No sentido centro (figura 57) a maior parte do trajeto apresentou estresse térmico por calor elevado, tendo as regiões próximas aos terminais e shoppings maior intensidade de calor.

Na esquina da Avenida Getúlio Vargas com a Sete de setembro foi registrado temperaturas acima de 36 ° C, indicando estresse por calor elevado. As localidades próximas à praça do Japão e da praça Eufrásio Corrêa, representaram reduções de

temperatura comparadas aos outros pontos do transecto. Importante destacar que nesse dia Curitiba apresentou 23,4° C de temperatura mínima durante o dia, o maior valor de temperatura mínima na história (INMET, 2023).

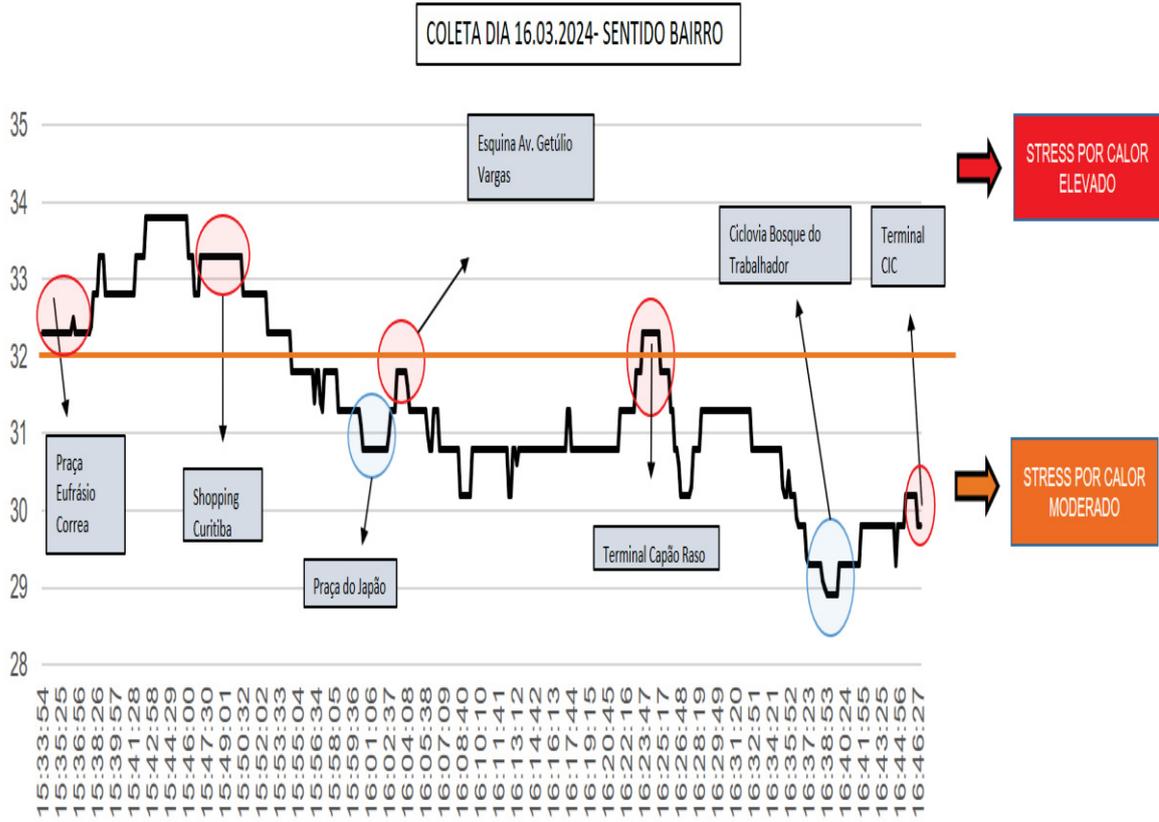
Figura 57 - Gráfico do transecto móvel e coleta de dados dia 16.03.2024, sentido bairro



Fonte: Autor, 2024

O deslocamento sentido bairro (Figura 58), também apresentou na maior parte do trajeto, estresse por calor elevado, assim como estresse por calor moderado. A temperatura máxima registrada pelo INMET nesse período foi de 32,6 °C, enquanto o equipamento instalado na bicicleta registrou 36,3° C. As condições climáticas desse dia foram semelhantes dois dias antes e um dia posterior.

Figura 58 - Gráfico do transecto móvel e coleta de dados dia 16.03.2024, sentido bairro



Fonte: Autor, 2024

De maneira geral, os transectos móveis realizados nessa pesquisa, entre setembro de 2023 a março de 2024, demonstraram durante a maioria dos deslocamentos algum nível de estresse térmico. Esses níveis de estresse foram predominantes em ambos os sentidos do trajeto, variando em grande medida, entre estresse por calor moderado e estresse por calor elevado. Alguns pontos, que se repetiram nos transectos, chegaram a apresentar estresse térmico por calor muito elevado.

Outro fator que merece destaque, como já observado, é que as condições de estresse térmico verificadas durante os dias de transecto móveis, se repetiram por mais dias.

Para melhor compreensão dos resultados, o eixo estrutural sul pode ser dividido nas avenidas que lhe compõem (figura 59). Entre essas avenidas, a avenida Sete de setembro, foi a que apresentou na maior parte dos transectos, o maior nível de estresse térmico, seguida da Avenida República Argentina e da Avenida Winston Churchill. Esse fato provavelmente possui relação com a verticalização dos prédios ao longo do eixo, que vai aumentando no sentido bairro-centro (sul-norte), atingindo os maiores níveis a partir da proximidade da esquina Getúlio Vargas com a Avenida República Argentina, continuando com níveis altos de verticalização por boa parte da avenida Sete de setembro (figura 59).

Figura 59 - Avenidas que compõem o eixo estrutural sul e verticalização ao longo do eixo estrutural sul



Organizado por: Autor, 2023

Pela imagem anterior (Figura 58) é possível observar que o nível de verticalização das edificações aumenta no sentido bairro-centro, ou seja, da avenida Winston Churchill, a Avenida Sete de setembro. Nas avenidas, entre os locais com os níveis mais altos de estresse térmico, estão aqueles próximos aos terminais, shopping centers e alguns cruzamentos mais movimentados. Esses locais além de outras características, possuem baixa ou nenhuma arborização, concentram fluxos de transporte público, espaços construídos ampliados, além de fluxos de automóveis através do cruzamento de vias mais movimentadas.

Na sequência, é possível observar algumas imagens produzidas durante os deslocamentos ciclísticos, referentes aos locais de destaque em níveis de estresse térmico, separadas por trechos (Avenidas). Como visto, esses locais apresentam características urbanas que contribuem com diferenciações relacionadas a variabilidade térmica, e conseqüente níveis de estresse térmico.

A figura 60 revela imagens da primeira parte do trecho, tendo como referência o deslocamento ciclístico no sentido bairro-centro, num percurso de aproximadamente 3 quilômetros, entre o terminal do Pinheirinho e o Terminal do Capão Raso, compreendendo a Avenida Winston Churchill e um pequeno trecho da Avenida República Argentina.

Figura 60- Imagens no trecho entre o Terminal do Pinheirinho e o Terminal do Capão Raso



Fonte: Autor, 2023

A primeira (a) e segunda (b) imagens, são referentes a área do terminal do Pinheirinho, enquanto as imagens (c) e (d) são relacionadas a pontos no trecho que mostram obras nessa parte do eixo estrutural sul. Essas obras se iniciaram em 2023, permanecendo em andamento durante a escrita dessa pesquisa. As obras envolveram entre outras ações, a revitalização do eixo, com retiradas de alguns tubos do transporte público, o alargamento da canaleta em certos trechos, aplicação de concreto em alguns trechos, além da implantação em alguns trechos da via calma para o uso compartilhada com os automóveis.

As obras também realizaram a plantação de árvores ao longo da canaleta do ônibus, que podem levar até cinco anos para atingir um tamanho ideal (PMC, 2024) se tiverem boa cuidado e manutenção. A figura 61 mostra imagens relacionadas ao trecho envolvendo parte da Avenida República Argentina e o terminal do Capão Raso.

Figura 61 - Imagens de pontos do trecho na Avenida República Argentina.

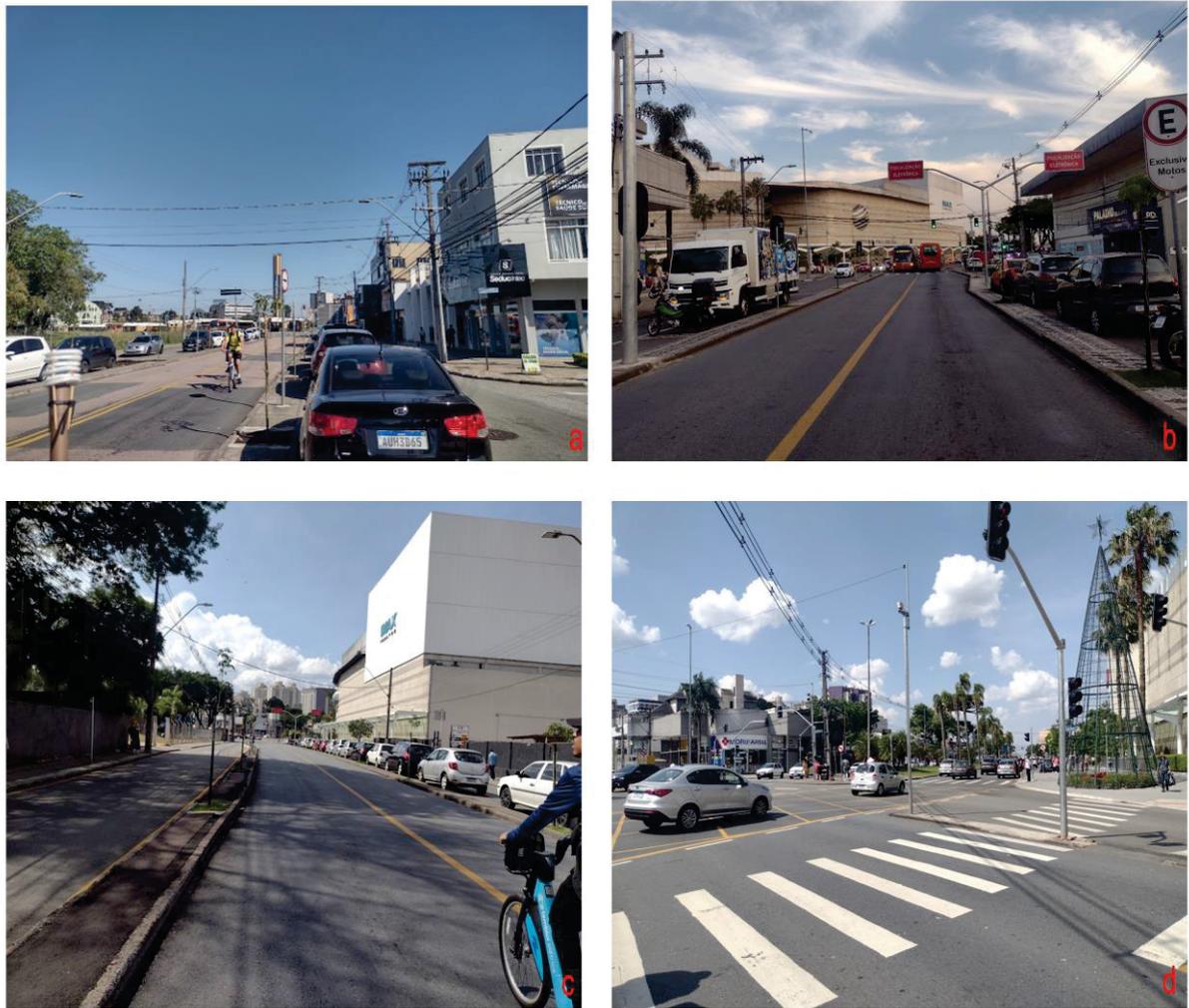


Fonte: Autor, 2023

A imagem (a) mostra o terminal do Capão Raso e as demais imagens representam outros pontos nesse trecho. A imagem (b) chama a atenção, como já comentado nesta pesquisa, que além dos deslocamentos ciclísticos, temos outros atores se deslocando neste espaço, como os catadores de recicláveis, pessoas em situação de rua, entre outros. As imagens também revelam a quase inexistência de arborização, exceto por algumas que foram plantadas recentemente que ainda não oferecem nenhuma melhora no conforto térmico.

Ainda na Avenida República Argentina (figura 62), temos outros pontos destacados, como a área envolvendo o Shopping Palladium nas imagens (b) e (c), onde se pode notar a confluência de vias destinadas ao transporte de veículos (d). Esse trecho também apresenta baixa ou nenhum índice de arborização.

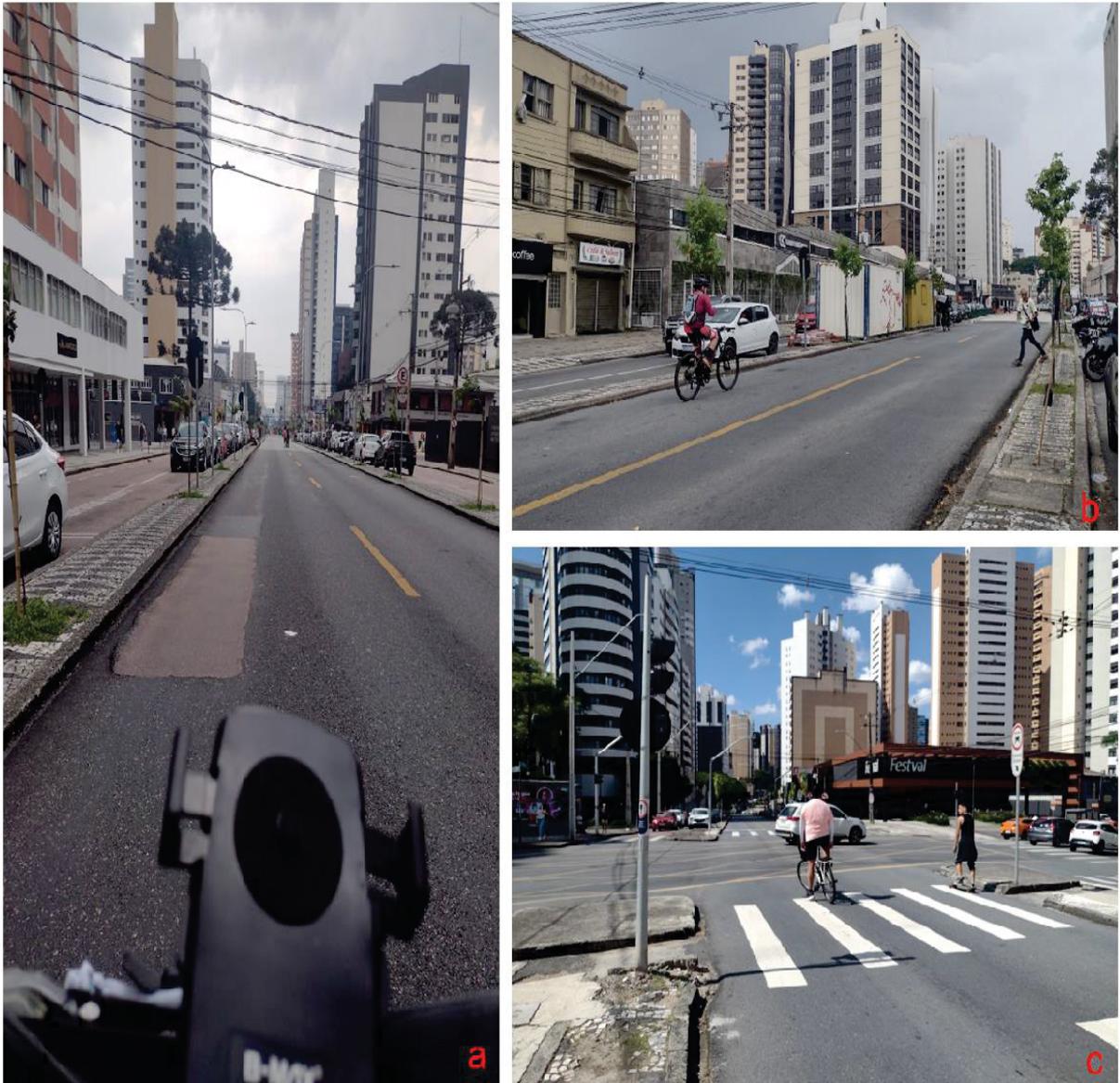
Figura 62 - Imagens de pontos dos transectos móveis na Avenida República Argentina



Fonte: Autor, 2024

Ainda no trecho da Avenida República (figura 63), é possível perceber o começo do aumento da verticalização dos edifícios (b), (c). Esse trecho vai englobar a esquina da Avenida Getúlio Vargas (c), ponto que apresentou os maiores índices de estresse térmico em vários dos transectos realizados.

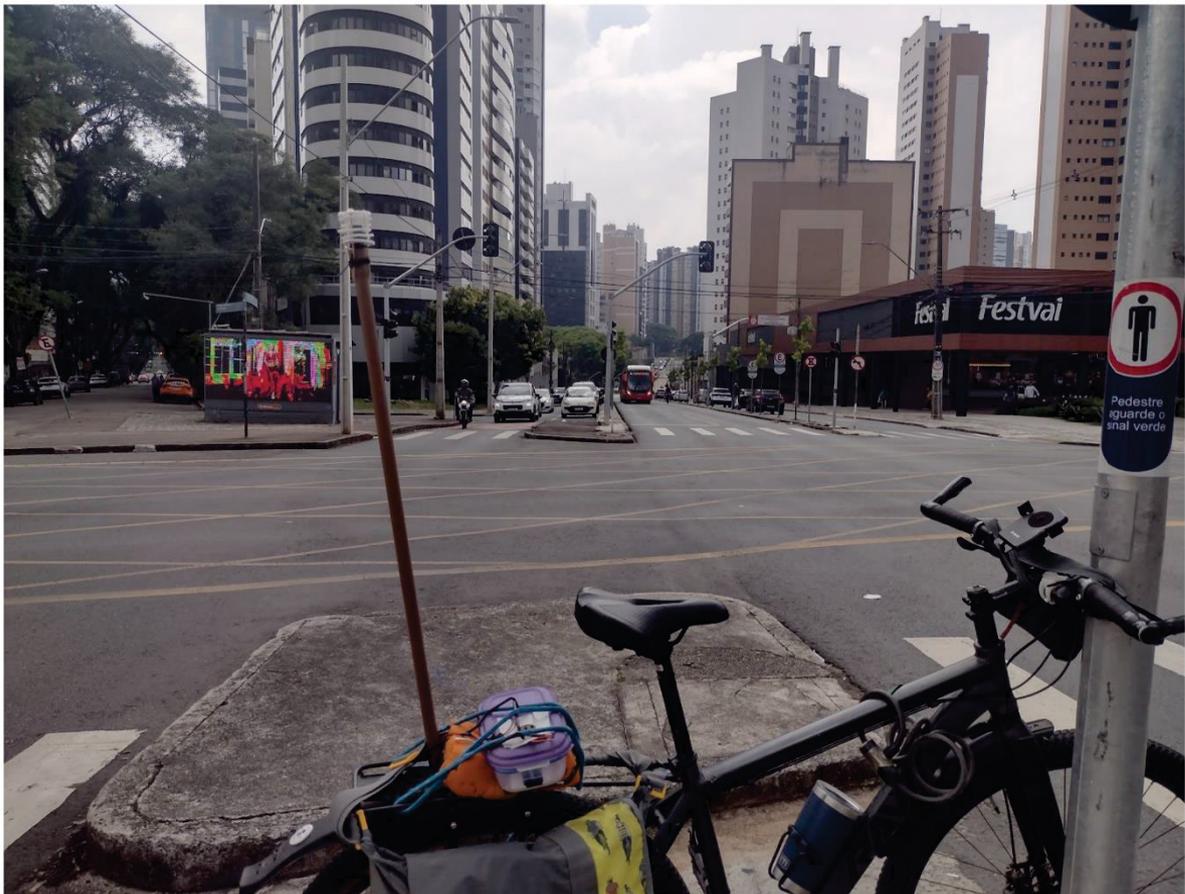
Figura 63 - Pontos do trecho da Avenida República Argentina próximo à esquina da Avenida Getúlio Vargas.



Fonte: Autor, 2023

Na figura 64, podemos ver com mais detalhe esse ponto da esquina da Avenida Getúlio Vargas, trecho que apresenta grandes fluxos de cruzamento de automóveis e marca o início de um cânion urbano (Hardt et al., 2024; Suga, 2005). Após esse trecho, acontece um desnível na via até subir novamente na altura da praça do Japão, ponto que teve destaques na redução da temperatura durante os transectos.

Figura 64 - Esquina da Avenida Getúlio Vargas com a Avenida República Argentina



Fonte: Autor, 2024

Na figura 65 temos detalhes em imagens do trecho do eixo estrutural sul compreendendo a Avenida Sete de setembro. Segundo os dados coletados, este trecho apresentou na maior parte dos transectos os maiores níveis de estresse térmico, quando comparado aos demais trechos.

Pelas imagens é possível verificar o nível de verticalização dos edifícios, que ganha concentração maior a partir do início da Avenida e se estendendo até a altura do shopping estação. Aqui novamente se repete a baixa ou zero nível de arborização, sendo verificado em alguns pontos o plantio recente de árvores, mas com trechos sem nenhuma intervenção, lembrando como já comentado, que esses trechos passaram por obras de revitalizações muito recentemente.

Figura 65 - Imagens de pontos dos deslocamentos ciclísticos no trecho da Avenida Sete de Setembro.



Fonte: Autor, 2023

Também nesse trecho da Avenida Sete de setembro, logo após a praça do Japão, é possível verificar o início da configuração de cânion urbano. Na imagem 66 podemos ver melhor detalhada, a questão morfológica dos edifícios através do sombreamento das áreas destacadas configurando a formação desse cânion urbano (Hardt et al., 202; Suga, 2005).

Figura 66 - Imagem em destaque do Cânion urbano na Avenida Sete de setembro, sentido sul-norte



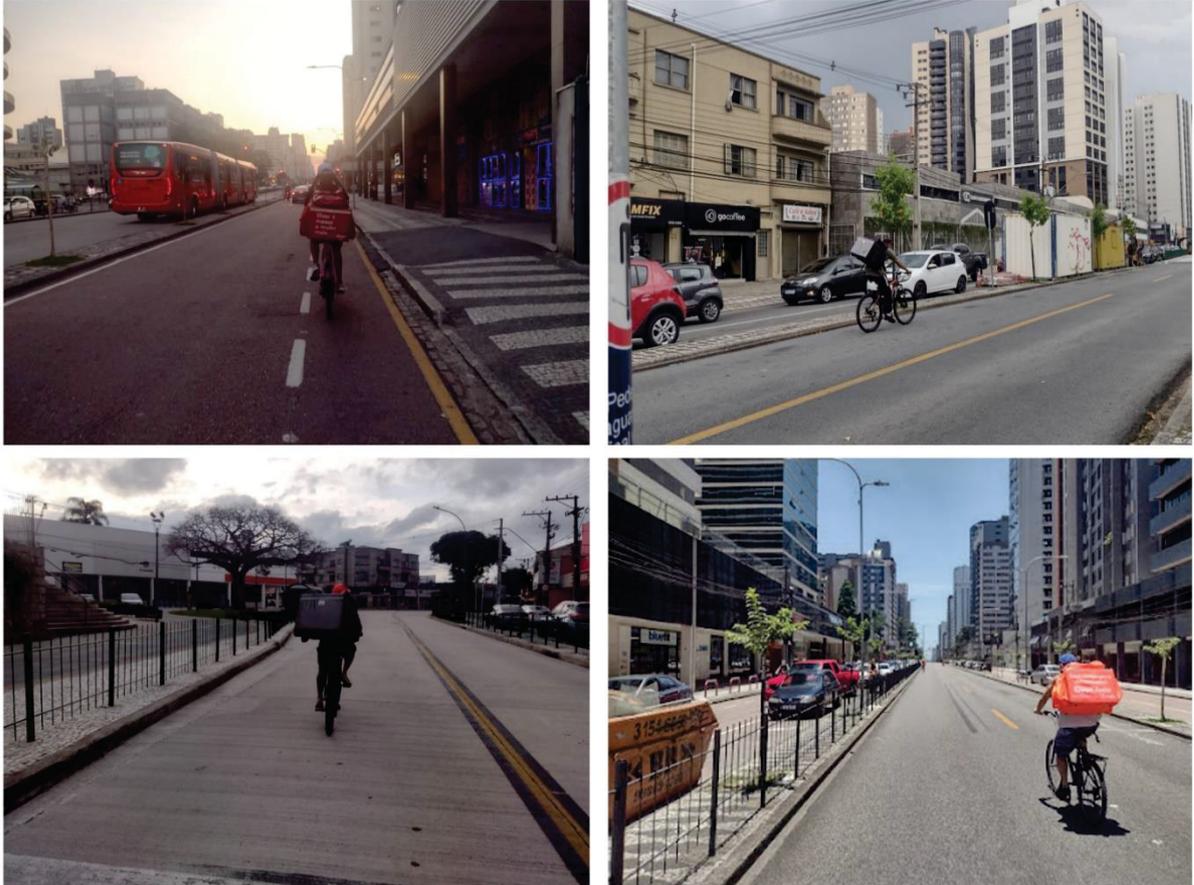
Fonte: Autor, 2024

Cabe ressaltar que as condições verificadas de estresse térmico nos deslocamentos ciclísticos dessa pesquisa, impactam os vários usos da bicicleta no meio urbano, porém como já mencionado, é preciso destacar esses impactos nos deslocamentos realizados pelos cicloentregadores. É essa categoria de uso que representa maior vulnerabilidade diante dos impactos do clima urbano.

Durante a realização da maior parte dos transectos, o autor dessa pesquisa sentiu enorme desgaste físico, tendo os deslocamentos não durados mais de duas horas. Agora, é necessário imaginar esse desgaste físico após horas de trabalho.

A grande maioria dos ciclistas entregadores observados durante o trajeto (Figura 67), não estavam utilizando proteções básicas, como o capacete, ou algum outro equipamento de proteção individual.

Figura 67 - Cicloentregadores durante condições de estresse térmico no eixo estrutural sul de Curitiba



Fonte: Autor, 2023

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como é possível constatar, as consequências da crise climática e ambiental que a sociedade enfrenta, são refletidas entre outros fatores, no aumento da temperatura média do planeta e na intensificação dos eventos extremos. Esses fatores, somados a processos urbanos altamente desiguais a nível econômico e social, por sua vez, contribuem para gerarem e tornarem mais comuns os impactos negativos do clima urbano sobre sua população.

Entre os deslocamentos diários da população em diversas cidades, aqueles realizados com bicicletas, fazem parte do grupo onde os riscos e a vulnerabilidades a esses impactos são maiores. E dependendo do uso, a vulnerabilidade se torna maior, como no caso da ciclogística.

Embora exista a promoção da bicicleta como meio de transporte mais sustentável do mundo (ONU, 2020), é possível verificar, como a exemplo de Curitiba e outras cidades brasileiras, planejamentos urbanos e cicloviários que desconsideram esses impactos, sobretudo para atender os grandes fluxos do uso da bicicleta como utilitária e instrumento de trabalho, que se deslocam em meio a ondas de calor, vias alagadas, entre outras adversidades. Somado a essa desconsideração, as próprias cidades contribuem para potencializar os impactos negativos ligado ao clima.

Diante disso, a presente pesquisa possibilitou a análise de algumas relações que envolvem o clima urbano e o uso da bicicleta. Através da coleta de dados e de avaliações de condições de estresse térmico durante deslocamentos ciclísticos na cidade de Curitiba, foi possível apresentar o uso da bicicleta no meio urbano em meio a sua promoção como transporte sustentável e os seus desafios relacionados a impactos do clima.

Entre esses desafios, foi possível verificar a fragilidade da estrutura cicloviária adequada para deslocamentos mais confortáveis do ponto de vista térmico, além de inseguros e pouco democráticos para os diferentes usos e deslocamentos ocorridos na cidade. Assim como o impacto térmico avaliado, foi possível compreender de forma geral outras condições ambientais e atmosféricas que influenciam o uso da bicicleta, como a chuva ou a infraestrutura adequada.

Os cenários climáticos previstos e já presenciados relacionados ao clima urbano indicam aumento na ocorrência e na intensificação dos eventos extremos. Desta maneira, torna-se urgente ações que além de promover a bicicleta, reduzam os desconfortos térmicos e demais impactos climáticos para os ciclistas.

É importante ressaltar que os deslocamentos, bem como os ciclistas são diversos e que as generalizações devem ser evitadas para compreender os diferentes usos da bicicleta, principalmente, considerando aqueles que passam mais horas de deslocando, indo para o trabalho, ou trabalhando e que não são atendidos nos planejamentos e ações ciclovias.

Como verificado, os resultados encontrados nessa pesquisa, indicaram condições de estresse térmico durante grande parte dos trajetos realizados.

Boa parte do eixo estrutural sul, local dos trajetos, passou por revitalizações recentemente e hoje conta com muito pouca ou nenhuma presença de arborização. Ouve plantio de linhas de arvores em alguns trechos, e que não coincidem com os pontos que apresentaram maiores níveis de estresse térmico. O plantio envolveu mudas pequenas que se tiverem êxito de desenvolvimento, podem oferecer utilidade em cinco anos.

Além disso, como foi possível verificar, o eixo estrutural sul é marcado pela formação de cânions urbanos, que em condições de temperaturas elevadas, potencializa os efeitos do calor, além de influenciar outras variáveis atmosféricas, como os ventos e a poluição atmosférica.

A pesquisa observou que os maiores fluxos ciclísticos ocorrem próximos e nas áreas dos eixos estruturais, sendo recentemente, ainda mais impulsionado pelo planejamento urbano através da instalação das chamadas vias calmas e sistema de compartilhamento de bicicleta privado (TEMBICI).

Diante dos impactos relacionados ao estresse térmico nos deslocamentos ciclísticos no eixo estrutural, não há nenhuma indicação ou ação da prefeitura para tratar o problema, mesmo sabendo dos impactos e riscos crescentes (PLANCLIMA, 2020). Bem como por parte das empresas ligadas a ciclogística, pouca informação foi encontrada. Em um mural de notícias na internet da empresa IFOOD (2023), é dado cinco “dicas” para refrescar o calorão do fim de semana: - Levar uma garrafa de água, passar protetor solar, usar roupas leves e fazer pausas entre as entregas, além

de ir ao ponto de apoio para descanso. Essa pesquisa teve por função chamar a atenção para esse contexto, produzindo subsídios que permitam criar ações para o enfrentamento dos impactos do clima sobre os deslocamentos ciclísticos.

Ao aprofundarmos a compreensão sobre as condições microclimáticas durante os deslocamentos ciclísticos, levando em consideração perspectivas a partir dos usuários de bicicleta, é possível identificar e propor medidas destinadas a reduzir os impactos e riscos negativos associados ao clima urbano. Dessa forma, a cidade e as viagens ciclísticas podem se tornar mais confortáveis do ponto de vista climático.

Soluções simples já são conhecidas, como a questão da importância da arborização e corpos de água para aliviar as altas temperaturas. Nesse cenário a distribuição de água potável por meio de bebedouros públicos deveria ser obrigatória, a exemplo de outras cidades, assim como abrigos e pontos de descanso ao longo do caminho. Outro fator que poderia contribuir para evitar o estresse térmico, é o fornecimento e a utilização de roupas apropriadas, o uso de protetor solar, além de outros EPI'S (equipamentos de proteção individual) que podem ajudar, como um chapéu para sombreamento parcial da cabeça.

Esses fatores podem vir acompanhados de campanhas de conscientização sobre os riscos do calor extremo e estresse térmico. A questão envolvendo um valor adicional de insalubridade aos cicloentregadores, relacionada aos riscos térmicos, também merece ser pensada. No esporte do ciclismo, já existem protocolos para salvaguardar a saúde dos ciclistas (RECORD, 2023).

Como as coletas de dados foram realizadas em estações de temperaturas mais amenas, indica-se a necessidade de verificações de estresse térmico por frio nesses períodos também. Curitiba encontra-se em região de clima temperado, indicando baixas temperaturas durante boa parte do ano. Porém, com as previsões climáticas em andamento é mais provável o aumento na frequência de eventos de ondas de calor. Sugere-se igualmente análises de outras condições atmosféricas que impactam os deslocamentos ciclísticos, como a chuva e a poluição.

Embora o recorte espacial da pesquisa ter sido o eixo estrutural sul, os demais eixos estruturais da cidade apresentam características semelhantes ao eixo analisado, atraindo crescimento e fluxos de deslocamentos ciclísticos. Sendo assim essa pesquisa aponta a importância da realização de mais estudos envolvendo outras

áreas da cidade, além das relações de conforto térmico dos usuários, levando em conta demais variáveis e contexto social. Destaque-se igualmente, a necessidade de mais em estudos envolvendo estresse térmico em períodos frios.

Para aumentar a robustez das análises e a amplitude de coletas envolvendo maiores áreas na cidade, recomenda-se o uso de mais de um equipamento de coleta. Inicialmente, essa pesquisa teve a intenção de usar dois equipamentos de coleta, assim como duas bicicletas. Elas sairiam no mesmo trajeto e horário em sentidos contrários, uma partindo do centro e outra do bairro. A utilização de mais de dois equipamentos permitiria um monitoramento ampliando em diversos pontos da cidade de forma integrada e simultânea.

É importante destacar que os resultados encontrados nessa pesquisa dizem muito como foi observado de uma cidade “modelo” e localizada zona de clima temperado do Brasil. Os efeitos de temperaturas altas e ondas de calor podem ter seus efeitos ainda mais potencializados em cidades de clima tropical, que abrange a maior parte do território brasileiro.

A presente pesquisa indica outras possibilidades de uso e aplicações envolvendo o arduino e a bicicleta para coletas de dados por transecto móvel, refletidas durante o trabalho.

- Construção de redes colaborativas e gratuitas de dados meteorológicos em medições móveis por usuários de bicicleta, tanto na parte do lazer e do esporte, quanto para utilização dos trabalhadores de entrega. Gerando dados a partir de diversos deslocamentos no espaço urbano.
- Percepção de quem se desloca de bicicleta para subsídios e melhoria das condições ambientais através do planejamento urbano.
- Educação e conscientização climática através da ciência (Geografia) e da tecnologia arduino (open-source) sobre as mudanças climáticas globais.
- A pesquisa pode ser usada para o cicloturismo, identificando lugares que precisam de estruturas para ajudar casos extremos, ou estresses térmicos.

Esta pesquisa buscou contribuir para o avanço de estudos climáticos na geografia e outras áreas de interesse relacionadas ao clima urbano e a ciclomobilidade, com foco nas escalas microclimáticas.

Através das ferramentas e métodos utilizados buscou-se apresentar uma proposta metodológica visando a democratização do conhecimento climático, através de acesso a dados meteorológicos primários. Essa busca está em alinhamento com os objetivos do desenvolvimento sustentável números 10 e 13 (ONU, 2015), que procura reduzir as desigualdades sociais e econômicas, promovendo a igualdade de oportunidades para todos, incluindo ações de enfrentamento climático. A metodologia desenvolvida tem baixo custo e pode ser facilmente operada, contribuindo para a inclusão de mais pesquisadores e profissionais interessados nos estudos climáticos urbanos.

7. REFERÊNCIAS

_____. Lei nº. 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9503.htm>. Acesso em: 08 maio 2009.

ABÍLIO, L. C. **Uberização do trabalho: subsunção real da viração**. Passa Palavra, 2017. Disponível em: Acesso em: 29/06/2020.

ALIANÇA BIKE. Pesquisa de perfil dos entregadores ciclistas de aplicativo. Relatório. São Paulo, 2019.

ALIANÇA BIKE; LABMOB. Ciclogística; entregas de bicicleta e triciclo no Bom Retiro. Relatório. São Paulo, 2018.

ALMEIDA, J. M. de V. **Monitoramento de índice de conforto térmico humano no Brasil**. 2017. 169p. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2017.

AMORIM, M. C. C. T.; NETO, J. L. S.; DUBREUIL, V. Estructura térmica identificada por transectos móveis y canal térmico de Landsat 7 IN ciudad tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, [S. l.], n. 43, p. 65–80, 2021.

AMORIM, M. C. C. T.; SANT'ANNA NETO, J.L.; MONTEIRO, A. M. S. (Orgs.) - Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. 1. ed. São Paulo: **Outras Expressões**, 2013. 279p.

AMORIM, M. C. de C. T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 2017. 178 p. Tese (Livre docência) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente/SP.

ANDRADE, H. O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, [S. l.], v. 40, n. 80, 2005.

ANJOS, M (2024). LCZ4r: Tools for Local Climate Zones and Urban Heat Island Analysis. R package version 0.1.0, Disponível em: <https://bymaxanjos.github.io/LCZ4r>

ARAÚJO, A. P.; ALEIXO, N. C. R.; MENEZES, B. B.; GROSSO DE SOUZA, C.; VACAFLORES RIVERO, C. A.; MONTEZANI, E.; HERREIRO BRAIDO, L. M.; TEODORO, P. H. M.; AMORIM, M. C. de C. T. Ensaio metodológico sobre a utilização de transectos móveis no período diurno em Presidente Prudente-SP. **Formação (Online)**, [S. l.], v. 1, n. 17, 2011.

ARDUINO.CC. Disponível em <https://www.arduino.cc/>. Acessado. 12/12/2022.

- AUGÉ, M. **Éloge de la bicyclette**. Paris: Éditions Payot & Rivages, 2010.
- AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos, revisão de Suely Bastos; coordenação editorial de Antônio Christofolletti. 14 ed. Rio de Janeiro, 2003.
- BATTISTON, M.; OLEKSZECHEN, N.; DEBATIN NETO, A. Barreiras e facilitadores no uso da bicicleta em deslocamentos diários: alternativas para a mobilidade urbana. **Revista de Ciências Humanas**, v. 51, p. 269, 2017.
- BELOTTO, J. C. **Bicicleta: opção para mobilidade urbana mais saudável e sustentável**. Monografia. Paraná, Universidade Federal do Paraná, 2009.
- BELOTTO, J. C. A. Ciclomobilidade: Um Estudo De Caso Sobre A Participação Da UFPR Na Implantação Do CICLOPARANÁ - Programa Paranaense De Mobilidade Não Motorizada Por Bicicleta. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Territorial Sustentável) – Universidade Federal do Paraná, Matinhos, 2017.
- BRASIL. Lei no. 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, de 03 de janeiro de 2012.
- BRASIL. Ministério das Cidades. (2007). Caderno de referência para elaboração de Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades (Coleção Bicicleta Brasil, 1). Brasília: Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana.
- CAMARGO, E. M. de. **Barreiras e facilitadores para o uso de bicicleta em adultos na cidade de Curitiba – um estudo com grupos focais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Curso de Pós-graduação em Educação Física, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012. 91 f.
- CARVALHO, V. F. M. de. **Contributos bioclimáticos para o planejamento urbano sustentável: medidas de mitigação e de adaptação enquanto resposta às alterações climáticas**. 2006. 336 f. Dissertação (Mestrado em planejamento e projeto do ambiente urbano). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- CASTELHANO, F., PINTO, J.E.S. Aspectos Geográficos da Qualidade do Ar em Aracaju, Brasil. **Caminhos de Geografia Uberlândia-MG** v. 23, n. 87 jun./2022 p. 191–205.
- CASTELHANO, F., DIAS, MARIANA. (2021). Proposição metodológica para espacialização de poluentes e medição da qualidade do ar: estudo de caso em Curitiba/PR. **Conferência: XIV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica/João Pessoa**.
- CASTELHANO, F.; PINTO, J. Urban morphology and air quality in Curitiba, Paraná Southern Brazil. Conference: **XXXIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, 2020, Rennes, France.

CHAPADEIRO, F. C. **Limites e potencialidades do planejamento cicloviário: um estudo sobre a participação cidadã**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) -Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano**. 3. ed. São Paulo: Ática, 1995. (Série Princípios, n. 174).

CONSIGLIERI, L. M.; PAMPUCH, L. A.; SARAIVA, A. C. V. Estação Meteorológica de baixo custo com Arduino. UNESP, Campus de São José dos Campos, Engenharia Ambiental, Anais... XXVIII Congresso de Iniciação Científica da Unesp, São José dos Campos, SP, 2017.

CURITIBA. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Avaliação de riscos climáticos da cidade de Curitiba. Curitiba: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, 2020. Disponível em <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00305799.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.

DE MATTOS, M. A. C.; CORTEZ, S. F. N. BARREIRAS., Desafios, possibilidades da modal bicicleta no transporte urbano. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 3, n. 12, p. e3122382, 2022.

DE SOUZA, D. M.; NERY, J. T. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **GEOGRAFIA** (Londrina), [S. l.], v. 21, n. 2, p. 65–83, 2013. DOI: 10.5433/2447-1747.2012v21n2p65.

DUMKE, E. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade - Uma perspectiva a partir do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AU-RMC)**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

ELY, D. F. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas**. 2006. 208 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

ESTRESSE. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2024. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/risco/>>. Acesso em: 27/07/2024.

FANTE, K. P. **Eventos extremos de temperatura e seus impactos no conforto térmico humano: Estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima**. 2019. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista.

FERRAZ, I. S. et al. Avaliação do uso da primeira Via Calma em Curitiba/PR para ciclomobilidade. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, 2017.

FERREIRA, L.; DUARTE, D. Local Climate Zone (LCZ) map of the São Paulo Metropolitan Region – 2017. **Mendeley Data**, V2.

FIORAVANTI, L. M. Espaço urbano e plataformas digitais: deslocamentos e condições de trabalho dos cicloentregadores da metrópole de São Paulo. **Geosp**, v. 27, n. 2, e-201427, maio/ago. 2023.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. 2009. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FLYNN, B. S. et al. Weather factor impacts of commuting to work by bicycle. **Preventive medicine**, v. 54, n. 2, p. 122-124, fev. 2012.

GALVANI, E. Produção de dados em climatologia geográfica: aplicação às escalas inferiores do clima. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15 –Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia 2019

GEIPOP – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. (2001) **Planejamento Cicloviário**: Observação Nacional. Brasília. 2001.

GOBO, J. P. A. **Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico humano**. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. SP, 2013.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A. Influência do clima regional sobre o clima local a partir do diagnóstico de abrangência espacial e extrapolação escalar. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, fev. 28, 2021.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. de C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: Estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 10, p. 94–106, 2003.

GOOGLE EARTH. (2024). Imagens aéreas dos eixos estruturais de Curitiba, Paraná. [Consultado em: 19 de janeiro de 2024].

HANSON, S.; HANSON, P. Evaluating the impact of weather on bicycle use. **Transportation Research Record**, v. 629, p. 43-48, 1977.

HARDT, M.; DUARTE DE ARAUJO SILVA, F. Envolvimento Vegetal em Cânions Urbanos: análise da aplicação de superfícies vegetadas em edificações dos setores estruturais de Curitiba, Paraná. **Revista de Morfologia Urbana**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. e00152, 2021.

HEINEN, E., et al. Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature. **Transport Reviews**, 30(1), 59-96, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos 2007. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos 2022. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IKEFUTI, P.; AMORIM, M. O conforto e o desconforto térmico em bairros com diferentes padrões de construções em Presidente Prudente/SP. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 15, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Conforto térmico humano. Disponível em: Acesso em: 10 jul.2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais climatológicas (2023-2024). Brasília - DF, 2024.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.

IPPUC. Plano de estrutura Cicloviária. 2019. Curitiba, Paraná.

IPPUC. Site institucional. Acesso entre 2022 a 2024.

KEGLER, J. J. et al. Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Erechim/RS, sob domínio polar em processo de tropicalização. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 215–231, 2016.

KJELLSTROM, T, O. et al. Heat, human performance, and occupational health: a key issue for the assessment of global climate change impacts. **Annual Review of Public Health**, v. 37, p. 97-112, 2016.

KRÜGER, E.; ROSSI, F. Quantificação da ilha de calor de Curitiba considerando aspectos de estabilidade atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 394 - 404, 2015.

LABMOB; ALIANÇA BIKE. Economia da Bicicleta no Brasil. Relatório Técnico. 2018.

LABMOB; ALIANÇA BIKE. Relatório Técnico Ciclogística Brasil. 2020.

LAPTOP.ORG. <https://laptop.org/>. Acessado em: 15/03/2023.

LASKAR, M. Rahaman et al. Weather forecasting using Arduino based cube-sat. *Procedia Comput. Sci*, v. 89, p. 320-323, 2016.

LEHNERT, M. et al. Identifying hot and cool spots in the city centre based on bicycle measurements: The case of Olomouc, Czech Republic. **Geographica Pannonica**, v. 22, p. 230-240, 2018.

LEMOS, L.d.O.; JÚNIOR, A.C.O.; MENDONÇA, F. Urban Canyon in the CBD of Rio de Janeiro (Brazil): Thermal Profile of Avenida Rio Branco during Summer. **Atmosphere** 2022, 13, 27

LIMA, L. de C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B. de; SOUZA, E. L. de. Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 109–127, 2019.

LOBO, Z; ANDRADE, V.; RODRIGUES, J. Pesquisa Perfil do ciclista 2018. Laboratório de Mobilidade Urbana Sustentável da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Associação Transporte Ativo. Rio de Janeiro, 2020.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LONDE, L. R.; TOMÁS, L. R. Ciclovias, políticas públicas e desastres: estudo de caso para São José dos Campos - SP. Paulo. JÚNIOR, L. M et al., (Org.) **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2. ed. São Paulo, CPS, 2020.

MACHADO, D. C.; MENEZES, T. C. de. Uma alternativa sustentável de mobilidade urbana: O uso de bicicletas e o caso de Niterói (RJ). **Planejamento e Políticas públicas**, [S. l.], n. 60, 2022.

MAIA, J. A. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PAULO MANNRICH, J.; DA ROCHA NEVES JR, O. Proposta de estação meteorológica baseada em internet das coisas de código aberto e baixo custo como ferramenta para articulação entre novas tecnologias digitais da informação e comunicação no ensino de vivências/física na educação básica. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 323–334, 2021.

MASSELOT, P. et al. Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. **Lancet: planet healthy**, 2023.

MATEUS, C. P. P. **Ondas de calor e ondas de frio em Coimbra - impactos na mortalidade da população**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

MENDONÇA, F. Aspectos da interação clima – ambiente – saúde humana: da relação sociedade-natureza à (in) sustentabilidade ambiental. **RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 4, n. 4, p. 85-100, 2000.

MENDONÇA, F. A. Aspectos da problemática ambiental urbana da cidade de Curitiba/PR e o mito da "capital ecológica". **Geosp**, v. 1, p. 179 - 188, 2002. ISSN: 14147416.

MENDONÇA, F. A. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Revista Terra Livre**. São Paulo. Ano 19 - vol. I - n. 20 p.205-221 jan/jul. 2003.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: Uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, n.10, págs. 139-148, jul/dez. 2004.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de Superfície e Temperatura do Ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise**, n° 9, ano IX, Curitiba, 2005, p 25-35.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **CLIMATOLOGIA: NOÇÕES BÁSICAS E CLIMAS DO BRASIL**. SÃO PAULO: OFICINA DE TEXTO, 2007. 206p.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: Inovações na análise geográfica. **Revista da ANPEGE**, v. 7, p. 99-109, 2011.

MENDONÇA, F. A. RISCOS E VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTAIS URBANOS: a contingência climática. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 153 a 163, jan. 2011. ISSN 1984-2201.

MENESES, J. R.; SALES, G. de L. Caminhos cicláveis: Conforto térmico como fator de melhoria do uso das ciclovias de Vilhena, RO. **Paranoá**, [S. l.], n. 22, p. 131–142, 2018.

MILANEZ, B.; FONSECA, I. F. Justiça climática e eventos climáticos extremos: o caso das enchentes no Brasil. Brasília: Ipea, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007, Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades, Coleção Bicicleta Brasil, caderno 1, Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, Brasília.

MIRANDA, A. C. de M.; VIEIRA, J.P.B. A bicicleta é o veículo mais sustentável no ambiente urbano. LIMA, Cristina de Araújo (Org.). **Mobilidade urbana: abordagem multidisciplinar**. 1. ed. Curitiba: UFPR, 2019. v. 1, p. 1-26.

MIRANDA, A. C. de M. **Condicionantes da escolha da bicicleta como modal de transporte nos deslocamentos em áreas urbanas: desafios e possibilidades. 2023**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Sociedade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

MINARELLI, Guilherme. “Entrega por bicicleta em São Paulo: mercado, trabalho e práticas ciclísticas”. In: CALLIL, V.; COSTANZO, D. (Orgs.). **Desafio: estudos de mobilidade por bicicleta 3**. São Paulo: CEBRAP, 2020, p. 107-178.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976 (Série Teses e Monografias, n. 25).

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: **Clima urbano**. Tradução. São Paulo: Contexto, 2003 (a)

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003, p. 9-65. (b)

_____. Por um suporte teórico e metodológico para estimular estudos geográfico e clima urbano no Brasil. **Revista Geosul**, Nº09, ano V, 1º semestre de 1990. Florianópolis, 1990a.

_____. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano. **Revista Geosul**, Nº09, ano V, 1º semestre de 1990b. Florianópolis, 1990.

MOREIRA, A. S; PORTELA, A. M.; SILVA, R. Uso da plataforma Arduino no desenvolvimento de soluções tecnológicas para pesquisas de dados atmosféricos na Amazônia. *Revista Perspectiva Amazônica*, v.5, p.119-116. 2013.

MOUSER. Mouser electronics, 2023. DTH11 DATASHEET. Disponível em: https://br.mouser.com/?utm_id=194752216&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwuJ2xBhA3EiwAMVjkVDFS8G0fbvjpGpMKJI8aXepCwUHofHdJ6-ylkSqAFveFLfwvjUhQmhoCfxcQAvD_BwE. Acesso em 10/02/2023

MUTANI, G.; FIERMONTE, F. Microclimate Models for a Sustainable and Liveable Urban Planning. In: **Urban Planning**. 2016.

NAKAMORI, S. Programa de Extensão Universitária Ciclovida: Uma proposta para as universidades brasileiras. Seminário Nacional de Planejamento e Desenvolvimento, 2015.

NANKERVIS, M. The effect of weather and climate on bicycle commuting. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Volume 33, Issue 6, 1999, Pages 417-431. ISSN 0965-8564.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. O clima urbano como risco climático. **Revista GeoUERJ**, n. 34, 2019.

NICHELE, H. E. Relações entre ciclismo e rede de saúde e o caso de Curitiba. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 23, n. 52, p. 993-1016, 2021.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Acesso em: 27 jun. 2024.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. da S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 28, n. 1, 2011.

NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. 2018.

_____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

OMS - Organização Mundial de Saúde. **Mudança climática e saúde humana – riscos e respostas**: resumo atualizado 2008, Brasília: OPAS/OMS, 2008.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. New York: Methuen, 1978.

OKE, T.R. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. **Journal of Climatology**, 1, 237-254, 1981.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982.

OLIVEIRA, B. F. A. de. et al. Impacts of Heat Stress Conditions on Mortality from Respiratory and Cardiovascular Diseases in Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 3, 01 dez. 2020.

OLIVEIRA, I. M. D. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno**. 2000a. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Acesso em: 14 abr. 2024.

OLIVEIRA, D. de. **Curitiba e o mito da cidade modelo**. Curitiba: Editora da UFPR, 2000b.

OLIVEIRA, Rogerio. Devagar quase parando: o uso da bicicleta como ferramenta para o estudo da paisagem. In: OLIVEIRA R, Lazos A. (org.) **Geografia Histórica do Café no Vale do Rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2018.

PASCOALINO, A.; MARANDOLA JR, E. A vulnerabilidade na cidade e as escalas do clima urbano: o potencial das unidades climáticas para o planejamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 5, p. 2711–2726, 2021.

PERES, A. C. (2020). Olha o breque! Movimento dos entregadores vem chamando atenção para a precariedade das relações de trabalho nas plataformas digitais. **Radis: Comunicação e Saúde**, v. 215, pp. 16-24.

PEZZUTO, C. C. **Fatores que influenciam o uso da bicicleta** - Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar, 2002.

PLANCLIMA (2020). Plano de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Prefeitura Municipal de Curitiba. Disponível em: <<https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00306556.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado. Proposta Final. Curitiba: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC, 2008

RAMMÊ, R. S. A política da justiça climática: conjugando riscos, vulnerabilidades e injustiças decorrentes das mudanças climáticas. **Revista de Direito Ambiental**, v.65, p.367, 2012.

RAJKOVICH, B.N.; Et al. A bicycle-based field measurement system for the study of thermal exposure in cuyahoga county, Ohio, Usa. **INT. J. Environ. Res. Public health** 2016, 13, 159.

RECC, Rede Curitiba Climática. Disponível em: <https://www.instagram.com/reccfaz/>; <https://linktr.ee/redecuritibaclimatica>

RIBEIRO, ANTONIO GIACOMINI. As Escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro, n.23, 1993. pp. 288 – 294.

SANCHES, Rafael et al., Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino. 2017. 10.20396/**sbgfa**. **V1i2017.2416**.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica a geografia do Clima: Gênese, paradigmas e aplicação do clima como fenômeno geográfico. In: **ANPEGE**, v. 4, p 61 – 88. 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima Antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**. São Paulo. n. 17 p. 49-62 2ª-semester/2001

SANT'ANNA NETO, J. L. A climatologia dos geógrafos: a construção de uma abordagem geográfica do clima. In: Uma geografia em movimento. 1ed. São Paulo: **Expressão Popular**, v.1, p. 295-318, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo. In: AMORIM, M. C. C. T; SANT'ANNA NETO, J. L; MONTEIRO, A. Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso. **Expressões**, São Paulo, 2013, p. 75 – 91.

SANTOS, A. B. **Mapeamento termohigrométrico do município de Coari-AM**. 2017. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá, 2017

SANTOS, Rui. Arduino Temperature Data Logger with SD Card Module. randomnerdtutorials.com, 2023.
Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-temperature-data-logger-with-sd-card-module/?unapproved=804270&moderation-hash=b1c0aa11181c1a5cdf5b11fc4086e386#comment-804270>

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba-PR - diagnóstico, modelagem e cenários**. Tese. Universidade Federal do Paraná, 2021.

SCHMITZ, L. K.; MENDONÇA, F. de A. REESTRUTURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO: CENÁRIOS DE MODELIZAÇÃO EM CURITIBA-PR APÓS A COPA DE 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 8, 2021.

SCHWEDERSKY, L. **Habilidades, técnicas e movimento: uma abordagem ecológica dos ciclo-entregadores de Florianópolis – SC**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Antropologia Social, Florianópolis, 2019

SPENCER, P.; WATTS, R.; VIVANCO, L.; FLYNN, B. The effects of environmental factors on bicycle commuters in Vermont: influences of a northern climate. **Journal of Transport Geography**, 31, 11-17, 2013.

SPIGNARDI, M. de C. M.; MONTEIRO, L. M. A influência das variáveis microclimáticas na decisão pelo uso da bicicleta em centros urbanos: uma revisão da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 220–235, 2017.

STALLMAN, R. M. Free software, free society: selected essays of Richard M. Stallman. GNU Press, 2015

STEINKE, E.T. **Climatologia Fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 144 pp.

STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. 2012. **Bulletin of the American Meteorological Society** 93(12):1879-1900

SUGA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba**. 211f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2005

SUNROM.COM. Disponível em <https://www.sunrom.com/>. Acessado. 12/12/2022

TURBA, I. et al., A systematic review on human thermal comfort and methodologies for evaluating urban morphology in outdoor spaces. **Climate**, v. 12, n. 30, 2024.

VALIN JR, M. O. **Análise de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis**. 2019. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá, 2019

VOOGT, J. How Researchers Measure Urban Heat Islands, 2007.

VASCONCELLOS, E. A. D., CARVALHO, C. H. R. D., & PEREIRA, R. H. M. Transporte e mobilidade urbana. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2011. CEPAL/IPEA, Vol. 34.

WATTS, N. et al. The Lancet Countdown: tracking progress on health and climate change. **Lancet**, Reino Unido, v. 389, ed. 10074, p. 1151-1164, 2017.

WRITZL, LUANA. **Conforto térmico humano em caminhos disponíveis ao uso da bicicleta em balneário Camboriú - SC, em situação veranil**. Santa maria, 2022. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria.

WRITZL, L. et al. Mobile Measurements in the Urban Thermal Environment Using Bicycles: A Systematic Review. **Preprints** 2023, 2023121929. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.1929.v1>

ZANGALLI JR., P. C. **O capitalismo climático como espaço de reprodução do capital: governança do clima e sujeitos sociais**. Presidente Prudente, junho de 2018. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista-Unesp.

ZANGALLI JR, P. C. **Entre a Ciência, a Mídia e a Sala de Aula: contribuições da geografia para o discurso das mudanças climáticas**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015.

ZHAO, P. The impact of the built environment on bicycle commuting: evidence from Beijing. **Urban Studies**, v. 51, n. 5, p. 1019-1037, 2014.

Mais um trecho da ciclovia da Avenida Ipiranga desaba em dia de chuva. GAÚCHA ZH, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2023/09/mais-um-trecho-da-ciclovia-da-avenida-ipiranga-desaba-em-dia-de-chuva-clm51002p001b017yfqg6mzsoa.html>. Acesso em: 21/07/2023.

Prefeitura-lanca-nova-ciclofaixa-de-lazer-com-instalacao-de-xiringador-para-diminuir-a-sensacao-de-calor-dos-ciclistas. Fortaleza.ce.gov.br/noticias, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-lanca-nova-ciclofaixa-de-lazer-com-instalacao-de-xiringador-para-diminuir-a-sensacao-de-calor-dos-ciclistas>. Acesso em: 21/07/2023

Veneza marajoara: Conheça Afuá a cidade das bicicletas. Portal Amazônia, 2021. Disponível em: <https://portalamazonia.com/estados/para/veneza-marajoara-conheca-afua-a-cidade-das-bicicletas>. Acesso em: 15/08/2023

Fim da primavera: relembre as nove ondas de calor que atingiram o Brasil. O Globo, 2023.

Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/noticia/2023/12/21/fim-do-primaverao-relembre-as-nove-ondas-de-calor-que-atingiram-o-brasil.ghtml>. Acesso em: 03/03/2024

Estudo alerta sobre potenciais riscos à saúde causados pelo estresse térmico. Portal Fiocruz, 2023. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/estudo-alerta-sobre-potenciais-riscos-saude-causados-pelo-estresse-termico>. Acesso em: 10/12/2023.

2023, o ano mais quente em 174 anos, confirma relatório da OMM. Portal INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/2023-%C3%A9-o-mais-quente-em-174-anos-confirma-relat%C3%B3rio-da-omm>. Acesso em: 02/02/2024

Mapeamento revela bairros em áreas de risco climático em Curitiba. Jornal Parágrafo 2, 2024. Disponível em: <https://paragrafo2.com.br/mapeamento-revela-bairros-em-areas-de-risco-climatico-em-curitiba/?noamp=mobile>

Veja o endereço das bicicletas compartilhadas em Curitiba. Massa News, 2024. Disponível em <https://massanews.com/noticias/parana/curitiba/estacoes-bicicletas-compartilhadas-curitiba/>
Acesso em: 10/03/2024

Ciclismo em Curitiba, novas bicicletas compartilhadas, velhos desafios. Jornal comunicação UFPR, 2023. Disponível em: <https://jornalcomunicacao.ufpr.br/ciclismo-em-curitiba-novas-bicicletas-compartilhadas-velhos-desafios/>
Acesso em: 12/12/2023

Entregas de bike: saiba tudo sobre a modalidade que promove um mundo mais sustentável. Institucional ifood. Disponível em: <https://institucional.ifood.com.br/noticias/entregas-de-bike-saiba-tudo-sobre-a-modalidade-que-promove-um-mundo-mais-sustentavel/>
Acesso em: 10/11/2023

No verão carioca, entregadores que trabalham de bicicleta chegam a pedalar 70km em dias de calor. Disponível em: <https://diariodorio.com/no-verao-carioca-entregadores-que-trabalham-de-bicicleta-chegam-a-pedalar-70km-em-dias-de-calor/>. Acesso em: 11/11/2023

Número de ciclistas cresce em Curitiba, mas infraestrutura segue precária. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2017/05/15/numero-de-ciclistas-cresce-em-curitiba-mas-infraestrutura-segue-precaria>
Acesso em: 15/02/2024

Calor extremo: cuidados ao fazer entregas. Entregador IFOOD.2023
<https://entregador.ifood.com.br/noticias/calor-extremo-cuidados-ao-fazer-entregas/>
Acesso em: 12/12/2024

UCI vai implementar protocolo de calor extremo para salvaguardar saúde dos ciclistas. Record, 2023. Disponível em: <https://www.record.pt/modalidades/ciclismo/detalhe/uci-vai-implementar-protocolo-de-calor-extremo-para-salvaguardar-saude-dos-ciclistas>. Acesso em: 10/10/2024

Ciclismo em Curitiba: novas bicicletas compartilhadas, velhos desafios. Jornal comunicação, 2023. Disponível em: [ornalcomunicacao.ufpr.br/ciclismo-em-curitiba-novas-bicicletas-compartilhadas-velhos-desafios/](https://jornalcomunicacao.ufpr.br/ciclismo-em-curitiba-novas-bicicletas-compartilhadas-velhos-desafios/)
Acesso em: 22/05/2024

Como a Tembici se tornou a sobrevivente entre as bicicletas compartilhadas – e captou mais R\$ 420 milhões. INFOMONEY, 2021. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/negocios/como-a-tembici-se-tornou-a-sobrevivente-entre-as-bicicletas-compartilhadas-e-captou-mais-r-420-milhoes/>

ANEXOS

ANEXO 1

```

/*
 * Rui Santos
 * Complete Project Details https://randomnerdtutorials.com
 */

#include <SPI.h> //for the SD card module
#include <SD.h> // for the SD card
#include <DHT.h> // for the DHT sensor
#include <RTCLib.h> // for the RTC

//define DHT pin
#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to

// uncomment whatever type you're using
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

// initialize DHT sensor for normal 16mhz Arduino
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// change this to match your SD shield or module;
// Arduino Ethernet shield and modules: pin 4
// Data loggin SD shields and modules: pin 10
// Sparkfun SD shield: pin 8
const int chipSelect = 4;

// Create a file to store the data
File myFile;

// RTC
RTC_DS1307 rtc;

void setup() {
  //initializing the DHT sensor
  dht.begin();

  //initializing Serial monitor
  Serial.begin(9600);

  // setup for the RTC
  while(!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero
  if(! rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }
}

```

```

}
else {
  // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
if(! rtc.isrunning()) {
  Serial.println("RTC is NOT running!");
}

// setup for the SD card
Serial.print("Initializing SD card...");

if(!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("initialization failed!");
  return;
}
Serial.println("initialization done.");

//open file
myFile=SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);

// if the file opened ok, write to it:
if (myFile) {
  Serial.println("File opened ok");
  // print the headings for our data
  myFile.println("Date,Time,Temperature °C");
}
myFile.close();
}

void loggingTime() {
  DateTime now = rtc.now();
  myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    myFile.print(now.year(), DEC);
    myFile.print('/');
    myFile.print(now.month(), DEC);
    myFile.print('/');
    myFile.print(now.day(), DEC);
    myFile.print(',');
    myFile.print(now.hour(), DEC);
    myFile.print(':');
    myFile.print(now.minute(), DEC);
    myFile.print(':');
    myFile.print(now.second(), DEC);
    myFile.print(",");
  }
  Serial.print(now.year(), DEC);

```

```

Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.println(now.day(), DEC);
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.println(now.second(), DEC);
myFile.close();
delay(1000);
}

void loggingTemperature() {
// Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
// Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
// Read temperature as Celsius
float t = dht.readTemperature();
// Read temperature as Fahrenheit
//float f = dht.readTemperature(true);
float h = dht.readHumidity(); //--> gets humidity

// Check if any reads failed and exit early (to try again).
if (isnan(t) || !isnan(f)) {
Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
return;
}

//debugging purposes
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(t);
Serial.println(" *C");
//Serial.print(f);
//Serial.println(" *F");

myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
Serial.println("open with success");
myFile.print(t);
myFile.println(",");
myFile.print(h); //--> saves humidity
myFile.print(",");
}
myFile.close();
}

void loop() {
  loggingTime();
}

```

```
loggingTemperature();  
delay(5000);  
}
```

ANEXO 2**FICHA DE CAMPO PARA A REALIZAÇÃO DAS COLETAS DE DADOS ATMOSFÉRICOS**

Data:

Hora de início da rota:

Local:

Condições do tempo (percepção)Condições do tempo local (dados secundários)

Céu:

Temperatura inst. Temp. média: Temp.

máx.:

(visibilidade e nuvens)

Umidade: inst. Temp. média: Temp.

máx.:

Vento: (calmo, fraco, moderado ou forte)

Vento velocidade:

Direção:

Sensação térmica: (calor, frio, etc.)

hora do fim da rota:

Condições do tempo (percepção)Condições do tempo local (dados secundários)

Céu:

Temperatura inst. Temp. média: Temp. máx.:

Vento:

Umidade: inst. Temp. média: Temp. máx.:

Sensação térmica:

Vento velocidade: Direção:

Tempo duração total da rota:

Velocidade média:

Observações extras: