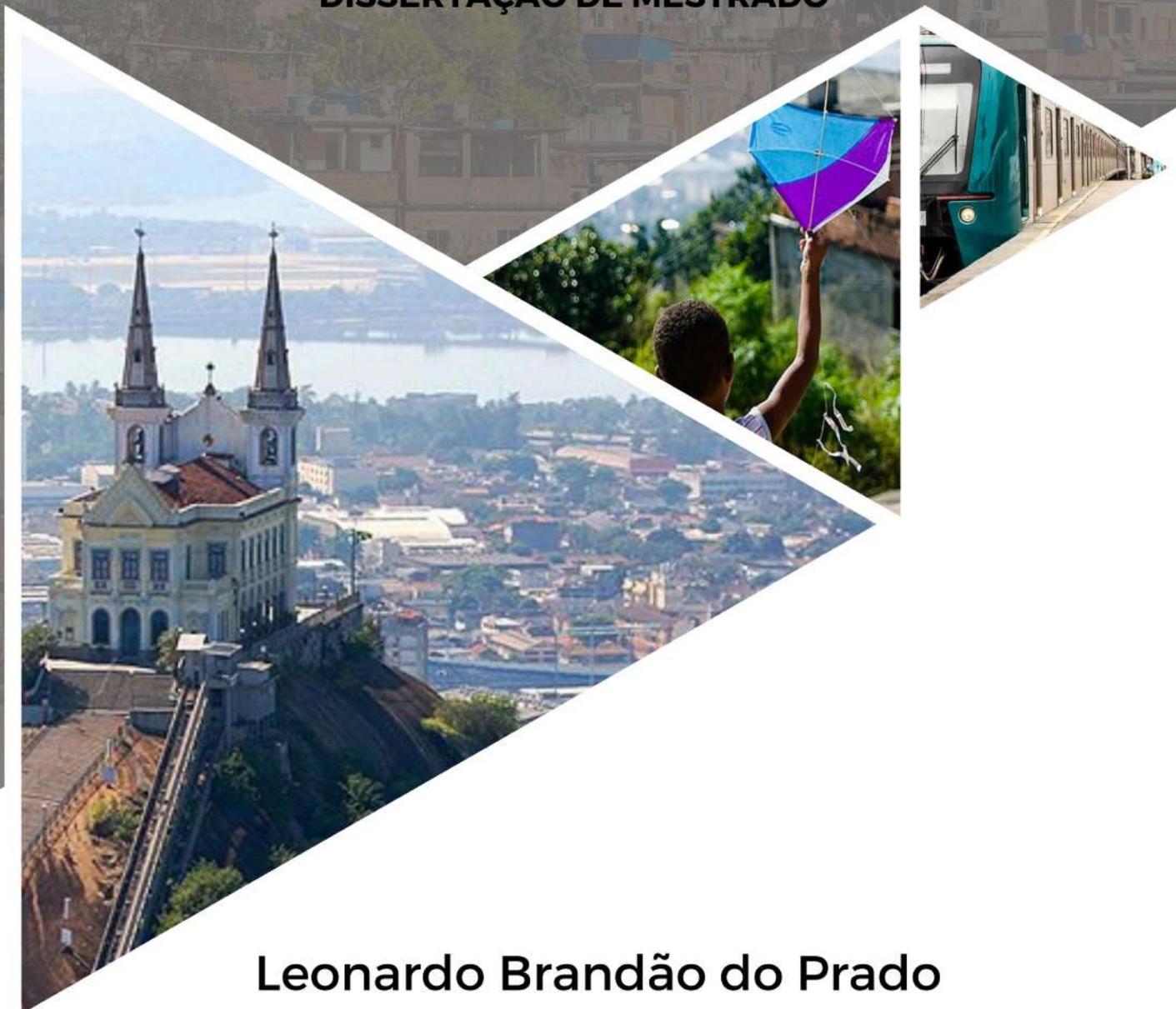


CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO CARIOCA: UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



Leonardo Brandão do Prado

Orientadora: Núbia Beray Armond



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



LEONARDO BRANDÃO DO PRADO

**CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO CARIOCA:
UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS**

Rio de Janeiro
2023

LEONARDO BRANDÃO DO PRADO

**CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO CARIOCA:
UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG/UFRJ), como requisito para a obtenção do título de mestrado em Geografia.

Área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientadora: Prof^a Núbia Beray Armond

Rio de Janeiro
2023

FICHA CATALOGRÁRFICA

CIP - Catalogação na Publicação

c Prado, Leonardo Brandão do
CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO
CARIOCA: UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES
CLIMÁTICAS URBANAS / Leonardo Brandão do Prado. --
Rio de Janeiro, 2023.
149 f.

Orientadora: Núbia Beray Armond.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Uc-Maps. 2. Clima urbano. 3. Conforto
térmico. 4. índice de temperatura efetiva - TE. I.
Beray Armond, Núbia , orient. II. Título.

LEONARDO BRANDÃO DO PRADO

**CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO CARIOCA:
UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG/UFRJ), como requisito para a obtenção do título de mestrado em Geografia.

Área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientadora: Prof^a Núbia Beray Armond

Rio de Janeiro
2023

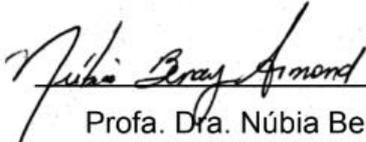
LEONARDO BRANDÃO DO PRADO

**CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO SUBÚRBIO CARIOCA:
UM ENSAIO A PARTIR DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG/UFRJ), como requisito para a obtenção do título de mestrado em Geografia.

Área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental

Aprovado em: 10/03/2023


Documento assinado digitalmente
gov.br NUBIA BERAY ARMOND
Data: 20/03/2023 15:05:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Núbia Beray Armond (Orientadora)
Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFRJ



Prof. Dr. João Paulo Assis Gobo
Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondônia -
UNIR

Documento assinado digitalmente
gov.br KARIME PECHUTTI FANTE
Data: 16/03/2023 12:08:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Karime Pechutti Fante
Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho – UNESP

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo a duas pessoas que nunca mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Que acreditam que a educação seja a saída e possibilidade de quebrar ciclos: à minha mãe, Roseane Brandão do Prado, por todo o amor, carinho, dedicação e preocupação que, desde a graduação em Viçosa - MG, me incentivou a continuar mesmo nos momentos mais difíceis. Exemplo de mãe e de mulher, estarei ao seu lado para sempre. Ao meu pai, Ricardo Vieira do Prado, que sempre se dedicou a nós, ao nosso bem-estar, a nossa casa, me ensinou o quanto precisamos muitas vezes ser altruístas para realizar o sonho de quem amamos. Pai, muito obrigado por nunca ter desistido de mim, das horas intermináveis de trabalho, dos 15, 21 dias em alto mar para trazer o sustento da nossa casa, muito obrigado por tudo.

Ao meu irmão Miguel (Mig) por me mostrar que as vezes só precisamos pensar fora da caixinha e dar uma de doido, é sobre isso e tá tudo bem.

Ao irmão que o mundo do samba me deu, Júlio Cesar Queiroz Penha, pelos conselhos, pelos esporros, pelas contribuições, mas principalmente pelo exemplo de pesquisador que você é, o meu muito obrigado.

Ao João Victor Sanches Patrício, que já no finalzinho do ano de 2021 construímos uma amizade maravilhosa, banhada à muita risada, palhaçada e lacração. A SENHORA É DESTRUIDORA MEXXXXMO, a Geografia UFRJ e o PPGG ganham e muito com a sua participação e empenho nas atividades acadêmicas miiii. E que possamos **sempre** romper os pilares dessa sociedade que são: Deus, pátria, família e propriedade privada!!!!

À Luana Fernandes, que durante todos esses (10) anos esteve ao meu lado e compartilhou de diversos momentos maravilhosos e que, durante essa fase do mestrado, foi fundamental na minha readaptação ao Rio de Janeiro. Amiga, estamos juntos pra sempre, acima de qualquer um que venha a aparecer em nossos caminhos.

Ao meu amigo Welerson Machado, de Venda Nova do Imigrante para o mundo, Wel hahaha, estamos juntos meu velho, que possamos construir uma carreira acadêmica de excelência, te espero no doutorado.

Ao Laboratório de Biogeografia e Climatologia - BIOCLIMA em nome de seu coordenador Edson Soares Fialho que gentilmente nos cedeu os aparelhos e abrigos utilizados nesta pesquisa, muito obrigado.

À minha amiga Rafaela Quintella Veiga, com quem divido um dos meus projetos, o *podcast* Clima e Sociedade. Rafa, muito obrigado pelas indicações de textos, referências, dúvidas e conselhos, nesse período de pandemia de COVID -19 você foi uma pessoa essencial e que tornou as minhas tardes de quinta-feira, mesmo que a distância, melhores. Muito obrigado por toda a contribuição.

À minha amiga de laboratório Jéssica Ramires pelas inúmeras contribuições durante essa jornada, pelos rolês no bafo da prainha, dos blocos fora de época, pelo rolê no beco do rato e na praça da Glória, como você mesmo disse uma vez, o Geógrafo precisa ocupar os espaços públicos e defender as expressões populares!

A todos os membros do Laboratório de Geografia do Clima - GEOCLIMA pelas contribuições durante o processo de qualificação e futura defesa da dissertação, o meu muito obrigado por tudo.

Meu agradecimento especial para minha orientadora Núbia (fada), a academia deveria ter mais pessoas como você, humana, mulher, que luta pelos direitos de TODAS as minorias sem distinção, obrigado por todo o carinho, atenção, dedicação e pelas falas que muitas das vezes me tranquilizaram. Obrigado por muitas vezes me tranquilizar por situações que só nós LGBTQIAPN+ passamos todos os dias. Você foi e seguirá sendo uma pessoa a quem me espelharei sempre. Muito obrigado por tanto.

Nuvem de poeira d'água que sai da cascata da Deusa Oxum, ora iê iê o ♪



*Rio, do peito flechado
Dos apaixonados
Rio-batuqueiro*

*Oxóssi, orixá das coisas belas
Guardião dessa aquarela
Salve o Rio de Janeiro*

*Orfeus tocam liras na favela
A cidade das mazelas
Pede ao santo proteção
Grito o teu nome no cruzeiro
Ó padroeiro! Toda minha devoção
(GRES Paraíso do Tuiuti, 2020)*

RESUMO

A partir de fins do século XIX, o Rio de Janeiro assistiu a burguesia emergente se locomover em direção à Zona Sul da cidade como consequência das crescentes práticas de incorporação de terrenos para comercialização. Ao mesmo tempo, o eixo de forte crescimento populacional da também nascente classe trabalhadora se direcionava para as zonas Norte e Oeste da cidade. No decorrer dos séculos XX e XXI, essa dinâmica seguiu, então orientada pelos processos de industrialização e explosão das atividades comerciais associadas às políticas públicas de “revitalização” da área central do Rio de Janeiro. Esse conjunto de processos acabou por fortalecer a ocupação de áreas suburbanas que, em grande medida, até os dias atuais encontram-se desigualmente servidas de acesso aos sistemas básicos infraestrutura. Neste contexto, esta dissertação tem como objetivo analisar as áreas de potencial desconforto térmico pelo calor em ambientes externos no subúrbio da cidade do Rio de Janeiro, mais especificamente no subúrbio de Irajá. A partir da abordagem teórica da Geografia do Clima, utilizou-se a proposta metodológica dos *UC - Maps (Urban Climate Maps)* para identificar tais áreas. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram combinadas à aspectos de uso e de cobertura da terra na geração de um mapa-síntese que associou a capacidade térmica da área com o seu potencial dinâmico. Posteriormente, foram identificados e analisados o campo térmico e higrométrico do subúrbio de Irajá de acordo com os dados registrados por meio de sensores *Hobo* previamente calibrados. A análise foi realizada para toda a série histórica (2021/2022), bem como foram realizadas análises sazonais, mensais e horárias - esta última com vistas a caracterizar as condições de temperatura e umidade relativa do ar em horários críticos de circulação de pedestres. Por fim, essas informações foram relacionadas às classes existentes ao índice de conforto térmico - Índice de Temperatura Efetiva (TEf), com vistas a identificar as áreas potenciais de desconforto ao calor. Foi observado que nas análises sazonais e anuais, não houveram mudanças quanto aos pontos mais aquecidos (Ponto P2) e mais amenos (P1 e P3). Contudo, na análise horária, a influência da radiação solar associada ao uso e cobertura da terra e as dinâmicas socioespaciais fomentaram uma flutuabilidade dos pontos mais aquecidos e mais amenos durante o dia.

Palavras-chave: Mapa climático Urbano. Conforto térmico. Subúrbio do Rio de Janeiro

ABSTRACT

Rio de Janeiro witnessed the emerging bourgeoisie move to the city's South Zone beginning at the end of the nineteenth century, owing to the growing practice of incorporating land for sale. Simultaneously, the vector of strong population growth of the nascent working class was directed toward the city's North and West zones. This dynamic continued into the twentieth and twenty-first centuries, guided by industrialization and the explosion of commercial activities associated with public policies aimed at "revitalizing" Rio de Janeiro's central area. This set of processes strengthened the occupation of suburban areas, which are still largely underserved in terms of basic infrastructure systems. In this context, this dissertation aims to investigate areas of potential thermal discomfort in external environments in the Rio de Janeiro suburbs, specifically in the Irajá suburbs. The theoretical approach of Climate Geography was used to identify such areas, along with the methodological proposal of UC - Maps (Urban Climate Maps). Geoprocessing and remote sensing techniques were used to create a synthesis map that linked the thermal capacity of the area to its dynamic potential by combining geo-environmental characteristics with land use and land cover aspects. Following that, the thermal and hygrometric fields of the Irajá suburb were identified and analyzed using data from previously calibrated Hobo sensors. To characterize the temperature and relative humidity conditions at critical times of pedestrian circulation, the analysis was performed for the entire historical series (2021/2022) and seasonal, monthly, and hourly analyses. Finally, this information was related to the existing classes to the thermal comfort index - Effective Temperature Index (TEf), with a view to identifying potential areas of discomfort in the heat. It was observed that in the seasonal and annual analyzes there were no changes regarding the hottest points (Point P2) and the mildest (P1 and P3) however, in the hourly analysis the influence of solar radiation associated with land use and coverage and socio-spatial dynamics fostered a buoyancy of the warmest and mildest points during the day.

Keywords: Urban climatic maps. Thermal comfort. Periphery of Rio de Janeiro.

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura vertical da atmosfera urbana	20
Figura 2 - Impacto da geometria e dos cânions urbanos nas trocas de radiação ...	22
Figura 3 - Estrutura do mapa-síntese climático urbano	33
Figura 4 - Zoneamento e bairros do município do Rio de Janeiro	40
Figura 5 - Plano policromático de Doxiadis.....	49
Figura 6 - Localização da área de estudos	51
Figura 7 - Mapa hipsométrico da área de estudos	53
Figura 8 - Mapa de Orientação de vertentes da área de estudos	54
Figura 9 - Radiação solar média da área de estudos (2020-2021)	55
Figura 10 - Uso e ocupação do solo	56
Figura 11 - Estrutura inicial da UC - AnMap	58
Figura 12 - Abrigos em campo sob as mesmas condições meteorológicas.....	70
Figura 13 - Volume das edificações	76
Figura 14 - Topografia	77
Figura 15 - Espaços Verdes	78
Figura 16 - Capacidade térmica	79
Figura 17 - Percentual de cobertura do solo	80
Figura 18 - Vegetação de Grande Porte	81
Figura 19 - Distância da linha de costa	82
Figura 20 - Proximidade a espaços abertos edificados	84
Figura 21 - Declividade	85
Figura 22 - Camada-síntese de proximidade a espaços abertos	86
Figura 23 - Potencial Dinâmico	87
Figura 24 - Campos térmico e higrométrico do subúrbio de Irajá	90
Figura 25 - Sazonalidade do campo térmico	96
Figura 26 - Sazonalidade do campo higrométrico	98
Figura 27 - Mapa do campo térmico - mensal	106
Figura 28 - Mapa do campo higrométrico - mensal	107
Figura 29 - Campo térmico e higrométrico - 5h da manhã	109
Figura 30 - Campo térmico e higrométrico - 6h da manhã	111
Figura 31 - Campo térmico e higrométrico - 7h da manhã	113
Figura 32 - Campo térmico e higrométrico - 12h (meio-dia)	115
Figura 33 - Campo térmico e higrométrico - 13h	116
Figura 34 - Campo térmico e higrométrico - 17h	118
Figura 35 - Campo térmico e higrométrico - 18h	119
Figura 36 - Campo térmico e higrométrico - 19h	121
Figura 37 - Estrutura do <i>UC-AnMap</i> do subúrbio de Irajá	123
Figura 38 - <i>UC - AnMap</i> para o subúrbio de Irajá	124
Figura 39 - Sky View Factor.....	131

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Variações do comportamento da temperatura dos sensores em ambiente fechado	68
Tabela 2 - Desvio padrão da média horária	69
Tabela 3 - Desvio Padrão horário em ambiente fechado	142
Tabela 4 - Tabela de comportamento da temperatura em ambiente externo	143
Tabela 5 - Média dos desvios da temperatura na primeira etapa	143
Tabela 6 - Média dos desvios da temperatura na segunda etapa dos testes em ambiente aberto	144
Tabela 7 - Resultado descritivo ANOVA em ambiente aberto I	146
Tabela 8 - Resultado ANOVA em ambiente aberto I	146
Tabela 9 - Resultado do teste Tukey HSD em ambiente aberto	146
Tabela 10 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II	147
Tabela 11 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II	144
Tabela 12 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II	148

Lista de Quadros

Quadro 1 - Morbidades relacionadas à exposição de trabalhadores a jornadas laborais insalubres	26
Quadro 2 - Composição e fenômenos compreendidos pela UC-AnMap	35
Quadro 3 - Estrutura do <i>UC-Map</i> de Hong Kong	36
Quadro 4 - Aspectos de análise e zonas destacadas do <i>UC-ReMap</i>	37
Quadro 5 - Classificação da feição Volume construtivo	59
Quadro 6 - Classificação da feição topografia	59
Quadro 7 - Classificação da feição vegetação	60
Quadro 8 - Classificação da feição cobertura do solo	62
Quadro 9 - Classificação da feição de vegetação de grande porte	62
Quadro 10 - Classificação da feição proximidade marítima	63
Quadro 11 - Classificação da feição de espaços abertos “b”	65
Quadro 12 - Classificação da feição de espaços abertos “c”	66
Quadro 13 - Pontos de coleta de dados: características	72
Quadro 14 - Classes do UC - AnMap em relação ao Índice de Temperatura Efetiva (TE)	126

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - <i>Violin Plot</i> , temperatura Média	88
Gráfico 2 - <i>Violin Plot</i> , Umidade Média	89
Gráfico 3 - <i>Violin Plots</i> de Temperatura (sazonal)	93
Gráfico 4 - <i>Violin Plots</i> de Umidade Relativa do Ar (sazonal)	95
Gráfico 5 - <i>Violin Plot</i> Mensal de temperatura	101
Gráfico 6 - <i>Violin Plot</i> Mensal de umidade	104
Gráfico 7 - Registros de temperatura e da umidade do ar em ambiente aberto	144
Gráfico 8 - Comportamento da temperatura do ar em ambiente aberto na segunda etapa	145
Gráfico 9 - Comportamento da umidade no primeiro teste em ambiente aberto....	145
Gráfico 10 - Comportamento da umidade no segundo teste em ambiente aberto.	147

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
Objetivo geral	16
Objetivos específicos	16
CAPÍTULO 1 - CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO: NEXOS POSSÍVEIS	18
1.1. Clima urbano: bases teórico-conceituais	18
1.1.1. Geometria intraurbana, fluxos de energia e camadas verticais	18
1.1.2. O clima urbano como construção social	22
1.2. Conforto térmico: bases teórico-conceituais	28
1.2.1. Conforto térmico na interface entre clima urbano e Biometeorologia Humana	28
1.2.2. Conforto térmico e determinantes ambientais	30
1.3. Nexos possíveis: os modelos de classificação climática urbana	32
1.3.1. UC-Map	32
1.3.2. UC-AnMap	34
1.3.3. UC-ReMap	36
CAPÍTULO 2 - A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO NO RIO DE JANEIRO	39
2.1. Evolução da cidade e origens do subúrbio carioca	39
2.2. Industrialização, urbanização e processos contemporâneos	42
2.2.1. O subúrbio de Irajá	46
2.3. Aspectos geoambientais e climáticos	50
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	57
3.1. Capacidade térmica	58
3.1.1. Volume das edificações	59
3.1.2. Topografia do terreno	60
3.1.3. Feição da vegetação	60
3.2. Potencial dinâmico	61
3.2.1. Cobertura do solo	61
3.2.2. Vegetação de grande porte	62
3.2.3. Proximidade a espaços abertos	63
3.2.3.1. Proximidade à linha de costa	63
3.2.3.2. Proximidade a espaços abertos	64
3.2.3.3. Declividade	65
3.3. Dados observados	66
3.3.1. Calibração dos sensores	66
3.3.2. Instalação dos sensores	71

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.1. Capacidade térmica	76
4.1.1. Volume das edificações	76
4.1.2. Topografia	77
4.1.3. Espaços verdes	78
4.1.4. Mapa-síntese de Capacidade Térmica	79
4.2. Potencial dinâmico	80
4.2.1. Cobertura do solo	80
4.2.2. Vegetação de grande porte	81
4.2.3. Proximidade a espaços abertos	82
4.2.3.1. Proximidade a linha de costa	82
4.2.3.2. Proximidade a espaços abertos	83
4.2.3.3. Declividade	84
4.2.3.4. Camada-síntese da proximidade a espaços abertos	86
4.2.4. Mapa-síntese do Potencial Dinâmico	87
4.3. Características termo-higrométricas (dados observados)	87
4.3.1. Médias Anuais	88
4.3.2. Médias Sazonais	92
4.3.3. Médias Mensais	99
4.3.4. Médias horárias	108
4.4. UC - AnMap	122
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE GEOGRÁFICA DO CLIMA	128
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO DOS SENSORES	145

INTRODUÇÃO

Entre os principais problemas contemporâneos em âmbito urbano, as relações entre as formas, estruturas, fluxos e a qualidade ambiental vem se destacando. Reconhecido como lócus de mais efetiva interação entre sociedade e natureza (MONTEIRO, 2003), o espaço urbano também tem se constituído no lugar no qual as temperaturas intraurbanas, moduladas pelas formas/geometrias, estruturas e fluxos da cidade, apresentam maior potencial de afetar a saúde humana (OLESON et al., 2015; MORA et al., 2017; TUHOLSKE et al., 2021). Ainda, é reconhecida a necessidade de levar em conta a exposição desproporcional ao calor em relação aos diferentes grupos sociais. Marcadores sociais como renda, raça e gênero tem sido identificados na literatura como fundamentais para aprofundar as investigações acerca desse processo (CHAKRABORTY et al., 2019; HSU et al., 2021).

Os problemas relacionados às elevadas temperaturas intraurbanas na área urbana do município do Rio de Janeiro - RJ desde muito tempo tem sido alvo de investigações (BRANDÃO, 2000, 2003; FIALHO, 2002; FARIAS; BRANDÃO, 2010; LUCENA, 2012; MEIRELES et al., 2014; LUCENA et al., 2018; PERES et al., 2018; MENDES et al., 2022; MIRANDA et al., 2022). No entanto, a compreensão dos determinantes históricos e geográficos do espaço urbano carioca, principalmente quanto à relação entre o calor intraurbano e a exposição de diferentes grupos sociais, ainda permanece como uma lacuna para o caso do Rio de Janeiro - lacuna essa que também se apresenta em escala global (NAZARIAN; LEE, 2021). Nesse sentido, torna-se fundamental para compreender como os diferentes grupos sociais, sobretudo a população suburbana, se apresenta diferencialmente exposta a essas condições.

A literatura sobre conforto térmico humano tem discutido de maneira ampla acerca das formas através das quais as variáveis ambientais e climáticas têm atuado sobre o corpo humano e como os mecanismos de termorregulação tem atuado para alcançar o “equilíbrio térmico”, visando assim manter o corpo em temperatura estável em 37°C (KUMAR, 1998; NIKILOPOULOU et al., 2001; HUMPHREYS; HANCOCK, 2007; COFFEL et al., 2017; RAYMOND et al., 2020). Para a identificação da insalubridade térmica de um ambiente, seja ele interno ou externo, índices de conforto térmico historicamente têm sido empregados (FANGER, 1973; FANGER et al., 1974; HUMPHREYS, 1976; DE DEAR, 2004; van HOOFF, 2008; DJONGYANG et al., 2010; ENESCU, 2017; DZYUBAN et al., 2022). Entretanto, acredita-se ainda que a

combinação entre o uso de índices de conforto e uma análise histórica e geográfica da exposição diferencial dos grupos sociais pode contribuir de modo mais eficiente para um entendimento mais detalhado e assertivo acerca do calor urbano como determinante ambiental (INDRAGANTI; RAO, 2010; SAILOR et al., 2019).

Desta maneira, o trabalho visa analisar, sob um ponto de vista espaço-temporal, os potenciais locais de desconforto térmico humano considerando, sobretudo, áreas de potencial exposição de grupos sociais vulnerabilizados no subúrbio do Rio de Janeiro. Para tanto, propôs-se a elaboração de um produto cartográfico de síntese das áreas de potencial desconforto por meio do emprego da metodologia *Urban Climatic Map - UC-Map*, formulada por Ng et al. (2008) e Ren et al. (2011). A escolha por este modelo se deu por conta da sua capacidade - e flexibilidade - de reunir um amplo conjunto de variáveis em um produto final, de modo a permitir uma análise conjunta das áreas potenciais de desconforto térmico e a produção do espaço urbano.

Objetivo geral

Analisar as áreas potenciais de conforto e desconforto térmico em ambientes externos no subúrbio da cidade do Rio de Janeiro (RJ)

Objetivos específicos

- Análise e caracterização geoambiental intraurbana no subúrbio do Rio de Janeiro (Região Administrativa de Irajá);
- Caracterização do campo termohigrométrico intraurbano no subúrbio do Rio de Janeiro (Região Administrativa de Irajá);
- Identificação das áreas de potencial desconforto térmico para a Região Administrativa de Irajá

Estudar as interações entre clima urbano e conforto térmico dos grupos sociais suburbanos no Rio de Janeiro torna-se cada vez mais relevante diante do aprofundamento da lógica desigual de produção do espaço urbano carioca. Num cenário de mudanças climáticas marcado pelo aumento de episódios e ondas de calor e de frio (KEW et al., 2017; OTTO et al., 2018; VAUTARD et al., 2020; OLDENBORGH

et al., 2021; PHILIP et al., 2021), é fundamental partir do princípio de que a condição de suburbanidade de determinados grupos sociais na metrópole carioca tem feito com que eles constantemente experimentem de forma diferencial tanto a materialidade da cidade quanto o seu clima urbano¹. Desta maneira, discutir sobre a conformação termohigrométrica do subúrbio carioca, aqui representado pela região administrativa de Irajá, busca contribuir para o preenchimento da lacuna nas investigações acerca desses territórios ao lançar luz às vulnerabilidades impostas aos sujeitos nessa área.

¹ Para Mendes (2019), com base em Armond, “A forma como interpretamos o clima tem a ver com forma como nos relacionamos com a natureza. A forma como nos relacionamos com o clima tem a ver com a nossa condição e posição de classe.”

CAPÍTULO I - CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO: NEXOS POSSÍVEIS

1.1. Clima urbano: bases teórico-conceituais

1.1.1. Geometria intraurbana, fluxos de energia e camadas verticais

Um dos principais indicadores de qualidade ambiental urbana, indubitavelmente, é o clima. Desde os primeiros estudos acerca da atmosfera intraurbana no período da Revolução Industrial inglesa, as investigações sobre a qualidade, a temperatura do ar e as suas variações temporais e espaciais tem apresentado avanços notáveis, tanto em âmbito analítico quanto metodológico (CHANDLER, 1965; LANDSBERG, 1981; ARNFIELD, 1982; OKE, 1984; EVELYN, 1999[1661]; FOSTER, 1999; VOOGT; OKE, 2003; GRIMMOND, 2006; HOWARD, 2007). Um exemplo foi o modelo proposto inicialmente por Oke (1973, 2017). Para o autor, tão importante quanto compreender a atmosfera da cidade, é entender suas interações com os demais ecossistemas urbanos, já que essa interação permite compreender como o clima urbano é modulado.

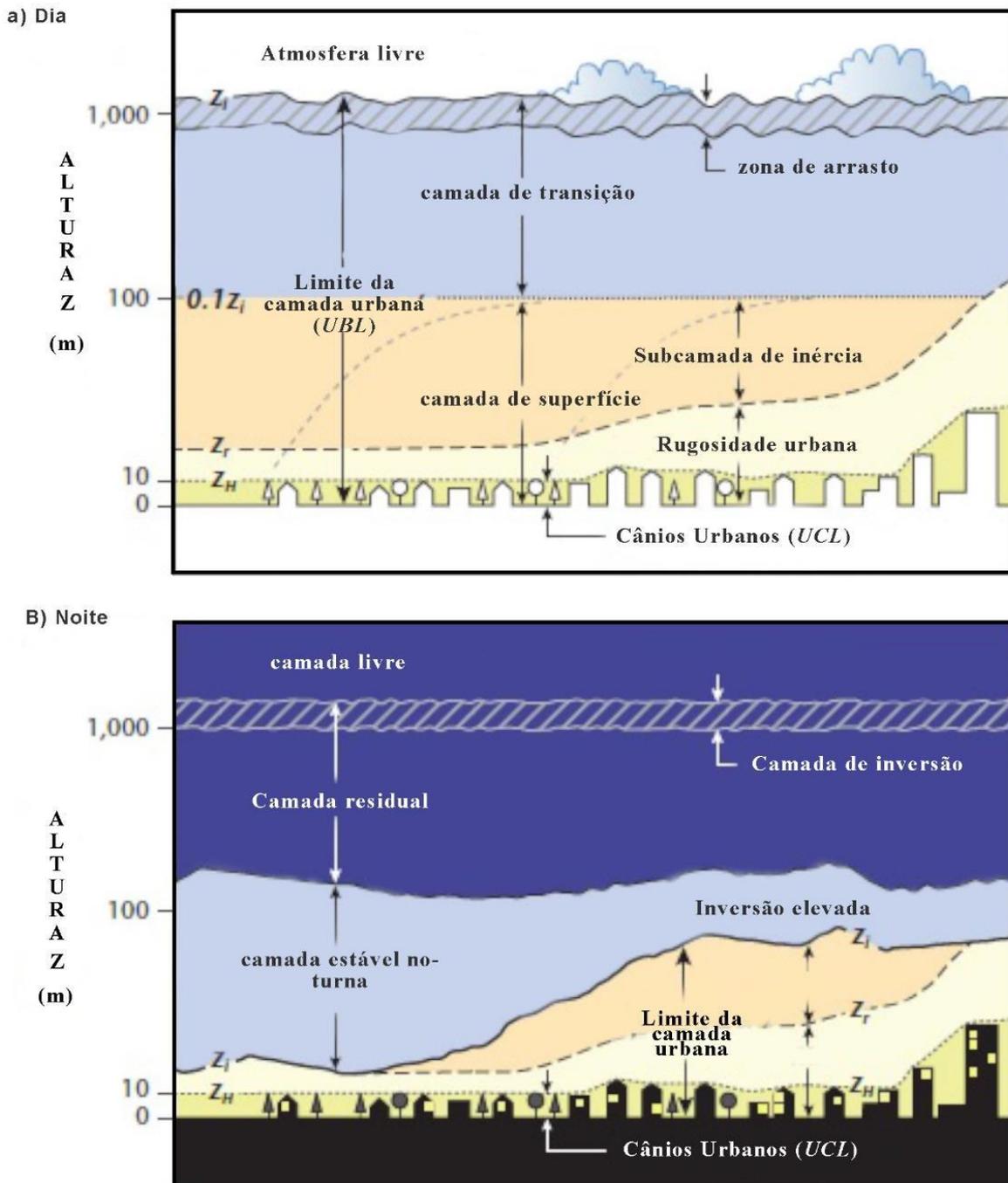
No que se refere aos aspectos metodológicos da investigação, Oke (2017) inicialmente concentrou sua abordagem na entrada de energia no sistema climático em relação à superfície e as características de cobertura. Essa interação daria origem a um conjunto de especificidades no balanço de energia, gerando particularidades nas características de temperatura, umidade e circulação de ar. Essas interações entre os elementos climáticos seriam responsáveis pela geração de uma estrutura vertical específica e inerente à atmosfera urbana, que poderia ser compreendida por meio de camadas (**Fig. 1**).

Para Oke (2017), ao menos três camadas na atmosfera urbana apresentam especificidades. A primeira é a *Urban Boundary Layer - UBL*. Esta camada possui entre 30 e 900 metros, atingindo a atmosfera livre. Ela pode ser dividida de acordo com as suas propriedades físico-químicas, e apresenta variação nos períodos diurno e noturno.

Logo abaixo, estaria a *Urban Canopy Layer - UCL*, camada-foco desta investigação, uma vez que sua estrutura vertical compreende do solo até a altura média do topo dos edifícios e das árvores. É nesta camada que Oke (2017) indica que as atividades humanas são mais percebidas devido às transformações produzidas

pelas atividades sociais e pelas propriedades físicas, relacionando-as ao uso e cobertura da terra e como o fluxo de energia é transformado.

Figura 1 - Estrutura vertical da atmosfera urbana



Fonte: Oke (2017) - tradução livre

A subcamada mais baixa, que estaria em contato com a *Urban Canopy Layer*, é denominada *Roughness Sublayer*, ou Subcamada da Rugosidade (tradução livre). Esta subcamada compreende desde a cobertura da terra urbana até a subcamada de inércia na *Urban Boundary Layer*. Tal zona apresenta significativo fluxo ascendente e descendente de ventos por conta das variações na cobertura da terra.

Segundo Oke (2017), um dos principais elementos da rugosidade urbana são os edifícios que, diferente dos elementos arbóreos, são impermeáveis e, também por conta da sua composição, acabam sendo agentes produtores de fluxos turbulentos de vento.

Por fim, a Subcamada de Inércia consiste na camada de contato com a camada de superfície (*Surface Layer*), na qual as variações horizontais são pequenas e podem ser denominadas unidimensionais. Ela é caracterizada pela mudança na matéria apenas de forma vertical na componente atmosférica. Para Oke (2017), nesta camada, a atmosfera apresenta *feedbacks* rápidos aos efeitos do uso e cobertura urbanos.

Para o autor, a investigação sobre a radiação solar em ambientes urbanos é crucial para a compreensão do clima urbano, pois consiste no principal mecanismo de *input* de energia no sistema. Por conta da interação entre a radiação solar e as propriedades físico-químicas das construções e das dinâmicas socioespaciais, a radiação solar se transforma, passando das ondas curtas para ondas longas, proporcionando uma maior dificuldade de dispersão na atmosfera, gerando energia térmica que, no seu processo de troca, consiste em calor.

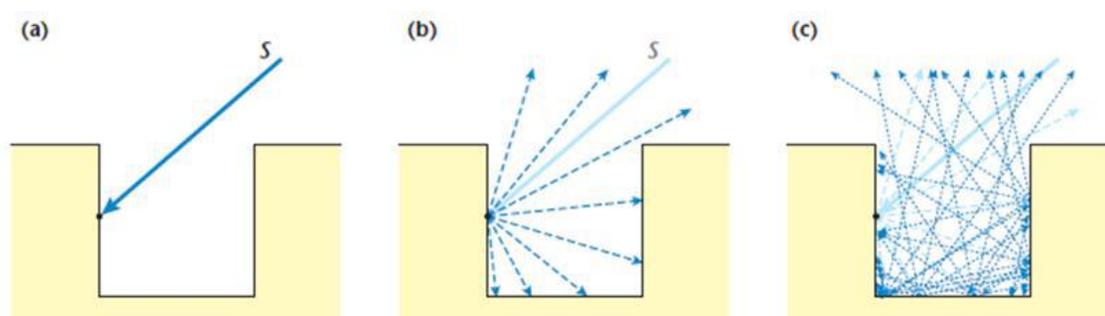
Oke (2017) pontua três principais atributos que influenciam diretamente na temperatura intraurbana: i) a diversidade dos materiais construtivos utilizados em casas e prédios; ii) a combinação entre a inclinação e orientação da fachada construída e, por fim, iii) a capacidade de cada fachada de emitir, refletir ou absorver a radiação. Estes três elementos combinados são cruciais para a correta avaliação do fluxo de energia na cidade. Ao mesmo tempo, os três acabam por dificultar a generalização necessária para a compreensão do clima urbano.

Nesse contexto, e buscando soluções sob o ponto de vista metodológico para contemplar os três atributos, Oke (2017) avalia que um dos principais métodos para quantificar a energia incidente e em trânsito é a partir do Fator de Visão do Céu (FVC). Essa variável é capaz de indicar a proporção (percentual) da abóbada celeste obstruída pelas edificações, árvores e demais construções, em relação à parcela não-obstruída quanto à incidência de radiação solar. Dirksen et al (2019) acrescentam que o FVC é uma variável que sintetiza a geometria intraurbana e a densidade de construções em um dado ponto dentro do espaço urbano em relação a entrada de energia, indicando a presença de pontos livres ou de cânions urbanos.

Ao estudar os cânions urbanos, Oke (2017) aponta que um dos principais atributos é a forma como a interação entre a radiação incidente nas construções e a sua reflexão para os espaços externos e como essa energia, incide sobre a população em ambientes externos.

Oke (2017), ao estudar os princípios da radiação de onda curta e seus processos de transformação e ressignificação no espaço urbano, apresenta o comportamento da mesma e a sua interação dentro do cânion urbano (**Fig. 2**).

Figura 2 - Impacto da geometria e dos cânions urbanos nas trocas de radiação



Representação simplificada: (a) apenas um raio de entrada, (b) um reflexão, (c) segunda reflexão do raio incidente

Fonte: Oke (2017)

A despeito de suas contribuições terem se centrado majoritariamente na interação entre radiação solar, geometria e fluxos urbanos, a obra de Oke (2017) permite a emergência de *insights* importantes acerca da exposição da população às áreas potenciais de maior calor urbano. Segundo Oke (2017), pedestres podem preferir caminhar em ruas sombreadas e menos expostas a incidência de radiação solar direta quando em dias mais quentes. Desta forma, o autor aponta que a estrutura urbana é capaz de produzir condições que minimizam ou potencializam a exposição de pessoas em trânsito, que trabalhem em condições externas e que estejam expostas continuamente às intempéries atmosféricas.

1.1.2. O clima urbano como construção social

De modo complementar às contribuições de Oke (2017), que concentra sua investigação através da entrada de energia no sistema e o comportamento da mesma dentro do ambiente urbano, a obra de Monteiro (1976) permite a construção de novas formas de abordar o clima urbano. Para o autor, é a cidade “o lugar de mais efetiva interação do homem com a natureza”. Portanto, a análise do clima urbano pode

abranger “o espaço concreto e tridimensional (planos horizontal e vertical) onde age a atmosfera e os espaços relativos à compreensão do fenômeno urbano” (MONTEIRO, 2003, p.10). Para o autor, o chamado fenômeno urbano não necessariamente estaria restrito às formas, estruturas, geometrias e fluxos, mas também aos processos socioespaciais que dariam sentido à urbanização.

Ao estruturar os enunciados básicos relacionados ao clima urbano com base na teoria sistêmica, Monteiro (2003) apresentou dez pilares estruturantes para a sua compreensão - três deles destacadamente relevantes para os estudos sobre o calor intraurbano e o conforto térmico. O primeiro, é que o clima urbano, sob o ponto de vista analítico, não deve ser encarado de maneira a ter uma extensão dimensional pré-definida. Em outras palavras, o clima urbano deve abranger “o clima da cidade e sua urbanização” (MONTEIRO, 2003, p.19), sendo essa interação a definidora das dimensões territoriais e de extensão de um clima urbano.

O segundo está relacionado a entrada de energia no sistema clima urbano por meio da radiação solar. Fonte essencial de energia, ela consiste no *input* fundamental para todo o funcionamento e dinâmica dos processos inerentes ao clima urbano, apresentando-se como um sistema aberto, que interage com a radiação solar de maneira a gerar condições atmosféricas específicas mais aquecidas em relação ao seu entorno não-urbanizado, sobretudo quanto às suas características de reflexão, absorção e dispersão de energia radiativa.

Por fim, o terceiro elemento refere-se ao papel dos seres humanos como, simultaneamente, agentes operadores do clima urbano e elementos pertencentes a esse mesmo sistema. Assim, Monteiro (1976, 2003) propôs uma perspectiva sistêmica para a análise do clima urbano baseada no que definiu como canais de percepção humana. Sendo estes os canais: i) Qualidade do ar (ou subsistema físico-químico); ii) Impacto hidrometeorológico (ou subsistema hidrometeorológico); e, finalmente, iii) Conforto térmico (correspondente ao subsistema termodinâmico), este último sendo parte da investigação da qual está dissertação se propôs.

Os componentes do subsistema termodinâmico cumprem papel fundamental sobretudo pelo seu caráter de *input* energético, considerado insumo básico no sistema clima urbano. Machado e Jardim (2014) acrescentam que as transformações produzidas pela produção do espaço urbano, à exemplo dos distintos padrões de uso e cobertura da terra, a morfologia urbana, redução de áreas vegetadas, aumento da impermeabilização do solo, aumento de emissão de gases provenientes da queima

de combustíveis fósseis e diferença das propriedades físicas dos materiais construtivos como o albedo, influenciam o fluxo de energia na cidade, (LOMBARDO, 1985, OKE, 2017). Um dos fenômenos que acabam por expressar essas interações de maneira significativa consiste nas ilhas de calor.

Ao investigar as ilhas de calor no estado de São Paulo por meio de técnicas de sensoriamento remoto, Lombardo (1985) a define como uma área urbana na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as suas áreas circunvizinhas por conta de fatores como: i) transformação da energia em escala intraurbana por conta de estruturas verticais artificialmente criadas, condições específicas de albedo e propriedades de condutibilidade dos materiais construtivos; ii) redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação (poucas áreas verdes, transporte de água da chuva através da canalização); iii) redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação; e iv) produção de energia antropogênica através da emissão de calor pelas industriais trânsito e habitações.

Como consequência do surgimento e agravamento das ilhas de calor, surgem problemas ambientais como a redução da umidade relativa do ar, o aumento do desconforto térmico, possível aumento de precipitação nas áreas urbanas, além da associação com a atuação de sistemas atmosféricos que potencializam a concentração de poluentes nos espaços urbanos, prejudicando a qualidade do ar (CHANGNON, 1992, 2001, 2003).

Entretanto, estes efeitos não são experienciados de maneira homogênea na cidade. Para Sant'Anna Neto (2001), se faz necessário uma abordagem crítica no entendimento do processo de geração do clima urbano.

Para o autor, os fenômenos atmosféricos possuem relação com a produção capitalista do espaço, materializada no uso e ocupação da terra orientada por uma lógica que tem sua razão de ser na obtenção máxima de lucro. Nesse processo, grupos sociais vulnerabilizados economicamente também acabam sendo expropriados e relegados às áreas mais suscetíveis a problemas ambientais. De acordo com Sant'Anna Neto (2001, p. 58) "o efeito dos tipos de tempo sobre um espaço construído de maneira desigual gera problemas de origem climática também desiguais".

Propondo uma Geografia do Clima, Sant'anna Neto (2001, 2011) realiza um salto ontológico ao apontar para um fato: pesquisar sobre clima urbano significa adentrar a vida cotidiana de pessoas, e compreender que elas vivenciam de maneira

diferenciada os fenômenos climáticos e atmosféricos na cidade. Além disso, significa que as pessoas apresentam diferentes graus de exposição aos fenômenos associados ao clima urbano, como as ilhas de calor, frescor e as áreas de incremento da intensidade das ondas de calor e de frio. Nesse contexto, a relação entre esses fenômenos e a exposição e a vulnerabilidade são fundamentais (MENDES, 2019).

A luz da Geografia do Clima (SANT'ANNA NETO, 2001), Mendes (2019) inicia uma investigação que tinha como objetivo analisar os aspectos do cotidiano laboral dos trabalhadores de varrição pública na cidade de Presidente Prudente - SP, através das suas rotinas laborais e seus climas. A autora evidencia de que modo a subalternidade, as desigualdades, as injustiças ambientais amplificaram a vulnerabilidade e, sobretudo, a exposição dessas(es) trabalhadoras(es) a fenômenos climáticos urbanos como calor extremo.

Ao partir do pressuposto de que a atividade laboral a céu aberto em condições térmicas insalubres compromete a saúde e o bem-estar desta categoria de trabalhadores, a autora recorre a Coutinho (1998) e apresenta as principais doenças relacionadas à exposição contínua dos trabalhadores às intempéries atmosféricas (**Quadro 1**).

Quadro 1 - Morbidades relacionadas à exposição de trabalhadores a jornadas laborais insalubres

Principais doenças	Causas/Sintomas
Hipertermia	Trata-se do caso mais grave, podendo ser fatal. A hipertermia é devida às seguintes causas: Falta de aclimatização, obesidade, ingestão de bebidas alcoólicas, pois aumenta a vasodilatação, vestes inadequadas. O sistema de termorregulação se torna incapaz de anular o saldo de energia e, assim, a temperatura interna se eleva. Esse aumento de temperatura aumenta o metabolismo que, por sua vez, aumenta ainda mais a temperatura interna, num círculo vicioso que em pouco tempo faz a referida temperatura chegar a uma faixa de 40°C a 43°C, com desnaturação das proteínas e morte consequente. O indivíduo se mostra desorientado e com delírio; frequentemente, mas nem sempre, tem convulsões; cessa a sudorese e a pele se torna quente e seca.
Tontura e desfalecimento por déficit de sódio	Acontece geralmente com pessoas não aclimatizadas ou que não tiveram uma adequada reposição salina. Os sintomas são fraqueza muscular, cansaço e câimbras. Além disso, pode ter náuseas, vômitos, cefaleias e irritabilidade. A frequência cardíaca se eleva muito, mas a temperatura interna permanece normal e não há queixa de sede.
Tontura e desfalecimento por hipovolemia relativa	Ocorre com pessoas com baixa capacidade aeróbica, ou não aclimatizadas. A vazão sanguínea nos músculos solicitados e a vazão devido à vasodilatação fazem com que haja menos sangue no coração e no cérebro. Esse problema pode ocorrer antes de a temperatura interna alcançar valores excessivos. Os sintomas são tonturas, desmaios, náuseas, sudorese fria, palidez facial, respiração suspirosa, pulso lento e queda de pressão arterial. A temperatura da pele pode estar normal ou ligeiramente elevada
Tontura e desfalecimento devido à evaporação inadequada	As causas desta doença são os parâmetros que reduzem a evaporação. Assim, se o ambiente for úmido e/ou se a velocidade do ar for baixa e/ou se a roupa for pesada e/ou impermeável, a evaporação será deficiente e a pessoa poderá ter mal-estar. A pessoa se sente quente e cansada, piorando bastante ao realizar esforço físico, quando, então, a respiração se acelera, bem como a frequência cardíaca, pode haver desmaio; é possível aparecer erupções faciais sem coceira.
Desidratação	A quantidade de água ingerida é menor do que as perdas na micção e na evaporação total do corpo. Os sintomas são a perda de 5% a 8% do peso provoca a redução da eficiência do trabalhador, que apresenta sinais de desconforto, sede, irritabilidade, sonolência, pulso acelerado, temperatura elevada e oligúria (pouca urina). A perda de 10% é incompatível com o trabalho; atingindo 15% surgem sinais de choque hipovolêmico.
Golpes de calor	Em geral os golpes de calor são associados a disfunções das glândulas sudoríparas, quando o indivíduo se encontra em ambientes quentes e úmidos. Os sintomas são erupções cutâneas que provocam coceiras nas partes

	cobertas e que, durante a sudorese, dão a sensação de picadas, calor e queimação, demorando dias ou semanas para desaparecerem.
Queimaduras	Geralmente ocorrem devido à exposição à radiação ultravioleta do sol ou a certos processos industriais como solda elétrica, fabricação de vidros, etc. Na exposição ao calor elas ocorrem quando a temperatura da pele ultrapassa 45°C. Os sintomas são visíveis.
Psiconeurose	trabalho em ambientes quentes provoca desconforto e redução de eficiência que favorecem o surgimento de distúrbios psiconeuróticos em pessoas predispostas

Assim como aponta Mendes (2019), os estudos que visam a compreensão Geográfica do clima, principalmente de populações marginalizadas, periféricas, negras e socialmente excluídas ainda não se tornou foco das pesquisas geográficas. Porém, a partir da Geografia do Clima (SANT'ANNA NETO, 2001) e, mais recentemente, à luz da Geografia Física Crítica - GFC (LAVE et al., 2019), tem crescido o interesse por temas integradores abordados sob referenciais teórico-metodológicos críticos (NASCIMENTO JUNIOR, 2018).

Desta maneira, compreende-se que é imprescindível levar em conta as diferentes formas através das quais os elementos do clima e suas variações na atmosfera intraurbana atuam sobre o organismo humano em ambientes externos (VANOS et al., 2012). Também, compreende-se que é igualmente imprescindível levar em conta quem são os sujeitos que tem seus corpos expostos a essas variações por conta de determinantes socioespaciais e históricos. É com base nessa relação que a condição de suburbanidade acabou por conduzir a investigação que se segue.

1.2. Conforto térmico: bases teórico-conceituais

1.2.1. Conforto térmico na interface entre clima urbano e Biometeorologia Humana

Para Indraganti e Rao (2010), as variáveis relacionadas ao conforto térmico podem compreender aspectos de fisiologia humana, atividades laborais, hábitos e comportamentos sociais, dentre outros, que são fundamentais tanto à qualidade de vida quanto à qualidade ambiental urbana (LEBLANC *et al*, 1978; BURSE, 1979; FROTA; SCHIFFER, 2001; GOBO et al, 2017).

Fante (2019) sinaliza que os principais elementos analisados em relação ao conforto térmico são a umidade, o vento, a radiação solar e a temperatura, posto que influenciam o corpo humano na busca pelo equilíbrio, a termorregulação. A autora chama a atenção para os fatores geográficos do clima urbano, sobretudo em relação ao seu papel de modulação da umidade atmosférica, uma vez que a associação à temperatura, ela consiste em uma variável central no estabelecimento de condições de conforto térmico, uma vez que a atmosfera quente e com a umidade próxima aos 100% não permite que suor produzido pelo corpo seja evaporado para a atmosfera, o que tende a provocar, simultaneamente, desconforto térmico e também psicológico, pela sensação do corpo estar em profusão sudorípara.

Já os ventos podem se tornar agravantes ou atenuantes do desconforto térmico a depender da sua origem e propriedades físico-químicas, já que possibilitam o aumento da eficácia da convecção entre a pele e a atmosfera, acelerando a dissipação do calor. Gobo (2013), em compensação, pontua que ventos continentais (sejam eles frios ou quentes, mas principalmente secos), são prejudiciais à saúde humana podendo provocar ressecamento de pele. Quanto aos extremos de frio, Gobo (2013), citando Sartori (2000), aponta que em regiões polares caso não ocorra ventos fortes e temperaturas abaixo de -40°C são suportados, enquanto sob condições de corrente de ventos e ventanias a temperatura suportada é aumentada para -10°C .

Por fim, a temperatura do ar desempenha um papel crucial na interrelação com o corpo humano, uma vez que é a partir da interação entre a temperatura fisiológica e a temperatura da atmosfera intraurbana que o indivíduo irá expressar sua satisfação ou não de permanecer naquele ambiente. Middel e Krayernhoff (2019) acrescentam que os grupos expostos a situações de desconforto por calor ou por frio acabam acionando estratégias fisiológicas de termorregulação, necessárias para equacionar a temperatura do corpo para situação de conforto térmico.

Essas relações são alvo das investigações do campo da Bioclimatologia Humana, que busca identificar as influências dos elementos climáticos no corpo humano, que podem ser de natureza: termal, barométrica, actínias, hídricas e pela composição físico-química do ambiente (SARTORI, 2000).

Gobo (2013) acrescenta que a Bioclimatologia Humana é uma ciência interdisciplinar, situada entre a Climatologia e a Medicina, e que apresenta quatro subdivisões: Bioclimatologia Fisiológica, Bioclimatologia Social, Bioclimatologia Patológica e Bioclimatologia Urbana. Esta última tem como foco a inter-relação entre os seres humanos e o espaço urbano, especificamente quanto à identificação das faixas interpretativas de conforto térmico.

Ao refletir sobre a Bioclimatologia humana e as cidades brasileiras, Gobo et al. (2019, 2020) trazem à tona indagações acerca das formas através das quais os diferentes fatores geográficos do clima na conformação dos climas urbanos potencialmente influenciam na geração de microclimas que podem afetar os níveis de conforto térmico dos pedestres. Variáveis como por quanto tempo pedestres toleram a falta de sombra, as condições limites (toleráveis) de exposição nesses espaços, associados a questões subjetivas como preferência, percepção, aceitação e aclimação, foram discutidas pelo autor.

O corpo humano saudável apresenta temperatura interna aproximada de 37°C, podendo variar em aproximadamente 1°C positiva ou negativamente, a depender das condições de saúde e o ambiente no qual o indivíduo está inserido. Para manter esta temperatura, o corpo humano utiliza de mecanismos de troca de calor com o ambiente através da radiação, condução, convecção, respiração e a evaporação. Rupp e Ghisi (2018) e Melo-Marins et al (2017) chamam a atenção que a eficiência desse processo pode variar de acordo com a umidade relativa do ar, variável por vezes negligenciada, mas que apresenta um papel extremamente importante, posto que quanto maior a umidade, menor será a taxa de evaporação (AULICIEMS ; SZOKOLAY, 1997; GOBO, 2013).

Sob condições de calor, uma das medidas do corpo humano de manter a sua temperatura estável é através da vasodilatação, que consiste na expansão dos vasos sanguíneos, mecanismo responsável por otimizar a distribuição de sangue no corpo humano. Esse mecanismo gera elevação na temperatura da pele e, conseqüentemente, conduz a dissipação do calor. Quando a vasodilatação não é capaz de reduzir a temperatura do corpo e restaurar a temperatura média de 37°C, as glândulas sudoríparas são então ativadas e a troca de calor por evaporação se inicia (AULICIEMS ; SZOKOLAY, 1997; GOBO, 2013).

As contribuições científicas relacionadas ao conforto térmico postulam indagações sobre as formas de mensuração, uma vez que são variados os fatores fisiológicos, individuais, ambientais, mas principalmente, subjetivos ao que é confortável ou desconfortável para o indivíduo. Assim, definir categorias do que é confortável ou não se torna um desafio. Indraganti e Rao (2009) propuseram, inclusive, que o primeiro passo para o desenvolvimento do parâmetro de conforto térmico seja a identificação da adaptação dos indivíduos à realidade do ambiente aos quais estejam sujeitos.

1.2.2. Conforto térmico e determinantes ambientais

Fante (2019) aponta que existe uma plêiade de metodologias para a identificação de limiares de conforto. A maior parte delas consiste ou na combinação de dados mensurados sobre diferentes elementos do clima, ou de variáveis derivadas da relação entre os elementos climáticos em determinada localidade. Entretanto, a autora vai além e aponta aspectos centrais, tais como a capacidade do corpo humano

de se adaptar à diferentes condições climáticas, além do fato de que a satisfação térmica está profundamente associada as fenomenologias do indivíduo.

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado - *ASHRAE*² modificou em seus relatórios a definição de conforto térmico humano. Gobo (2013), pautado na versão Standart 55 (1992), apresenta que o conforto térmico é “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente que envolve a pessoa” A partir da versão de 2004, a associação apresenta o conforto térmico como “condição de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliado por avaliação subjetiva”. Essa definição se repete nas versões correntes.

Fanger (1970) aponta que a necessidade de investigar ambientes internos surgiu por conta do tempo dispendido pelos grupos sociais em ambientes artificialmente controlados, principalmente em locais como escolas e escritórios. Para o autor, não apenas as condições ambientais internas devem ser minimamente investigadas, como também as percepções dos sujeitos que se encontram nesses ambientes. Apesar da obra de Fanger datar de 1970, sua contribuição tem sido significativa não apenas sob o ponto de vista da sua proposta metodológica, do conjunto expressivo de aplicações mas, sobretudo, do impacto de longa duração que sua obra teve no surgimento de estudos sobre a eficiência térmica de edificações sob a perspectiva do conforto térmico (NAZARIAN; LEE, 2021). Enescu (2017) ressalta que o índice proposto por Fanger (1970) é um dos principais utilizados devido ao estabelecimento do *Predicted Mean Vote* (Voto Predito Médio - PMV) do ambiente onde o indivíduo está inserido. O índice PMV se diferencia de índices de conforto estritamente quantitativos por considerar a percepção dos indivíduos através da aplicação de questionários, se configurando como um índice híbrido.

Uma das principais críticas relacionadas aos índices de conforto térmico está associada ao fato de que eles foram majoritariamente desenvolvidos em contextos de clima temperado, para ambientes internos sob condições controladas (RODRIGUES ; D’ALESSANDRO, 2019), necessitando de calibração. Em grande medida, parte significativa da população urbana mundial - principalmente os grupos sociais mais vulnerabilizados e expostos a situações de calor e frio extremos - encontra-se em ambientes transientes termicamente. Ou seja, a variação da sua situação entre ambientes internos com e sem sistema de ventilação e ar condicionado, e ambientes

² *ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

externos faz com que se torne um desafio o emprego de índices considerando apenas uma dentre essas situações (INDRAGANTI ; RAO, 2009; RODRIGUES ; D'ALESSANDRO, 2019; SAMUELSON et al., 2020).

Além disso, quando levados em conta os ambientes externos, há que se ressaltar as conexões entre as características dos ambientes construídos/edificados, tipo de cobertura da terra, uso da terra, entre outros, na configuração de microclimas insalubres e de potencial deflagração de stress térmico humano (SANT'ANNA NETO, 2011; NASCIMENTO JUNIOR, 2019). Nesse sentido, aspectos relacionados ao clima urbano podem indicar áreas de potencial geração de desconforto térmico. Desta maneira, se propõe a investigação dessas relações a partir de modelos de classificação climática urbana *UC-Map*, discutida a seguir.

1.3. Nexos possíveis: os modelos de classificação climática urbana

À luz de uma abordagem integradora entre os diferentes processos que modulam o clima das cidades, a escolha pela *Uc-Map* está relacionada a sua forma-estrutura, que possibilita conciliar elementos e fatores do clima de forma espacial e que possui como fundamentação compreender como essa convergência de geoinformações possibilitam representar áreas potenciais de desconforto térmico.

O modelo escolhido possibilita agregar novas camadas de dados à estrutura de análise e representação, tornando possível a anexação de camadas essencialmente climáticas como a umidade relativa e a temperatura do ar.

1.3.1. UC-Map

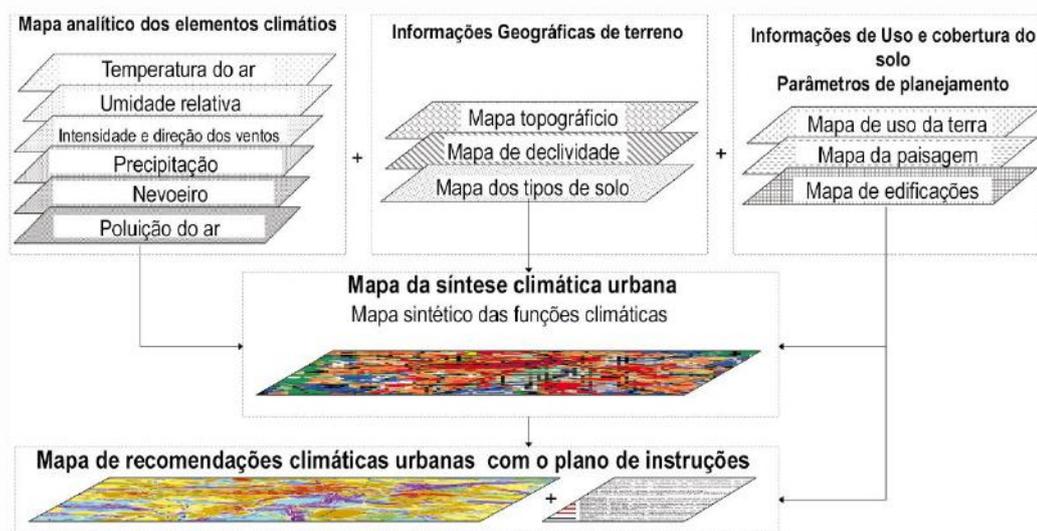
Ren (2015) aponta que, a partir dos anos 1970 na Alemanha, os estudos e atividades que envolveram o planejamento urbano ganharam grande importância. Liderados por Baumuller (2015), foram iniciadas as sistematizações e aplicações dos primeiros mapas climáticos urbanos como subsídio para mitigação de problemas relacionados à poluição atmosférica.

Nos anos 1980, com a intenção de controlar a emissão de particulados emitidos por fábricas antigas nas áreas industriais do vale do Rio Ruhr, Região Metropolitana na Alemanha, foi implementado um programa de gerenciamento da qualidade do ar utilizando das ferramentas propostas pelo mapa climático analítico. O objetivo era, a partir da diferenciação das áreas de acordo com suas funções socioeconômicas e climáticas, monitorar e mitigar problemas de qualidade do ar. A partir deste marco,

mais de 25 cidades alemãs passaram a utilizar mapas climáticos para planejamento urbano.

Nos anos 1990, após a reunificação da Alemanha, diversas cidades do norte do país desenvolveram seus mapas climáticos analíticos. Com a criação da seção de Climatologia Urbana em Stuttgart, houve compartilhamento de tecnologia, promovendo a utilização de mapas sinóticos, mapas termiais, mapas de emissões de gases, mapas climáticos analíticos, mapas de áreas urbanas e de recomendações ao planejamento, utilizando sistema de informações geográficas (**Fig. 3**).

Figura 3 - Estrutura do mapa-síntese climático urbano



Fonte: Ng et al (2008) (tradução nossa)

Inicialmente, a construção dos *Urban Climate Maps - UC-Maps* foi indicada para cidades de pequeno e médio porte (REN, 2015). Entretanto, o grupo de pesquisa liderado por Ng, na universidade de Hong Kong, tem implementado a metodologia dos *UC-Maps* em cidades variadas, destacando as suas particularidades quanto à densidade de ocupação e formas construtivas. Ren (2015) destaca que há diferença entre os processos e elementos que são considerados durante o processo de consolidação dos *UC-Maps*, uma vez que nos espaços urbanos densamente construídos são inseridos no sistema o potencial dinâmico, carga térmica e as informações sobre o vento, interligando aos estudos de clima urbano, morfologia urbana e parâmetros de planejamento.

A estrutura do mapa climático urbano consiste na seleção de um conjunto de feições básicas organizadas como variáveis que são categorizadas em três grandes

conjuntos: i) elementos climáticos, ii) os dados geográficos e, por fim, iii) os dados de uso e cobertura do solo. Através da integração destes três blocos de dados é que, segundo Ren et al. (2011), o *Urban Climate Analytic Map - UC-AnMap* é construído. Ressalta-se que estes três grandes grupos de variáveis não são monolíticos do ponto de vista metodológico. Em outras palavras, outras variáveis podem compor os grupos, a depender das características da cidade a qual se pretende investigar.

1.3.2 UC-AnMap

O *Urban Climatic Analytic Map - UC-AnMap* compõe uma das principais estruturas do *UC-Map*, devido ao seu caráter sintético. É nesta etapa do processo de formação dos mapas climáticos urbanos na qual é sintetizado os elementos e fatores urbanos e climáticos em ambiente computacional. Ren (2015) aponta que é nesta etapa que se torna capaz de identificar os processos que ocorrem na relação entre o espaço urbano e como eles interagem com a atmosfera urbana.

Ao avaliar a metodologia que origina o *UC-AnMap*, Baumuller (2015) identificou três elementos centrais nas bases de dados empregadas: o modelo digital de elevação (DEM), a orientação de vertentes e a declividade.

Segundo o autor, a carta de uso e cobertura da terra, usualmente produzida a partir de produtos de sensoriamento remoto, deve obedecer a uma classificação que propõe oito classes, a saber: indústria e comércio, alta densidade de prédios elevados, baixa densidade de prédios, ruas, trilhos de trem, espaços abertos, florestas e corpos hídricos.

Por último, a carta de temperatura de superfície, também gerada a partir de produtos de sensoriamento remoto, deve permitir a identificação das áreas de maior calor superficial, as áreas menos aquecidas e a drenagem de ar frio.

Outro elemento climático importante apresentado por Baumuller (2015) consiste na direção e intensidade dos ventos, uma vez que Ambas as variáveis atuam como elemento potencializador ou dissipador de calor (NG et al., 2009; REN et al., 2013; ASHIE et al., 2015; FANG et al., 2015; TANAKA ; MORIYAMA, 2015; KATZSCHNER ; BURGHARDT, 2015; KATZSCHENER ; KUPSKI, 2015).

Quadro 2- Composição e fenômenos compreendidos pela Uc-AnMap

Componentes da Uc-AnMap	Características e fenômenos climáticos		Escala de análise climática
Uc-AnMap	Análise da circulação local (vento, brisas marinhas e de montanhas)	vento e ventilação	Meso (regional) e micro escala (cidade e área urbana)
	Análise local de direção predominante do vento		
	Análise da existência e potencial caminhos aéreos		
	Análise das áreas de ventilação (produção de zonas de ar frio)		
	Análise locacional do efeito de barreiras devido aos prédios		
	Análise de áreas urbanas e os efeitos das ilhas de calor		
	Análise da bioclimatologia urbana especialmente em áreas de estresse térmico por frio ou calor	Atributo térmico	
	Análise das áreas com poluição do ar	Atributo qualidade do ar	

Fonte: Ng et al. (2008)
Tradução nossa

Ao estruturar as diversas variáveis inseridas nos *UC-Maps* gerados, Ng (2009, 2012, 2015) classifica cada um dos parâmetros como positivo e/ou negativo, de acordo com as informações sobre como determinada variável pode interferir no modelo de Temperatura Equivalente Fisiológica - PET³. Ou seja, além de contribuir com a criação de um modelo sintético que compreende um conjunto de fatores geográficos, variáveis climáticas e de uso e cobertura do solo, os *UC-Maps* também apresentam a capacidade de gerar informações sintéticas que podem subsidiar, no âmbito do planejamento, a identificação de áreas de potencial desconforto térmico.

Ng (2015) contribui para a atribuição de um sentido positivo ou negativo a uma dada variável ao classificá-las de acordo com seus critérios associados à termodinâmica, quais sejam: a capacidade térmica, o potencial dinâmico, e o papel dos ventos. Cada grupo de critérios apresenta uma base específica relacionada a uma variável que, por sua vez, tem um sentido positivo ou negativo atribuído, conforme indicado a seguir (**Quadro 3**).

³ *Physical Equivalent Temperature – PET*

Quadro 3 - Estrutura do *UC-Map* de Hong Kong

Critérios Físicos	Efeitos	Bases	Variável
Capacidade térmica	Negativo	Construção em massa	Volume de construção
	Positivo	Altitude	Topografia
	Positivo	Efeito Bioclimático	Vegetação
Potencial Dinâmico	Negativo	Permabilidade Urbana	uso e cobertura da terra
	Positivo	Efeito Bioclimático ventos frios	Cobertura Natural
	Positivo	mudança de massa de ar e efeitos de vizinhança	Proximidade a área abertas
Ventos		simulação MM5 HKO mede dados	Direção dos ventos predominante

Fonte: Ng et al. (2008)
Tradução nossa

1.3.3 UC-ReMap

O *Urban Climate Recommendation Map - UC-ReMap* consiste num produto que tem como objetivo orientar o planejamento urbano. Ele é feito com base nos dados coletados e sintetizados na fase do *UC-AnMap*. Sua representação espacial é resultado da combinação de diferentes variáveis que possuem como premissa aglutinar climatopos semelhantes e, a partir deles, fomentar planos de ação específicos para cada sub-área delimitada (REN, 2015).

Baumuller (2015) e Ren (2015) apontam que, a partir do *UC-ReMap*, é possível fomentar estratégias de planejamento, gestão, ordenamento urbano e paisagístico interdisciplinar, entre climatologistas, arquitetos e demais profissionais. Os autores acrescentam que é fundamental que as recomendações e guias de planejamento sejam desenvolvidos e orientados para minimizar os efeitos potencialmente nocivos do clima urbano.

As recomendações usualmente propostas pela *UC-ReMap* (**Quadro 4**), estão relacionadas a redução da carga térmica urbana, controle de volumetria de edificações com vistas a mitigação e redução da produção de zonas que impedem a circulação do ar, melhora na eficiência da ventilação urbana por meio dos padrões de cobertura já existentes, traçar novos caminhos aéreos, preservar, manter, melhorar e respeitar a produção de ar frio e áreas de drenagem, se aplicável e das encostas

vegetadas próximas as áreas urbanas, entre outras recomendações de intervenção. Além disso, também é compreendido no âmbito do *UC-ReMap* o potencial dos fatores naturais no âmbito da cidade, como a preservação e otimização do efeito das brisas marítimas e continentais, bem como a preservação da vegetação urbana (REN, 2015).

Quadro 4 - Aspectos de análise e zonas destacadas do *UC-ReMap*

Zonas de uso específico de cobertura do solo	Função e impacto climático		Nível de planeamento e escala
Floresta na encosta e fundos de vale	Produz e transfere ar fresco	Atributo de ventilação	Municipal (1:10.000 - 25.000)
Vegetação nas fronteiras das áreas construídas	Contribui para troca de ar		
Cinturão verde e espaços verdes interconectados	Contribui para a troca de ar dos espaços rurais para os espaços urbanos		
Espaço aberto sensível à mudança do uso da terra	Transfere o ar fresco e melhora a troca de ar urbano		
Áreas construídas	Bloqueia a circulação de ar		
Ferrovias e vias largas	Contribui para a troca do ar		
Vegetação urbana e circundante	Contribui para a mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana	Atributo térmico	Plano de zoneamento
Espaços abertos	Contribui para a mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana		
Áreas construídas	Contribui para os efeitos da ilha de calor urbana		Paisagem e plano de uso da terra (1:5.000 - 1:10.000)
Áreas altamente construídas	Processos de carga térmica		

Áreas comerciais e industriais	Causa poluição do ar e ruído	Atributo qualidade do ar	
Principais estradas de tráfego	Causa poluição do ar e ruído		

Fonte: adaptado de Baumuller et al (1992); VDI (1997); Ng et al. (2008)
Tradução Nossa

Para Ng et al. (2008) e Katzschner e Campe (2015), a metodologia do *UC-Map* é apenas o começo para uma discussão sobre o para quem e como planejar a cidade. Para os autores, é necessário buscar inovações com o objetivo de promover a melhoria do ambiente urbano, sobretudo em relação ao atributo climático. São as dinâmicas relacionadas ao trânsito de matéria e energia na cidade que dão origem a especificidades quanto à distribuição espacial e temporal da temperatura, da qualidade do ar e, também, das áreas de melhor e pior condição de conforto térmico humano. Nesse sentido, a aplicação de um conjunto de ferramentas como esse pode trazer contribuições importantes para a investigação da qualidade ambiental e climática urbana no contexto de um município que apresenta complexidade reconhecida em termos de fatores geográficos do clima, tipos de uso e cobertura do solo, e de variáveis atmosféricas. Os mapas climáticos urbanos, no entanto, têm seu potencial explicativo ampliado quando se compreende historicamente de que maneira o espaço urbano do Rio de Janeiro foi produzido. É nesse sentido que o capítulo 2 se apresenta a seguir.

CAPÍTULO 2 - A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO NO RIO DE JANEIRO

2.1 - A evolução urbana e origens do subúrbio carioca

A despeito de sua origem (ou invenção) ser tributária da expansão mercantil-capitalista através da expansão colonial Portuguesa e Francesa (ABREU, 1992; KAREH, 2010), as heranças do colonialismo (LAVE et al., 2019) marcam a formação socioespacial brasileira. Destacadamente, as aparentes contradições entre a lógica escravista e capitalista (OLIVEIRA, 2003), marcam também os futuros processos de produção do espaço, de evolução urbana da cidade e, conseqüentemente, da produção de um subúrbio que, em forma e conteúdo, apresenta particularidades se comparado com aquilo que é considerado subúrbio em outros países.

No século XIX⁴, mais precisamente entre os anos de 1821 e 1838, as então novas diretrizes de incorporação dos territórios foram levadas a cabo por parte da recém-chegada Coroa Portuguesa. A corte do Império acabara por tornar-se responsável por abrir e conservar estradas que ligariam a área central da cidade aos chamados arrabaldes⁵ da Freguesia da Glória (hoje correspondentes aos bairros da Lapa, Catete e Glória), Freguesia da Lagoa (correspondente ao bairro de Botafogo) e a Freguesia do Engenho Velho (correspondente ao bairro de São Cristóvão) (**Fig. 4**). As novas estradas teriam como objetivo atender a demandas das elites emergentes de se afastar das populações empobrecidas situadas nas áreas centrais da cidade (ABREU, 1992).

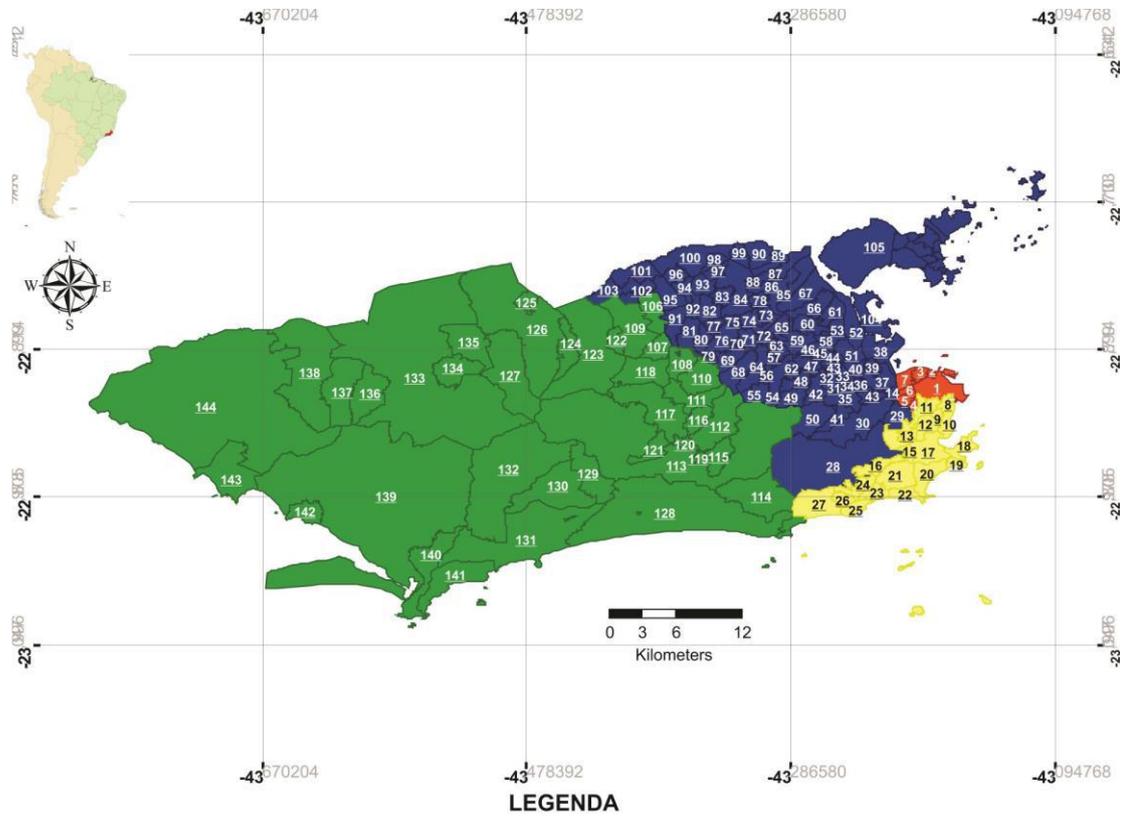
As elites da época possuíam condições financeiras mais abastadas adquiridas por meio da exploração do trabalho tanto de trabalhadores negros escravizados quanto de trabalhadores imigrantes empobrecidos. Em consequência disso, sua maior capacidade de deslocamento pela cidade contrastava com as condições de vida da maior parte da população que residia na área, composta majoritariamente pelos trabalhadores hiperexplorados. Estes sujeitos se mantinham concentrados na área

⁴ A escolha por iniciar a análise acerca da evolução urbana do Rio de Janeiro a partir do século XIX segue o preconizado por Abreu (1992). O autor defende que esse século consiste em um marco temporal importante, estabelecido por conta da instalação e aumento da rede de bondes e trens. O surgimento e expansão desses dois equipamentos acabaram por fazer emergir processos e características que marcam a produção do espaço urbano – e suburbano – até os dias atuais.

⁵ Compreendemos os arrabaldes através da ótica de El Kareh (2010) como termo designado próximo a cidade e dela dependente, do árabe *ar-rabad*, que significa cercanias da cidade, o que posteriormente seria denominado de subúrbio.

central, frequentemente aglomerados em habitações insalubres (cortiços), uma vez que a oferta por trabalho se mantinha represada nesta área, e os baixos salários (no caso de trabalhadores livres) os impediam de se fixar em outras áreas da cidade.

Figura 4 - Zoneamento e bairros do município do Rio de Janeiro



LEGENDA

<p>Bairros da Zona Oeste</p> <ul style="list-style-type: none"> 106 - Deodoro 107 - Campo dos Afonsos 108 - Vila Valqueire 109 - Vila Militar 110 - Praça Seca 111 - Tanque 112 - Freguesia 113 - Jacarepaguá 114 - Itanhangá 115 - Anil 116 - Pechincha 117 - Taquara 118 - Jardim Sulacap 119 - Gardênia Azul 120 - Cidade de Deus 121 - Curicica 122 - Magalhães Bastos 123 - Realengo 124 - Padre Miguel 125 - Gericinó 126 - Bangu 127 - Senador Camará 128 - Barra da Tijuca 129 - Camorim 130 - Vargem Pequena 131 - Recreio dos Bandeirantes 132 - Vargem Grande 133 - Campo Grande 134 - Senador Vasconcelos 135 - Santíssimo 136 - Inhoaíba 137 - Cosmos 138 - Paciência 139 - Guaratiba 140 - Barra de Guaratiba 141 - Grumari 142 - Pedra de Guaratiba 143 - Sepetiba 144 - Santa Cruz 	<p>Bairros da Zona Norte</p> <ul style="list-style-type: none"> 14 - Pça. da Bandeira 28 - Alto da Boa Vista 29 - Rio Comprido 30 - Tijuca 31 - Riachuelo 32 - Sampaio 33 - Rocha 34 - S. Francisco Xavier 35 - Vila Isabel 36 - Mangueira 37 - S. Cristóvão 38 - Caju 39 - Vasco da Gama 40 - Benfica 41 - Andaraí 42 - Engenho Novo 43 - Jacaré 44 - Jacarezinho 45 - Maria da Graça 46 - Del Castilho 47 - Cachambi 48 - Méier 49 - Lins de Vasconcelos 50 - Grajaú 51 - Manginhos 52 - Maré 53 - Bonsucesso 54 - Engenho de Dentro 55 - Água Santa 56 - Encantado 57 - Abolição 58 - Higienópolis 59 - Inhaúma 60 - Complexo do Alemão 61 - Ramos 62 - Todos os Santos 63 - Pilares 64 - Piedade 65 - Engenho da Rainha 66 - Olaria 67 - Penha 68 - Quintino Bocaiúva 69 - Cascadura 70 - Engenheiro Leal 71 - Cavalcanti 72 - Tomás Coelho 73 - Vila Kosmos 74 - Vicente de Carvalho 75 - Vaz Lobo 76 - Madureira 77 - Turiaçu 78 - Vila da Penha 79 - Campinho 80 - Oswaldo Cruz 81 - Bento Ribeiro 82 - Rocha Miranda 83 - Colégio 84 - Irajá 85 - Penha Circular 86 - Brás de Pina 87 - Cordovil 88 - Vista Alegre 89 - Parada de Lucas 90 - Vigário Geral 91 - Marechal Hermes 92 - Honório Gurgel 93 - Coelho Neto 94 - Barros Filho 95 - Guadalupe 96 - Costa Barros 97 - Acari 98 - Parque Columbia 99 - Jardim América 100 - Pavuna 101 - Anchieta 102 - Ricardo de Albuquerque 103 - Parque Anchieta 104 - Cidade Universitária 105 - Ilha do Governador 	<p>Bairros da Zona Central</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 - Centro 2 - Saúde 3 - Gamboa 4 - Catumbi 5 - Estácio 6 - Cidade Nova 7 - Santo Cristo <p>Bairros da Zona Sul</p> <ul style="list-style-type: none"> 8 - Glória 9 - Catete 10 - Flamengo 11 - Santa Teresa 12 - Laranjeiras 13 - Cosme Velho 15 - Humaitá 16 - Jardim Botânico 17 - Botafogo 18 - Urca 19 - Leme 20 - Copacabana 21 - Lagoa 22 - Ipanema 23 - Leblon 24 - Gávea 25 - Vidigal 26 - Rocinha 27 - São Conrado
--	--	--

Fonte da base cartográfica: IBGE (2012)
 Fonte da base de dados: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (2013)
 Projeção: UTM. Datum: SIRGAS 2000
 Zona: 22 S
 Organização: Núbia Beray Armond
 Orientador: João Lima Sant'Anna Neto

Apoio

Fonte: Armond (2014)

A dinâmica da expansão do espaço carioca ganha uma nova percepção a partir dos interesses nacionais e estrangeiros através do marco da inauguração da Estrada de Ferro Dom Pedro II (1858), que ligaria a área central da cidade do Rio de Janeiro à São Paulo. Abreu (1992) menciona que é neste período que ocorre a primeira fase de expansão acelerada da malha urbana do Rio de Janeiro.

A existência da linha de trens e sua expansão constitui-se no principal elemento indutor da formação do que se denomina subúrbio carioca. Outro equipamento relevante foi a rede de bondes que, diante das intencionalidades econômicas e políticas, serviram na verdade, a parcelas mais elitizadas da população, atendendo as demandas da especulação imobiliária (FERNANDES, 2009).

Lins (2010) indica que a linha férrea, que antes passava por “periferias de baixa densidade populacional, compostas por propriedades rurais” (LINS, 2010, p.150), passou a desenvolver em suas imediações, pequenos núcleos de casas. As maiores concentrações habitacionais se estabeleciam próximas as saídas das estações de trem, tendo sido a expansão da malha ferroviária, portanto, um dos principais marcos para o desenvolvimento do crescente subúrbio carioca no final do século XIX e início do século XX.

É importante ressaltar que, ainda na aurora do século XX, o termo “subúrbio” aparece em âmbito legal por meio do decreto 1.514 de 1914. Foi a partir desse decreto, no âmbito do Código de Posturas Urbanas, que o zoneamento da cidade do Rio de Janeiro foi caracterizado em três grandes tipos: a zona urbana, a zona rural e a zona suburbana. Os bairros que hoje compreendem a Zona Central e a Zona Sul, naquele momento, estavam categorizados como urbanos, enquanto toda a Zona Norte e parte significativa da Zona Oeste se encontrava sob o rótulo de Zona Suburbana (à exceção de Guaratiba) (SANTOS, 2012).

O subúrbio, então, passou a se apresentar como a única possibilidade viável para aqueles que foram removidos, de maneira direta ou indireta, de um contexto de adensamento e insalubridade na área central do Rio de Janeiro (LINS, 2010). Esse deslocamento para as áreas mais afastadas em relação ao Centro da cidade não pode ser visto apenas como um movimento perpetrado por trabalhadores assalariados, mas sobretudo como resultado e também como indutor de uma lógica de aumento do preço das terras urbanas nas áreas centrais, associada a um discurso higienista que buscava eliminar não apenas as mazelas de saúde, mas sobretudo os sujeitos empobrecidos.

Profundamente marcado por uma lógica tributária da noção de centralidade, o subúrbio, sem dúvida, iniciou a sua consolidação através da ocupação das áreas que reconhecidamente “distantes” do Centro.

Porém, o entendimento subjacente à noção de subúrbio vai além da dimensão de distância e localização. Ainda que o subúrbio carioca tenha tido como marco inicial a construção das linhas férreas, ele não se resume a elas. De acordo com Lins (2010), os debates sobre o subúrbio historicamente foram realizados colocando em oposição as noções de “urbano” e “suburbano”. O “urbano”, nesse contexto, corresponderia ao cidadão abrangido, pertencente à cidade, enquanto o “suburbano” serviria para referenciar aqueles sujeitos e locais que estariam às margens da cidade. O autor revela ainda, que o “subúrbio” e o “suburbano” eram tratados de forma discriminatória, através da segregação socioespacial em relação a um “núcleo original” dominante - o “urbano” (OLIVEIRA; FERNANDES, 2010; LINS, 2010; SOUZA, 2010; MACIEL, 2010).

No entanto, assim como Abreu (1992) indica, as formas através das quais o processo de produção do espaço urbano no Rio de Janeiro se realizou acabou por guardar especificidades que são expressas até os dias atuais nos padrões de cobertura e uso do solo. Isso também se expressa no que se construiu como o subúrbio carioca. Apesar da distância em relação ao Centro, bem como a presença da linha férrea, se caracterizarem como os dois principais elementos de constituição dos subúrbios cariocas, variados foram os processos que configuraram especificidades em distintas áreas suburbanas, refletidos tanto em âmbito de uso quanto de cobertura da terra. Entre eles, o conjunto de intervenções associadas a industrialização, assim como associados à urbanização, desenvolvimento de setor de comércio e serviços, bem como habitação, se realizaram de maneiras particulares em todo o conjunto urbano (e suburbano) carioca ao longo dos séculos XX e XXI.

2.2. Industrialização, urbanização e processos contemporâneos

A cidade do Rio de Janeiro, já no final do século XIX, era palco de atividades industriais crescentes por toda a cidade, principalmente na região central e no que hoje é o bairro de São Cristóvão. A estrutura herdada pelo Império foi fundamental para a instalação das novas plantas fabris na cidade. No entanto, esse processo não foi linear ou homogêneo. Vários foram os obstáculos para a transição de um país agrário-exportador para um Estado que se pretendia moderno e, portanto, urbano-

industrial, como a disponibilidade de energia, a ausência de força de trabalho qualificada, a convivência com atividades remanescentes de trabalho escravizado, além da concorrência de produtos estrangeiros (ABREU, 1992).

Para o Rio de Janeiro, o processo de industrialização não apenas marcava uma transição importante sob o ponto de vista da transição de um modelo de Estado. Tampouco, a industrialização serviu apenas como um condicionante ou resultante de processos de criação e expansão da malha ferroviária urbana. Mais do que isso, os processos associados a industrialização no Rio de Janeiro foram também aqueles que trouxeram consigo o problema da infraestrutura habitacional, análogo (guardadas as devidas proporções) ao que Engels (2015) visualizou na Inglaterra da Revolução Industrial.

O problema da habitação, fruto de um processo migratório de estrangeiros associado ao fluxo de trabalho forçado advindo do processo de escravização transatlântico, também veio acompanhado e auxiliou a descortinar outros problemas existentes na cidade, como a falta de saneamento básico, a falta de acesso a moradia e a concentração de postos de trabalho na área central.

No ano de 1882, foi promulgado um decreto no qual o estado passava a isentar o pagamento de impostos aduaneiros as indústrias que construíssem “casas populares higiênicas, com fossas, dependências de cozinha e lavanderia elevadas do solo e com boa aeração” para seus operários. Entretanto, essas habitações deveriam ser construídas nos antigos arrabaldes, naquele momento, o nascente subúrbio carioca (ABREU, 1992). Parte das habitações, sobretudo aquelas associadas às instalações industriais, foram construídas seguindo os parâmetros definidos à época em termos de planta e condições ambientais. No entanto, o fluxo migratório de trabalhadores em direção aos arrabaldes também foi acompanhado da autoconstrução de habitações que seguiam os padrões de insalubridade semelhantes aos encontrados na área central da cidade à época.

Já na aurora do século XX, sob a administração de Rodrigues Alves, Francisco Pereira Passos foi designado à prefeito da Rio de Janeiro e responsável pelo processo de reconfiguração da cidade. Sua principal função era livrar a cidade dos seus aspectos de colônia, na tentativa de extinguir o estigma do Rio de Janeiro como cidade-sinônimo de febre amarela e condições insalubres de moradia (ABREU, 1992).

Visando atingir suas metas, Pereira Passos reorganizou a comissão da Carta Cadastral, que tinha como objetivo normatizar e servir de guia para gestão das obras

idealizadas por ele. Abreu (1992) aponta que uma das suas principais e iniciais obras foi a uniformização dos planos de alinhamento das ruas da cidade, bem como o recuo progressivo dos edifícios da área central da cidade. Junto a elas, foi promovido o alargamento das ruas na área, para atender principalmente uma nova burguesia que passara a utilizar o carro como meio de transporte pela cidade. Em síntese, as formas espaciais urbanas, os padrões construtivos, de arruamento, edificações, bem como os materiais empregados e zoneamento foram características gerais reconfiguradas, desenhadas com o objetivo de atender as necessidades de um seletivo grupo de sujeitos no Rio de Janeiro do século XX.

Tal processo é flagrante na passagem de Abreu (1992): “*Na maioria dos casos, a prefeitura desapropriava mais prédios do que os necessários para o alargamento das ruas*”. Com o objetivo de remover a classe trabalhadora emergente das áreas centrais, a intenção era a de aumentar o *status quo* da área associada ao processo de especulação imobiliária dos terrenos com vistas à valorização dos mesmos após as obras.

Em sua análise, Abreu (1992) considera as reformas de Pereira passos importantes em três aspectos:

- Ela representa um exemplo típico de como novos momentos de organização social determinam novas funções à cidade
- Representa o primeiro exemplo de intervenção estatal maciça sobre o urbano, reorganizando agora sob novas bases econômicas e ideológicas que não mais condiziam com a presença de pobres na área mais valorizada da cidade.
- O alargamento das ruas centrais e a abertura de novas artérias, que atravessavam as velhas freguesias artesanais e industriais, destruiu os quarteirões de cortiços habitados pelos proletariados. (ABREU,1992. p.65-66)

Aliado a remoção de parte da população das freguesias centrais junto ao ideal de renovação da imagem do Rio de Janeiro, cada vez mais a emergente classe trabalhadora direcionava-se as freguesias suburbanas como alternativa a tal expulsão das freguesias centrais. Abreu (1992) chama a atenção para a intensificação da ocupação das favelas no centro da cidade, uma vez que existia

uma camada da população que mesmo empregada, não conseguia pagar para se locomover, restando a esses, ocupar as favelas na área central.

Durante os primeiros 30 anos do século XX, foram mantidas as políticas das décadas anteriores. Em outras palavras, as áreas principais de instalação de equipamentos urbanos, saneamento, áreas de lazer, entre outras, tiveram lugar na área central e na Zona Sul da cidade. Ao mesmo tempo, a instalação de plantas fabris seguia em direção ao subúrbio carioca, com ênfase na Zona Norte, levando consigo infraestrutura e a produção crescente de postos de trabalho, atraindo assim cada vez mais moradores para o subúrbio. Isso pode ser observado através do zoneamento produzido no decreto 6.000/1937, no qual a Zona Norte da cidade era majoritariamente tomada como uma zona industrial. A presença de galpões e plantas fabris foi emergente nesse período, com destaque para o entorno da principal via de acesso à área, a Avenida Brasil.

Nas análises de Silva (2010), um dos momentos emblemáticos desse processo se deu durante o Estado Novo, no qual o intuito era o de direcionar e até mesmo impedir a permanência de indústrias em regiões nobres da cidade. Isso fazia parte de uma política de estabelecimento das áreas industriais afastadas das classes médias e altas.

Essas características permaneceram nos zoneamentos posteriores, como naquele preconizado pelo Decreto 322/1976. Neste decreto, toda a área reconhecida atualmente como Zona Norte compreendia um uso misto, majoritariamente industrial, comercial e portuário.

Tais padrões residem até os dias atuais nos territórios da área central e das áreas suburbanas (Zona Norte e Zona Oeste). Visitar a discussão sobre as especificidades entre Zona Norte e Zona Sul ou, em outras palavras, entre urbano e suburbano, significa compreender que essa questão não está relacionada pura e estritamente a uma paisagem estática, a formas espaciais dissociadas da história e da geografia da área. Pelo contrário, sua existência só ganha sentido por meio da compreensão da dimensão de classe e também racial, posto que os grupos sociais de maior poder aquisitivo, bem como agentes da especulação imobiliária e proprietários, gozaram de espaços privilegiados para a proposição de práticas e ações políticas que modularam a cidade do Rio de Janeiro (MACIEL, 2010).

Não sendo parte do passado da cidade, não teriam também lugar em seu presente nem, menos ainda, em seu futuro. Fora da cidade, à margem do tempo, os subúrbios não são considerados parte do processo de constituição histórica do Rio de Janeiro, nem são associados a um movimento que definiu projetos e práticas de exclusão e segregação da pobreza e dos pobres - e que se renovam ao longo do tempo. (MACIEL, 2010, p.189)

Ao debruçarem-se sobre o processo desigual da produção do espaço carioca, Fridman (1999), El Kareh (2010), Oliveira e Fernandes (2010) e Ferreira e Silva (2018) destacam as contradições presentes na paisagem e no espaço carioca desde o Brasil Império, tendo trazido à tona os processos que consolidaram os antagonismos entre a “cidade e o rural”, seguidos de “a cidade e os arrabaldes”, tendo chegado na contradição entre “a cidade e o subúrbio”. Nos três momentos, foram identificados vieses de segregação, de subjugação simbólica e material, além de sua herança colonial e, conseqüentemente, racista devido com a população que se direcionava para um dos principais caminhos de expansão do centro do Rio de Janeiro.

2.2.1 O subúrbio de Irajá

Para compreendermos os processos específicos que consolidaram a área de estudos, precisamos retornar para os agentes de formação e criação da Freguesia Rural de Irajá, que na análise de Ferreira e Silva (2018), se deu a partir da criação da paróquia e matriz da Nossa Senhora da Apresentação do Irajá. A partir desse momento, a área passou a exercer centralidades e se constituir num importante vetor de construção de sociabilidades na área. Para compreendermos as dinâmicas sociais e de poder e hierarquia da época, é necessário destacar o papel da freguesia, que se compreende como:

A freguesia, designação portuguesa de paróquia, é um território submetido à jurisdição espiritual de uma cura que também exerce a administração civil (...) Trata-se de uma circunscrição eclesial em que se divide a diocese, palavra igualmente de origem grega utilizada no império romano, que tem o sentido de governo (FRIDMAN, 1999, p.2-3).

Sendo uma unidade administrativa civil, a freguesia Nossa Senhora da Apresentação de Irajá era um extenso território de área rural que continha a baixada

de Inhaúma e as baixadas de Jacarepaguá e Campo Grande. A capela, fundada por volta de 1613, tornar-se-ia paróquia no ano de 1644.

Silva (2013) citando Araújo (s.d) aponta que a freguesia de Irajá se limitava a:

Ao norte com a freguesia São João de Miriti, em pouco mais de 1 ½ léguas na ponte do Rio Miriti, próximo ao mar; A leste, chega a 2 léguas, mais ou menos, da distância do mar, compreendendo a Ilha de Marçal de Lima, sita na boca do Rio Miriti; Ao sul, finaliza com a Freguesia de S. Tiago de Inhaúma, em 1 ½ léguas; Noutra extensão semelhante, se encontra ao sudoeste, com a Freguesia de N. Senhora do Loreto e S. Antônio de Jacarepaguá; e no rumo oeste ou sudoeste [sic], termina em 2 léguas com a freguesia de Nossa Senhora do Desterro de Campo Grande. (SILVA, 2013, p.10 apud ARAÚJO, s.d).

Assim como Fridman (1999), Silva (2013) investigou as transformações da Freguesia de Irajá em seus aspectos fundiários por meio do Registro Paroquial de Terras. Junto a Fragozo (2010), os autores apontam que em 1794, a Freguesia de Irajá possuía 274 fogos, com aproximadamente 2854 habitantes e 12 engenhos, não havendo terras devolutas para lavradores de alimentos e produtores rurais, estando toda a área sobre domínio dos grandes senhores. No entanto, aproximadamente metade das terras acessadas ao longo do século XIX não tiveram a forma de aquisição declarada no Registro Paroquial de Terras.

Na análise de Silva (2013), assim como ocorreu na freguesia de São Gonçalo há uma expressividade no número de terras obtidas através de herança (18,4%), fomentando tanto uma hereditariedade na ocupação de terras na freguesia de Irajá, quando um processo estrutural de exclusão senhorial (PEDROZA, 2009). Com tudo, o acesso à terra de forma não declarada (posse, uso capiao ou até mesmo grilagem) denota a política do Império em não regulamentar as terras nas áreas até então denominadas por rurais.

Santos (1996), ao investigar as transformações espaciais das sesmarias até a década de 1920 com o objeto de estudo as freguesias de Irajá e Inhaúma, corrobora com a abordagem de Silva (2013) e Ferreira e Silva (2018) ao apontar que ambas as freguesias só passaram a ter uma valorização de suas terras e uma ocupação acelerada a partir da instalação da linha ferroviária Estrada de Ferro Dom Pedro II, em 1858. Conforme abordado anteriormente, a instalação da linha férrea esteve associada a política de remoções de Pereira Passos no direcionamento dos trabalhadores expulsos da área central da cidade sob argumentos higienistas. Para

Silva (2010), no período de 1870 até 1930, as áreas correspondentes às Freguesias de Irajá e Inhaúma foram as que mais cresceram em termos populacionais.

Em síntese, os processos de formação e consolidação territorial da cidade do Rio de Janeiro podem ser delimitados em três momentos no século XX (ABREU, 1992). O primeiro momento corresponderia as primeiras décadas do século XX, tipificando um espaço concentrado, onde o centro é reconhecido e delimitado pela própria cidade, sendo reafirmado pela concentração de obras de infraestrutura no governo de Pereira Passos.

O segundo momento, no período de 1930-1960, representa a expansão urbana do território central e a descentralização funcional de diversos setores da economia. O terceiro momento, iniciado nos anos de 1960, teve como ponto de partida a transferência da capital federal para Brasília, e com ela, a administração pública, a economia, e a própria política administrativa perderam forças na gestão do território.

Izaga e Pereira (2014) apontam que é neste momento da história do Rio de Janeiro que os vetores hoje consolidados se iniciam, com a afirmação da região sul-litorânea, o direcionamento de investimentos massivos em infraestrutura em direção à Barra da Tijuca, além de obras de implementação de rodovias seguindo a lógica de transportes em escala nacional e a implementação do Metrô, nos anos 70 (IZAGA; PEREIRA, 2014).

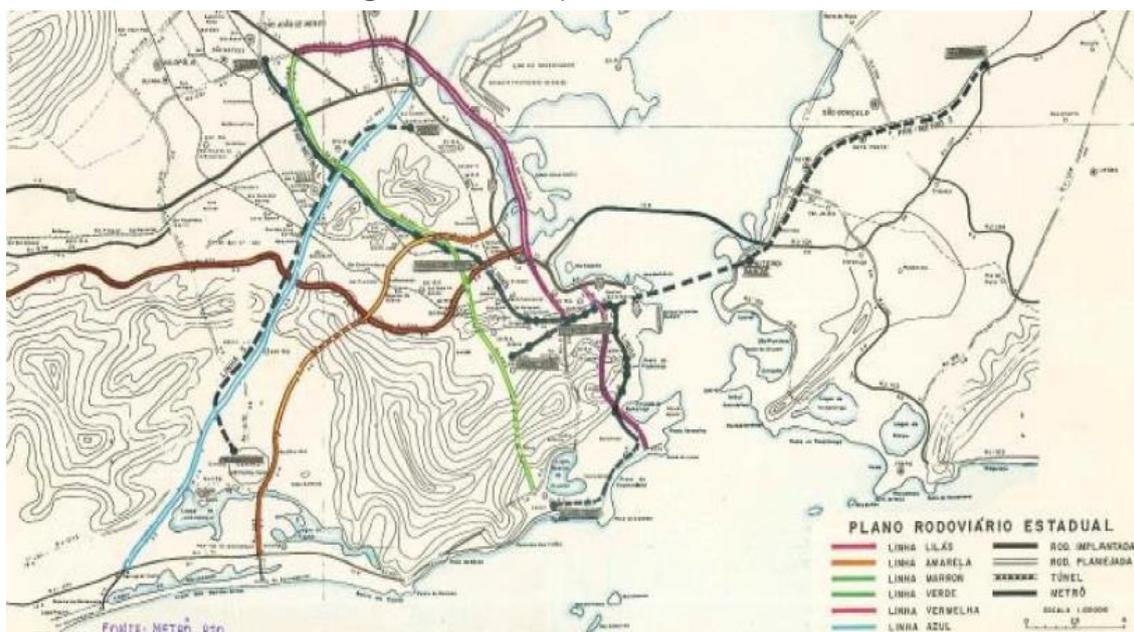
Após a década de 1970, o subúrbio carioca viveu um processo de consolidação e expansão de forma heterogênea e desigual, principalmente em comparação às áreas centrais e, principalmente, se considerado as zonas Sul e Oeste, esta última, principalmente através do bairro Barra da Tijuca. Este processo de reprodução do espaço de forma desigual perdurou nas políticas do governo municipal, como obras de infraestrutura e saneamento básico, manutenção e abertura de vias de rodagem e segurança (IZAGA; PEREIRA, 2014). No entanto, nas décadas iniciais dos anos 2000, as áreas suburbanas, destacadamente a do subúrbio de Irajá, apesar de ter recebido investimentos significativos em equipamentos urbanos, não apresentou crescimento expressivo da população (SANTOS, 2012).

Assim como a implementação da estrutura da Estrada de Ferro Dom Pedro II funcionou como vetor de expansão, outro equipamento de transporte viria a exercer influência parecida. O ano de 2009, marcado pela vitória da candidatura da cidade do Rio como sede dos Jogos Olímpicos de 2016, foi também o marco de uma série de políticas de reestruturação urbanas presentes no município. O subúrbio carioca,

sobretudo o subúrbio dos bairros da antiga Freguesia de Irajá (Vila da Penha, Vicente de Carvalho, Vila Kosmos, Vista Alegre, Irajá e Colégio), seria marcado pela implementação do corredor BRT - *Bus Rapid Transit*. Parte dos seis bairros receberam o corredor Transcarioca, que percorreria do aeroporto internacional Tom Jobim/Galeão até o terminal Alvorada, no bairro da Barra da Tijuca.

O projeto de mobilidade urbana desenvolvida para atender as demandas dos Jogos Olímpicos teve o seu processo de desenvolvimento ainda na década de 1960, na administração de Carlos F. Werneck Lacerda que, através da contratação do arquiteto grego Constatínos Apóstolos Doxiadis, implementou o Plano Doxiadis, também conhecido como o plano Policromático. Este plano visava um desenvolvimento equístico⁶ para a região metropolitana do Rio de Janeiro, preconizando dentro da sua estrutura seis vias expressas (**Fig. 5**).

Figura 5 - Plano policromático de Doxiadis



Fonte: Souza (2008)

Santos (2013), ao comparar as vias expressas desenvolvidas no âmbito do plano Doxiadis (1965) e a implementação do corredor Transcarioca, aponta a existência entre trechos comuns entre os dois projetos, principalmente entre o trecho

⁶ teoria, centrada nos grupamentos humanos, estuda "seus aspectos físicos, sociais, econômicos e demográficos, ou seja, o *habitat* natural dos grupamentos, suas populações, nível econômico, estrutura social e comercial, padrões de uso da terra, distribuição de edifícios de uso comum e instalações, rede de transportes e de serviços de utilidade pública" (REZENDE, 1982).

de Jacarepaguá e Vaz Lobo. Com o intuito de atender ao principal investidor do projeto (qual seja, o BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento), o governo municipal ampliou o projeto do corredor Transcarioca para conectar o aeroporto internacional Tom Jobim/Galeão a uma das principais áreas de concentração dos Jogos Olímpicos de 2016 - a Barra da Tijuca.

O processo de implementação deste corredor expresso remodelou significativamente as formas espaciais em diversos bairros por onde o mesmo foi implementado. Em primeira instância, a desapropriação de diversas casas, lojas e áreas públicas aconteceu com o objetivo de alargar ruas e avenidas pré-existentes, ampliando a superfície asfaltada e, conseqüentemente, impermeabilizada. Em um segundo momento, devido a implementação do corredor expresso e a criação de diversas estações de acesso ao sistema, os bairros pelo qual o BRT foi instalado vivencia desde sua implementação a redução massiva de ônibus que não sejam alimentadores da frota BRT (SANTOS, 2013; IZAGA; PEREIRA, 2014).

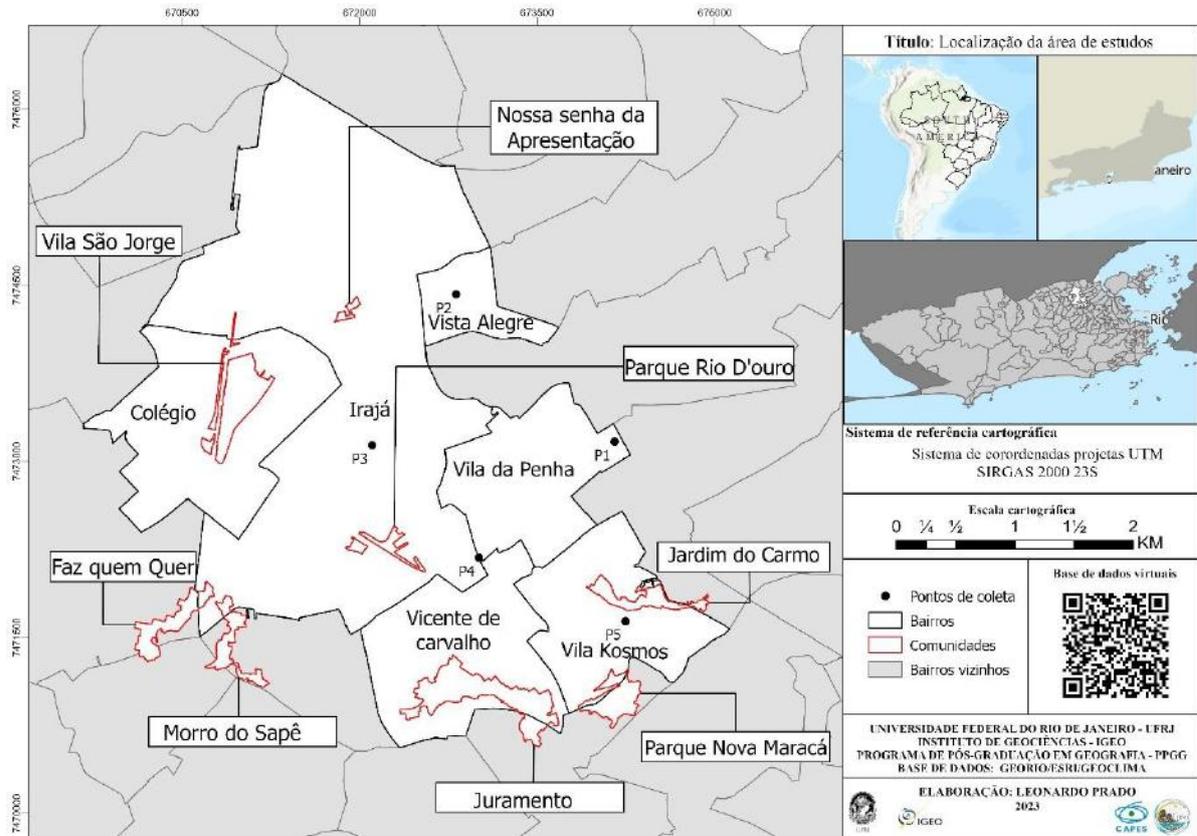
A presença dos corredores BRT nos bairros suburbanos poderia ser vista como uma excelente aquisição sob o ponto de vista do aumento da eficiência de um transporte verdadeiramente de massas na área. Além disso, sua existência também acarretaria na redução da quantidade de ônibus externos aos corredores circulando, o que impactaria de modo positivo para a melhoria da qualidade do ar. No entanto, a degradação da frota por meio da ausência de manutenção adequada, bem como a sua redução seja em quantidade de veículos, seja em intervalos das linhas, faz com que as áreas suburbanas novamente sejam alvo de uma política de ausências.

Na área de estudos, os bairros diretamente influenciados pela implementação do BRT são os bairros da Vila da Penha, Vicente de Carvalho, Vila Kosmos e Irajá, bem como as favelas Morro do Juramento, Nova Maracá, Jardim do Carmo, Morro do Sapê, Parque Rio D'ouro e Parque Jardim Metrô de Irajá.

2.3. Aspectos geoambientais e climáticos

A Região Administrativa de Irajá está localizada no subúrbio do Rio de Janeiro, sob a Área de Planejamento 3. Ela se encontra completamente a sotavento de dois maciços importantes na metrópole carioca: os maciços da Tijuca e o maciço da Pedra Branca, fatores geográficos fundamentais na modulação da dinâmica climática local (**Fig 6**). Os bairros abrangidos pela Região Administrativa de Irajá são: Irajá, Colégio, Vicente de Carvalho, Vila Cosmos, Vila da Penha e Vista Alegre.

Figura 6 - Localização da área de estudos



A posição do município em relação a atuação de sistemas de natureza sinótica é particular. Com entrada sentido sudoeste-nordeste, as passagens frontais alimentadas pela umidade oceânica encontram como barreiras orográficas os compartimentos montanhosos (os maciços supramencionados). Esse efeito faz com que a precipitação tenda a fluir para as áreas mais baixas do município, em geral as baixadas fluminense e de Jacarepaguá, bem como as áreas de altitude inferior ao redor dos maciços costeiros (DERECZYNSKI et al., 2009; COSTA et al., 2018; LYRA et al., 2018; LIMA et al., 2020). As áreas de maiores totais pluviométricos tendem a se concentrar nos pontos mais elevados e à barlavento. Enquanto as áreas à sotavento frequentemente sofrem pelo efeito de sombra de chuva, como é o caso de parte significativa do subúrbio da Zona Norte, área deste estudo (ARMOND, 2014; ARMOND, 2016; ARMOND; SANT'ANNA NETO, 2017). A marcha temporal da precipitação segue os padrões de uma tropicalidade costeira, qual seja, a distribuição da estação chuvosa em seis meses (entre outubro e março), com a presença de uma

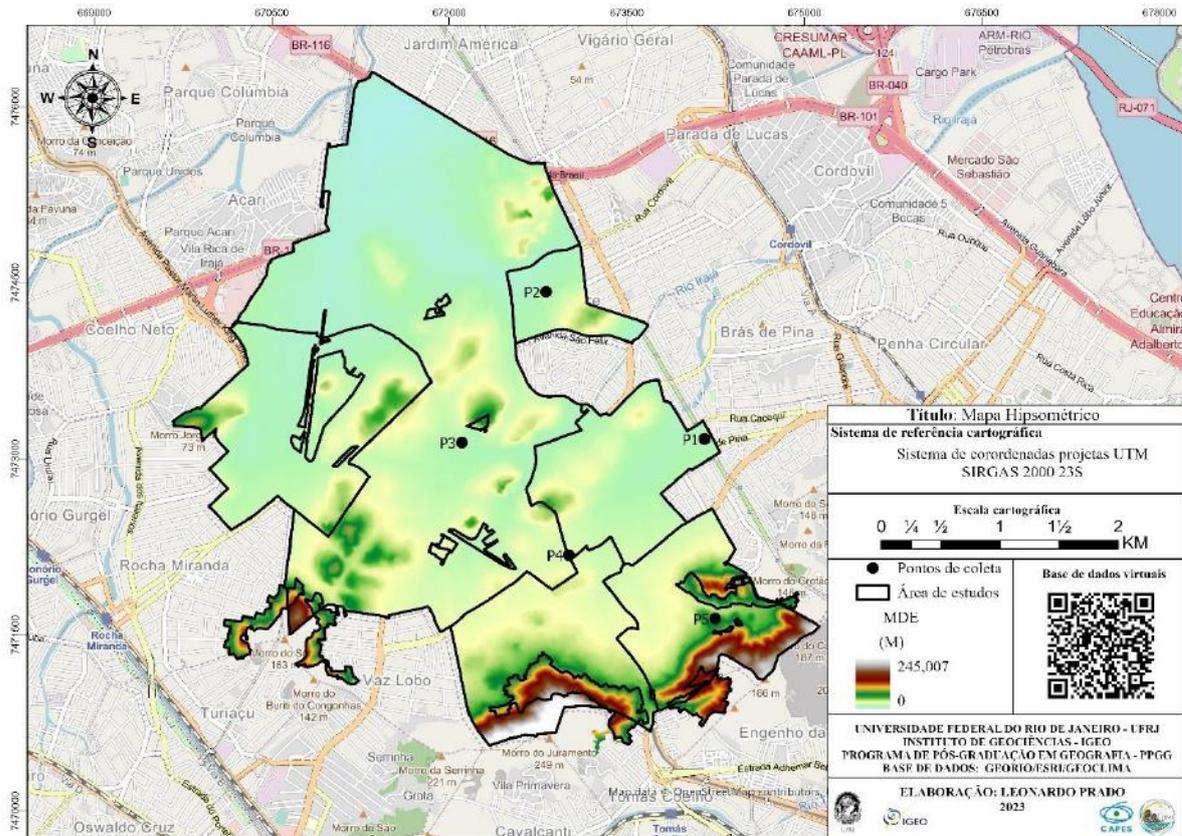
estação menos chuvosa nos outros seis meses - com os meses de julho e agosto apresentando-se como os mais secos (ARMOND, 2014).

Quanto as características de temperatura, a área de estudos apresenta elevados valores de temperatura de superfície (MEIRELES, 2011; LUCENA et al., 2018; PERES et al., 2018). Quanto à temperatura do ar, estudos de Mendes et al. (2022) identificaram que a área não apenas apresenta elevadas temperaturas em termos médios, como é uma das áreas de maior frequência e intensidade de ondas de calor. Credita-se essas características a fatores como elevada impermeabilização, ausência de cobertura vegetal arbórea densa, hipsometria que favorece o aprisionamento do ar na área, e a sua localização próxima a uma parte do fundo da Baía de Guanabara que, por conta do aporte de sedimentos finos, pode favorecer o aumento das temperaturas do ar (FARIAS; BRANDÃO, 2010; MIRANDA et al., 2022; MENDES et al., 2022).

A hipsometria da área de estudos indica uma amplitude de aproximadamente 240m, com predominância de cotas abaixo dos 100m de altitude (**Fig. 7**). Na área em questão, foi identificada a existência de oito comunidades (áreas de favela), das quais cinco estão situadas em encostas.

A comunidade Jardim do Carmo, próximo ao ponto de coleta 5, está localizada em uma porção de relevo complexo, devido a comunidade se estender da vertente até o fundo de vale. Essa conjunção de fatores pode colaborar o que Fialho (2002) indica como brisas de montanha, pois a circulação de ventos pode ser canalizada do topo dos morros ao entorno para o fundo do vale e percorra para áreas mais baixas, num processo de resfriamento da área, mas que devido a geometria/uso e ocupação da terra pode ocorrer um aquecimento do ar diante deste fluxo de ar.

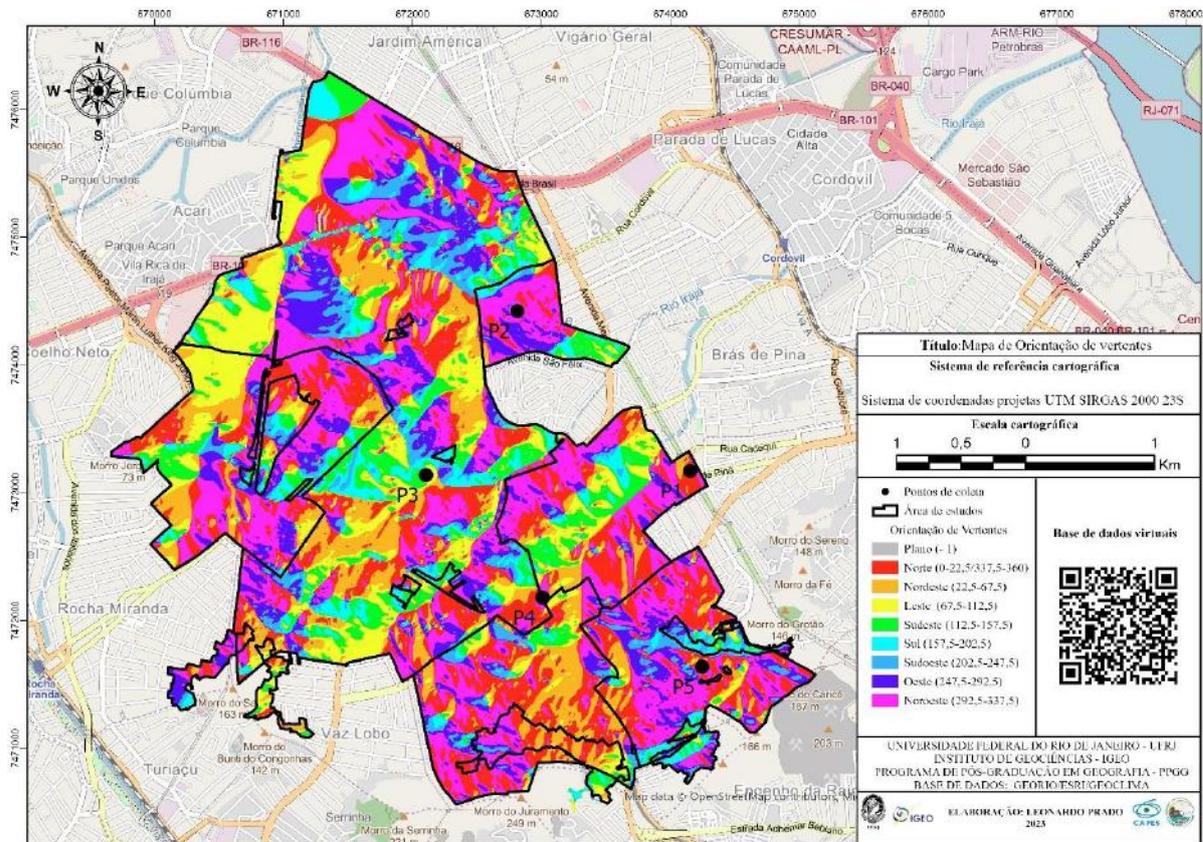
Figura 7 - Mapa hipsométrico da área de estudos



Além da hipsometria, a avaliação da orientação de vertentes para os estudos de clima urbano torna-se fundamental devido a um conjunto de características, dentre as quais o grau de exposição ao sol que determinada vertente pode receber de acordo com a sua orientação (GARTLAND, 2011). A área de estudos possui uma complexa cadeia de orientações de vertentes, com predominância de orientações voltadas ao quadrante norte, em especial para a noroeste (**Fig. 8**).

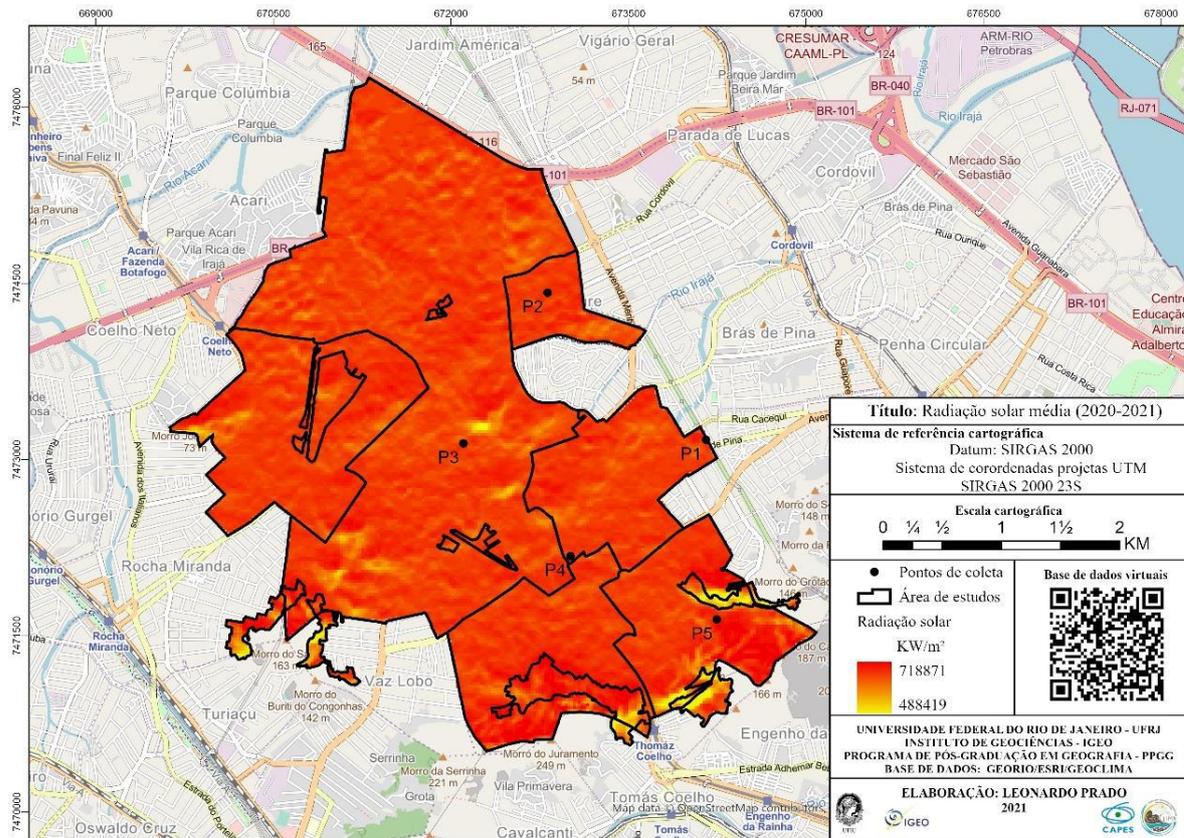
Parte significativa das áreas de favelas estão localizadas nas vertentes orientadas ao quadrante norte, como as comunidades do Juramento e parte da Nova Maracá. Além delas, o ponto P5 de coleta de dados termohigrométricos também se encontra em vertente orientada para este quadrante. Já a comunidade Faz Quem Quer está em condição de vertentes voltada para sul, possibilitando uma menor radiação incidente sobre a comunidade.

Figura 8 - Mapa de Orientação de vertentes da área de estudos



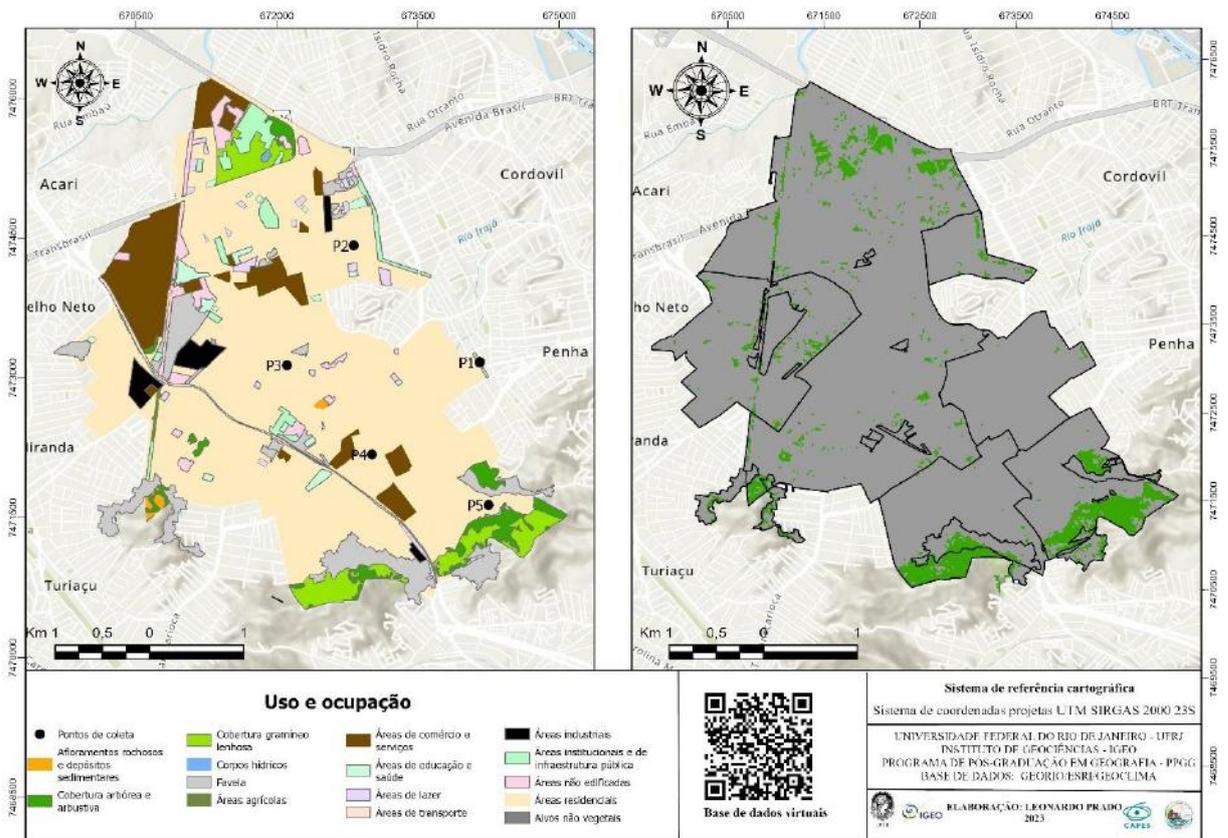
Outra variável crítica para o entendimento da distribuição de energia térmica intraurbana é a radiação solar média, analisada aqui no biênio 2020/2021 (**Fig. 9**). Comparativamente, a relação entre a orientação de vertentes e radiação solar média aparentemente se mostra significativa, já que as áreas predominantemente voltadas ao quadrante sul apresentaram uma média de radiação solar mais baixa se comparada as demais orientações. Ressalta-se, no entanto, que a metodologia empregada não considera aspectos como uso e ocupação da terra. Apenas a orientação das vertentes naturais é empregada para calcular o quanto aquela área recebe em média de energia solar. Nesse sentido, tanto a hipsometria, quanto a orientação de vertentes e a radiação solar média apresentam-se como dados relevantes, mas demandam dados de cobertura da terra e seu uso com vistas a um maior detalhamento da dinâmica intraurbana relacionada ao calor (OKE, 2017).

Figura 9 - Radiação solar média da área de estudos (2020-2021)



Por conta da sua constituição histórica e geográfica já apresentada anteriormente, a área tem predominância de logradouros de uso misto entre o residencial e o de serviços. Quanto à cobertura, a área é marcada por casas e prédios de pequeno porte, com pavimentos de, no máximo, 5 andares (**Fig. 10**). As exceções são encontradas próximo ao ponto de coleta do bairro de Vicente de Carvalho, no qual existem condomínios de grande porte, com torres que ultrapassam vinte pavimentos. Outro complexo de condomínios desse mesmo porte pode ser encontrado no bairro de Irajá, próximo à avenida Brasil. No entanto, estes são pontos concentrados de construção recente, que destoam do padrão de verticalização e densidade predominantes na área em geral.

Figura 10 - Uso e ocupação do solo



No bairro de Irajá está localizado um dos principais centros de distribuição alimentícia do município do Rio de Janeiro, a Central de Abastecimento Alimentício do Rio de Janeiro (CEASA-RJ). Este ponto concentra grandes galpões e tem uma dinâmica de circulação particular: o fluxo de caminhões de médio e grande porte, assim como veículos de passeio, se inicia de maneira densa a partir das 5 horas da manhã, horário de início do abastecimento local de produtos da hortifruticultura. Esse ponto concentra trabalhadores informais e formais como carregadores, empacotadores e motoristas de caminhão.

CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As contribuições de Ng et al. (2008) são cruciais para compreender a construção dos *UC-Maps*, uma vez que o autor descreve minuciosamente os procedimentos metodológicos necessários para a sua construção.

Inicialmente, foram realizados processamentos digitais de produtos de sensoriamento remoto, geoprocessamento e mapeamento temático. Essa etapa tem como finalidade avaliar como os elementos urbanos potencialmente influenciam no conforto térmico humano em ambiente externo. Portanto, um conjunto de etapas de processamento são explicitadas detalhadamente a seguir, gerando um mapeamento de síntese - o UC-AnMap. Tal produto, no presente estudo, foi relacionado ao índice de Temperatura Efetiva - TEf por meio de uma tabela-padrão, na qual os valores do UC-Map podem contribuir de maneira positiva, neutra ou negativa para as condições de conforto térmico.

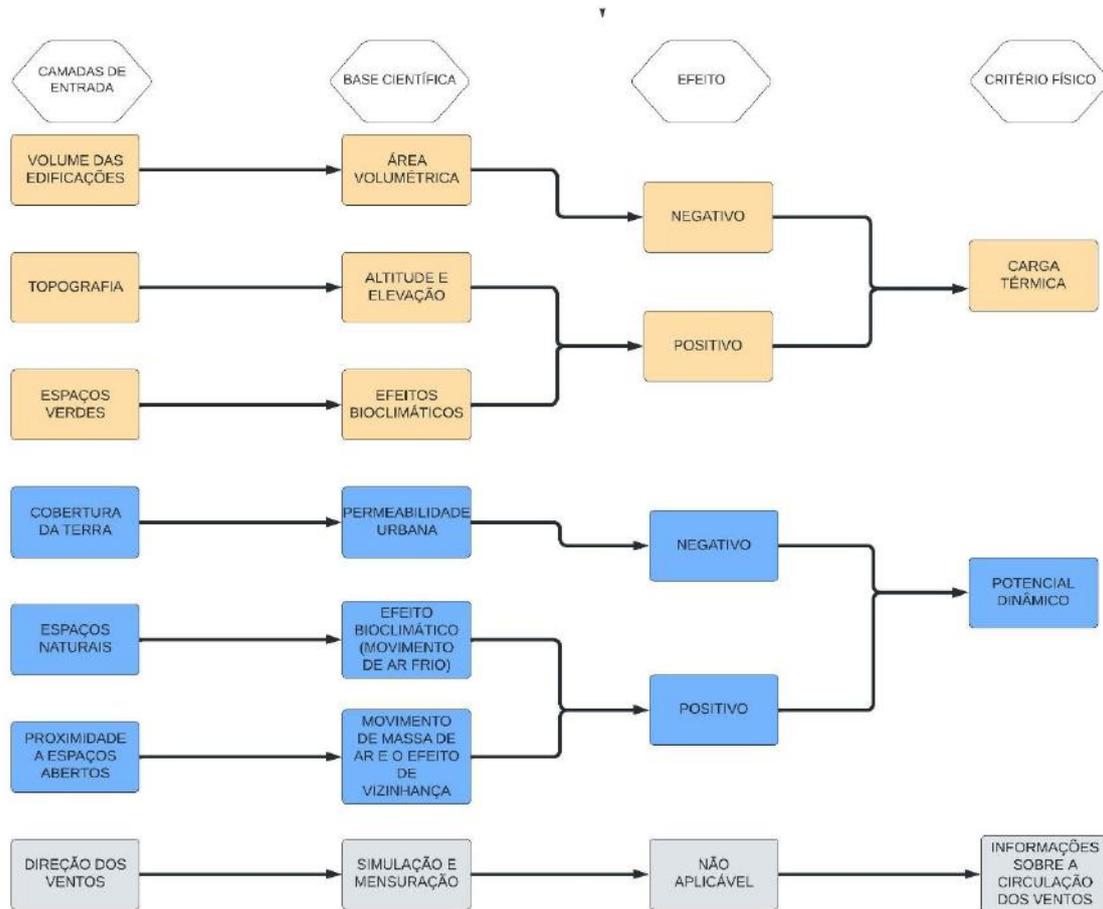
A escolha do índice de Temperatura Efetiva - TEf adaptado por Maia e Gonçalves (2002) para o estado de São Paulo e sendo recentemente utilizado por Prado (2022) no bairro de São Cristóvão no município do Rio de Janeiro, está atrelado ao fato do índice calibrado para o Rio de Janeiro como o PET - *Physiological Equivalent Temperature* calibrado por Rossi et al(2017) não seguirem as parametrizações propostas pela *ASHRAE*, sendo definido apenas três classes de conforto térmico, além de não terem gerado definição do intervalo considerado confortável termicamente.

Diante dos resultados encontrados no trabalho de Prado (2022) para o bairro do de São Cristóvão também no subúrbio carioca, se optou pela adoção do mesmo índice utilizado pelo autor, assim como a adaptação proposta por Maia e Gonçalves (2002), e utilizada por Gobo (2013) e Fante (2019) para compor a estrutura da Uc-Map.

3.1 - Capacidade térmica

A estrutura do UC-Map (Uc-AnMap) tem como princípio a compressão de seis elementos para a configuração da capacidade térmica e do potencial dinâmico (**Fig. 11**).

Figura 11 - Estrutura inicial da Uc-AnMap



Cada camada de entrada em ambiente SIG foi classificada de acordo com a forma como ela potencialmente influencia no conforto térmico humano segundo o TEf. Em outras palavras, os critérios para a adoção de valores positivos e negativos estão associados a como esses elementos urbanos e atmosféricos influenciam no conforto térmico humano. Para tanto, foram empregadas seis camadas na fase de processamento em ambiente SIG: i) volume das edificações; ii) topografia do terreno; iii) feição da vegetação; iv) cobertura do solo; v) vegetação de grande porte; vi) proximidade a espaços abertos; vii) proximidade à linha de costa; viii) declividade. Associado às camadas, foram utilizados os dados de termohigrometros instalados em pontos representativos da área de estudo, sobretudo quanto à cobertura da terra.

3.1.1. Volume das edificações

Para geração da camada de volume das edificações, foram empregados três dados de entrada: i) o *shapfile* de edificações com o cálculo da sua altura, disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos - IPP⁷; ii) o modelo digital de elevação - DEM disponibilizado pela JAXA⁸, com resolução de 12,5 metros, e iii) um raster de uso e cobertura da terra, produzido a partir de imagens Sentinel -2 para classificação com resolução de 10 metros.

Quanto aos produtos JAXA e Landsat-8, foi identificado que muitos pixels apresentaram erros, entre os quais os mais comuns foram a ausência de informações atribuídas. Inclusive, estes erros estavam ligados, em sua maioria, a zonas próximas de corpos hídricos como lagoas, baías e o oceano. Nesse caso, foram aplicadas técnicas de álgebra de mapas, com a aplicação do valor médio dos pixels vizinhos, como mostra a literatura (JAXA, 2015, 2020; EMBRAPA TERRITORIAL, 2020).

Após a correção e geração do produto de volume de edificações, ele foi classificado de acordo com o recomendado por Ng et al. (2008) (**Quadro 5**).

Quadro 5 - Classificação da feição Volume construtivo

Carga Térmica	Volume construtivo em %	Valor de classificação provisório
Zero	0 (sem construções)	0
Muito baixo	0 (apenas pavimentado)	1
Baixo	>0-4	2
Médio	>4-10	3
Alto	>10-25	4
Muito Alto	>25	5

Fonte: Adaptado de Ng et al. (2008).

3.1.2. Topografia do terreno

O segundo processamento consistiu em adicionar o *raster* modelo digital de elevação - MDE em ambiente SIG e reclassificá-lo para gerar as classes de altitude

⁷ <https://www.data.rio/datasets/>

⁸ <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>

(**Quadro 6**). Isso foi realizado por meio da utilização do arquivo raster disponibilizado pela JAXA⁹, com resolução de 12,5 metros.

Quadro 6 - Classificação da feição topografia

Topografia	Topografia (m)	Valor de classificação provisório
Baixa	0-50	0
Média	>50-200	-1
Alta	>200-400	-2
Muito alta	>400	-3

Fonte: Adaptado de Ng et al. (2008).

3.1.3. Feição da vegetação

A terceira camada empregada foi a de feição da vegetação. Para tanto, foi empregado um produto do satélite Sentinel-2, nas suas bandas B04 e B08. O tratamento dessas bandas foi feito em ambiente ArcGis Pro, seguindo recomendação da Embrapa (2020). Por meio delas, foi extraído o Índice de Diferença da Vegetação Normalizado - NDVI, conforme a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Como o intuito desta camada é identificar o que é vegetação, independente do seu porte, foi aplicada a proposta de Ng et al. (2008), que compartimenta a classificação da vegetação em duas categorias (**Quadro 7**).

Quadro 7 - Classificação da feição vegetação

Espaços verdes	Valor NDVI	Valor de Classificação provisório
Não	-1 - 0,00	0
Sim	0,001 - 1	-1

Fonte: Ng et al. (2008).

⁹ <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>

A partir do preparo das três primeiras camadas, Ng (2009) propõe-se que seja realizada uma álgebra de mapas para unir as três primeiras feições (Volume de construção, topografia e espaços verdes). Essa síntese tem como objetivo representar a camada capacidade térmica da área investigada.

3.2. Potencial dinâmico

Para a análise do potencial dinâmico, foram empregadas as feições uso e cobertura da terra, cobertura natural e espaços abertos. Segundo Ng et al. (2008):

A taxa de cobertura do solo representa a densidade das áreas construídas; quanto maior a rugosidade, menor a velocidade do vento. A cobertura do solo foi adaptada como um indicador útil da intensidade do ICU e do valor da razão da velocidade do vento (tradução livre).

Por tanto, quanto maior o potencial dinâmico da área, mais eficiente será a dispersão de calor, favorecendo a dissipação de calor sensível pelos materiais construtivos da área urbana.

3.2.1. Cobertura do solo

Os autores propõem que a quarta feição (uso e cobertura do solo), tenha em sua estrutura a feição volume de edificações, e que a taxa de cobertura e rugosidade do solo siga os princípios adotados por Ng et al. (2008), conforme observado no **Quadro 8**. Em termos de procedimentos metodológicos, as etapas compreendem a união dos vetores de área construída presentes no *shapefile* de uso e cobertura da terra, seguido da adição de um campo de “cobertura do solo” o qual atribua à área construída um valor de 1 e à áreas não-edificadas um valor de 0 e, por fim, a divisão do *raster* por 10.000 para obter o valor de cobertura do solo em escala percentual. A síntese da classificação se encontra no **Quadro 8**.

Quadro 8 - Classificação da feição cobertura do solo

Cobertura do solo por prédios	Potencial de ventilação	Cobertura da terra	Valor de classificação provisório
Baixa	Alto	0-30%	-2
Média	Médio	>30-50	-1
High	Baixo	>50%	0

Fonte: Ng et al. (2008)

3.2.2. Vegetação de grande porte

Diferente do adotado por Ng et al. (2008), se utilizou a nomenclatura Vegetação de grande porte ao invés de vegetação natural¹⁰. Essa escolha se deu por conta do entendimento da inexistência de uma “vegetação natural”. Ng et al. (2008) trazem à tona o debate sobre como a vegetação pode promover e facilitar a circulação dos ventos em ambiente urbano, constituindo-se em um elemento-chave para o entendimento do potencial dinâmico.

Para gerar esse produto, foram empregadas as camadas do índice de NDVI, associada à camada de cobertura e uso da terra. Esta última foi reclassificada novamente, mas desta vez, particularizando e detalhando a magnitude da vegetação. As áreas de vegetação de pequeno porte (NDVI= 0,00-0,65) foram classificadas como 0, e as áreas com vegetação de grande porte (NDVI = 0,66 -1,00) foram classificadas como 1 (**Quadro 9**).

Quadro 9 - Classificação da feição de vegetação de grande porte

	Valor de classificação provisório
Vegetação de Grande porte	1
Áreas urbanas e vegetação de pequeno porte	0

Fonte: Ng et al. (2008)

¹⁰ Natural Landsacap map

3.2.3. - Proximidade a espaços abertos

A última feição consiste em localidades próximas a espaços abertos, ou até mesmo de espaços que sejam influenciados por espaços abertos, uma vez que a proximidade a esses espaços abertos é um fator para compreendermos o potencial dinâmico da área de estudos. Esta feição então se subdivide em mais três classes: proximidade da linha de costa, proximidade a espaços abertos e declividade.

3.2.3.1 - Proximidade a linha de linha de costa

As áreas costeiras são classificadas em uma escala que vai de -2 a 0 de acordo com a sua proximidade do mar. A determinação desta classificação foi orientada a partir de uma função lógica através da camada de uso e cobertura da terra (camada 4), que determina que:

- ❖ Se a feição 4(i) = -2 (cobertura do solo $\leq 30\%$)
 - Se $D^*(i) < 70$ o valor do raster é = -2
 - Se $70 \leq D^*(i) \leq 140$ o valor do raster é -1
 - Se $D^*(i) > 140$ o valor do raster é 0
- ❖ Se a feição 4(i) = -1 (cobertura do solo $\leq 50\%$)
 - Se $D^*(i) < 70$ o valor do raster é = -1
 - Se $D^*(i) \geq 70$ o valor do raster é 0
- ❖ Se a feição 4(i) = 0 (cobertura do solo $> 50\%$) o valor do raster é 0

Na qual $D(i)$ é representado pela distância do pixel até a costa. Desta forma, torna-se possível identificar as áreas que podem apresentar influência das brisas marítimas através do modelo utilizado por Ng *et al* (2008) (**Quadro 10**).

Quadro 10 - Classificação da feição proximidade marítima

Regiões sobre influência da maritimidade	Proximidade com a praia	Valor de classificação provisório
I	Alto: Curta distância da costa(0-70m) com baixa	-2

	cobertura de solo ($\leq 30\%$)	
II	Médio: curta distância da costa (0-70m) com cobertura média do solo (30%-50%) ou distância média da costa (70-140m) com baixa cobertura do solo ($\leq 30\%$)	-1
III	Baixa: Longa distância da costa ($>140\text{m}$) ou cobertura alta do solo ($>50\%$) ou média distância da costa (70-140%) com cobertura média do solo de (30%-50%)	0

Fonte: Ng et al. (2008)

3.2.3.2 - Proximidade a espaços abertos

A segunda etapa da quinta feição consiste em avaliar os espaços abertos como parques públicos, praças e campos de futebol, uma vez que esses espaços permitem a circulação de ventos nas áreas urbanas, propiciando o resfriamento em áreas vizinhas na qual estão localizados. Eles são considerados por Ng et al. (2008) com objetivo de classificação, como área maior do que 5% como espaços abertos. Assim como na primeira etapa desta feição, para os procedimentos metodológicos desta segunda fase, é necessário manipular a feição 4, partindo de uma função lógica que determina se os pixels vizinhos também são beneficiados pelo espaço aberto próximo a ele e que os pixels da camada 4 possuam valores “n”, conforme descrito a seguir:

Se a camada 4(n) = -2 (cobertura da terra $\leq 30\%$); benéfico

Se a camada 4(n) = -1 (30% < cobertura da terra $\leq 50\%$); benéfico

Se a camada 4 (n)= 0 (cobertura da terra > 50%: maléfico

A síntese da classificação dos espaços abertos pode ser encontrada abaixo (**Quadro 11**).

Quadro 11 - Classificação da feição de espaços abertos “b”

Proximidade a espaços abertos (beneficiados por áreas abertas)	Valor de classificação provisório
Sim	-1
Não	0

Fonte: Ng et al. (2008).

3.2.3.3 - Declividade

A última feição desta categoria refere-se à declividade. Ng et al. (2008) apontam a importância desta feição devido a atuação de ventos catabáticos que percorrem os fundos de vale em áreas montanhosas. Para os autores, o efeito da topografia pode modificar as condições de circulação. Eles avaliam, ainda, que a união entre vegetação de grande porte e atuação de níveis de declividade superiores a 40% podem intensificar a circulação na área.

Para determinar a declividade, foi selecionado o *raster* DEM (feição 3) associado ao NDVI (o índice NDVI > 0,1 foi considerado como grama e árvores), e aplicada a lógica a seguir:

Para declividade:

- inclinação $\geq 40\%$ □ valor do pixel é 1;
- inclinação $< 40\%$ □ valor do pixel é 0;

Para vegetação associada a declividade:

- Se a declividade (i) $\geq 40\%$ e vegetado (i) = 1 (espaços verdes) qualquer um dos oito pixels ao seu entorno será beneficiado;
- Se o topo (i) > topo (n) o pixel (n) é beneficiado por (i), no qual (i) é o valor da declividade, (i) é se o pixel é vegetação ou não e topo (i) é o valor do píxel para a altimetria.

A síntese pode ser encontrada no **Quadro 12**.

Quadro 12 - Classificação da feição de espaços abertos “c”

Proximidade a declividade (beneficiados por área declivosas associados a vegetação	Valor de classificação provisório
Sim	-1
Não	0

Fonte: Ng et al. (2008).

Após a finalização da terceira subcamada da feição 6, todas devem ser combinadas para formar a camada 6 - Proximidade a espaços abertos. Ng *et al.* (2008) propõem como regra para a finalização da camada 6 que, seja analisado todos os elementos desta etapa, e aquela que obtiver a maior máximo será definida como Proximidade a espaços abertos (NG et al, 2008, p. 118). O que não foi utilizado nesta pesquisa, para a subcamada “espaços abertos” foi feito a soma de todos as camadas e categorizado para a camada final “espaços abertos”.

3.3. Dados observados

3.3.1. Calibração dos sensores

Os equipamentos utilizados foram provenientes de um acordo de cessão/empréstimo pelo Laboratório de Biogeografia e Climatologia da Universidade Federal de Viçosa - BIOCLIMA UFV.

A aquisição dos aparelhos pela instituição ocorreu no ano de 2013. Como ponto de partida, Alves et al. (2013) realizaram a primeira calibração dos aparelhos em ambiente externo e interno, além de compara-los com a estação oficial do INMET - Viçosa (MG) dentro da instituição.

O autor, então, realizou os procedimentos metodológicos propostos por Danni-Oliveira (2002) e Assis (2010) para realizar testes de disparidades dos valores entre os aparelhos *Hobo data logger*, em ambiente fechado, possuindo como a variação máxima registrada pelos aparelhos os valores de 0,3°C e 8,1% para temperatura e umidade, respectivamente.

Em ambiente aberto, os aparelhos ficaram sobre as mesmas condições atmosféricas, agora acoplados a mini-abrigos de PVC para aferir o seu comportamento termo higrométrico em ambiente externo. Além disso, também foi realizada a comparação entre os seus valores registrados e aqueles registrados pela estação do INMET. Alves (2013) identificou que a diferença máxima entre a estação e os abrigos foram de $-4,1^{\circ}\text{C}$ e 8,9% de umidade, o que representou que o comportamento térmico do *Hobo* foi superior ao registrado pela estação do INMET. Alves (2016) chama a atenção para a superestimação dos aparelhos em condições de baixa bateria, assim como a diferença entre a estação e os *Hobos*, sendo nos horários entre 10:00 e 16:00 mais acentuadas.

Diante deste histórico de condições pelos quais os aparelhos passaram, julgou-se necessário repetir os procedimentos metodológicos de calibração para observar se, mesmo diante da utilização contínua dos aparelhos em campo sob diversas condições atmosféricas, os mesmos ainda estariam registrando valores confiáveis de temperatura e umidade.

Os aparelhos inicialmente foram situados em ambiente interno controlado, sem influência direta da radiação solar e com o mínimo possível de influência de trocas de ar com ambiente externo. Além de mantê-los em ambiente comum, durante dois dias não houve acesso ao ambiente no qual os equipamentos estavam localizados. O aparelho foi configurado para o primeiro teste da mesma forma como iria a campo, sendo assim, foi calibrado para registrar de forma horária, do dia 10/08/2020 até o dia 12/08/2020.

Seguindo os procedimentos propostos por Danni-Oliveira (2002), Assis (2010), Alves et al. (2013) e Quina (2015), foi elaborada uma planilha para organização dos dados e posterior análise do comportamento termohigrométrico dos aparelhos (**Tabela 1**). Foram observados os dados de temperatura máxima, mínima e média entre os aparelhos e, em seguida, foi calculado o desvio padrão.

A tabela abaixo parte de um conjunto de dados sistematizados e que estão disponíveis no Apêndice I. Ela representa inicialmente que o comportamento dos aparelhos foi bastante semelhante, tendo o seu desvio padrão abaixo do 0,1 em quase todos os horários. O desvio padrão variou positivamente apenas às 2:00h da manhã do dia 11, muito provavelmente tendo sido resultado da anomalia registrada pelo aparelho 17 neste horário.

Tabela 1 - Variações do comportamento da temperatura dos sensores em ambiente fechado

Hora	HOBO 02	HOBO 11	HOBO 17	HOBO 23	HOBO 27	HOBO 25	HOBO 26	Desvio. P	Média horária	Tem. Máx	Tem.Min
20:00 hrs	23,20	23,30	23,20	23,30	23,30	23,30	23,30	0,0488	23,27	23,30	23,20
21:00 hrs	23,10	23,10	23,10	23,20	23,10	23,10	23,20	0,0488	23,13	23,20	23,10
22:00 hrs	23,00	23,00	23,00	23,10	23,00	23,00	23,10	0,0488	23,03	23,10	23,00
23:00 hrs	22,90	22,90	22,90	22,90	22,90	22,90	23,00	0,0378	22,91	23,00	22,90
00:00 hrs	22,70	22,80	22,70	22,80	22,80	22,70	22,80	0,05345	22,76	22,80	22,70
01:00 hrs	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	0	22,60	22,60	22,60
02:00 hrs	22,50	22,50	25,50	22,50	22,50	22,40	22,50	1,1408	22,91	25,50	22,40
03:00 hrs	22,30	22,30	22,30	22,40	22,30	22,30	22,40	0,0488	22,33	22,40	22,30
04:00 hrs	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,30	0,0378	22,21	22,30	22,20
05:00 hrs	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	0	22,10	22,10	22,10
06:00 hrs	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,10	0,0378	22,01	22,10	22,00

Danni-Oliveira (2002) estabelece como procedimento metodológico que seja realizado em primeira instância a média horária entre os aparelhos e, em seguida, seja produzido os desvios médios horários, sendo calculado através da equação:

$$D_T = T_1 - M_1$$

D_t = Desvio Padrão da hora

T_1 = Temperatura registrada no aparelho na hora (1)

M_1 = Média aritmética da temperatura de todos os aparelhos em teste para aquele horário

Danni-Oliveira (2002) chama atenção para o sinal (negativo ou positivo) antes do valor obtido nos desvios, uma vez que é a partir deles que será possível analisar se os aparelhos estão registrando valores maiores, iguais ou inferiores a média horária. Desta forma, o procedimento auxilia a verificar o quanto o valor registrado por cada aparelho termo higrométrico se distancia, para mais ou para menos, em relação à média encontra pelos próprios aparelhos.

Tabela 2 - Desvio padrão da média horária

Desv.02	Desv.11	Desv.17	Desv.23	Dev.27	Desv.25	Desv.26
- 0,02169	- 0,00642	0,040233	0,017344	- 0,01827	-0,0369	0,032586

De acordo com a **Tabela 2**, os valores de temperatura do ar apresentam-se homogêneos entre os equipamentos, uma vez que a variação não atingiu 0,1°C. Esse resultado contrapõe-se até mesmo ao que foi encontrado por Quina (2015) e Alves (2015) para seus equipamentos de mesma marca e modelo.

A segunda etapa do processo consistiu em colocar os aparelhos termo-higrômetros agora acoplados aos abrigos meteorológicos, a condições atmosféricas iguais, em um mesmo ambiente (**Fig. 12**). Essa etapa se deu com o objetivo de observar o comportamento dos sensores no registro da temperatura e da umidade diante da atuação de diferentes sistemas atmosféricos. Os equipamentos ficaram sob tais condições por doze dias (2/8/2020 até 13/08/2020).

Figura 12 - Abrigos em campo sobre as mesmas condições meteorológicas para calibração



Fonte: Do autor

O teste da umidade relativa do ar seguiu a mesma rotina metodológica apresentada anteriormente. No entanto, é importante ressaltar o achado comum em testes de validação de dados termo-higrométricos em diferentes tipos de abrigos e materiais, nos quais os dados de umidade são, em geral, suprimidos (ALVES et al., 2013; QUINA, 2015).

Desta forma, foi utilizado o teste estatístico ANOVA em ambiente de planilha eletrônica no Software PAST, com o objetivo de determinar o comportamento das médias da umidade tanto em ambiente fechado quanto aberto.

O teste estatístico pela ANOVA consiste na análise da variância para comparar a distribuição de dados amostrais que estão em grupos distintos e independentes. O teste discrimina também as partes associadas ao modelo pelo qual o experimento foi procedido da variação que se dá ao acaso. Mello e Peternelli (2013) chamam a atenção para a necessidade de estar atento ao tipo de análise ANOVA pretendido, uma vez que erros estatísticos são constantes devido a escolha não apropriada de análise para averiguar determinado conjunto de dados.

As pesquisas que utilizam o teste ANOVA almejam comparar duas ou mais distribuições, evidenciando que uma ou mais distribuições se diferem da média das demais do conjunto. Contudo, o teste não indica entre quais grupos a diferença é significativa, sendo necessário a aplicação do teste de Tukey HSD (MELLO e PETERNELLI, 2013).

O teste de Tukey da diferença honestamente significativa (HSD) ou “*studentized range*” possui como destaque a capacidade de realizar comparações

entre todos os pares (conjuntos amostrais), principalmente quando os tamanhos das amostrais são iguais. O teste em questão é considerado exato, uma vez que se comparado par a par, o erro do conjunto será igual ao nível de significância, sendo possível assim, avaliar a precisão de todas as amostras.

3.3.2. Instalação dos sensores

Como apontado por Machado e Jardim (2014), a escolha para definir os pontos de coleta em ambiente urbano apresenta contradições importantes entre as necessidades para a realização da pesquisa aliados a necessidade de disponibilidade de acesso, segurança dos aparelhos e sobretudo, representatividade em relação à cobertura e uso da terra. Enfim, a escolha de pontos torna-se um dos problemas metodológicos para os estudos de clima urbano.

No primeiro momento na análise da área de estudos, foram refletidos possíveis locais que conciliassem as características já citadas. No entanto, a segurança dos aparelhos foi um aspecto norteador, uma vez que os sensores não poderiam ficar em ambientes completamente abertos ou expostos na rua.

Dessa forma, todos os pontos encontram-se dentro de residências com os mais variados materiais construtivos. Optou-se em mantê-los em ambientes abertos onde houvesse a influência de radiação solar, direta ou indiretamente.

Um fator que dificultou a instalação dos sensores foi o fato deles não serem projetados para a instalação em ambientes urbanos. Em outras palavras, os abrigos não possuíam sustentação própria, o que dificultou a escolha de um ambiente ideal. Nesse sentido, os sensores abrigados foram pendurados em cordas, árvores ou pontos da residência onde previamente já houvesse algum ponto para sua sustentação¹¹.

Compreendendo a produção do espaço urbano diversificado e heterogêneo, a escolha dos pontos de coleta seguiu a heterogeneidade, no âmbito de uso e cobertura da terra, no interior da área de estudos (**Quadro 13**).

¹¹ Através do link disponibilizado a seguir é possível acessar diversas fotos tiradas pelo autor durante e depois da fixação dos aparelhos em campo. <https://rebrand.ly/pontos-de-coletaleo>

Quadro 13 - Pontos de coleta de dados: características

Ponto	Bairro	Foto	Cota (m)	Radiação direta (sim/não/parc)	Localização na residência	Próximo a parede/telhado	Presença de cobertura vegetal
P1	Vila da Penha			Parcialmente	Quintal	Não	Sim
P2	Vista Alegre			Não	Varanda	Sim	Não

P3	Irajá			Parcialmente	Quintal	Não	Sim
P4	Vicente de Carvalho			Sim	Quintal	Sim	Não

P5	Vila Kosmos			Parcialmente	Quintal	Sim	Sim
----	----------------	---	--	--------------	---------	-----	-----

O ponto P1, situado no bairro da Vila da Penha, se localiza próximo à rua, sob influência de radiação solar por mais de 50% do dia. O ponto P2, localizado no bairro de Vista Alegre, foi instalado dentro da residência no quintal interno, e recebe radiação solar indireta predominantemente no período da tarde. O ponto P3 esteve situado no bairro de Irajá, próximo a uma via de fluxo intenso. O sensor abrigado recebeu radiação solar direta e indireta durante todo o dia. O ponto P4 se localizou no bairro de Vicente de Carvalho. Seu entorno é marcado pela presença da linha de metrô, assim como condomínios fechados e estabelecimentos comerciais. O ponto recebeu radiação solar direta durante todo o dia. Por fim, o ponto P5 situou-se no bairro da Vila Kosmos, bairro predominantemente residencial com edificações de baixo nível de verticalização (máximo de dois pavimentos). A radiação, em relação ao sensor abrigado, foi predominantemente indireta.

Foram gerados dados termohigrométricos horários para cada um dos pontos. Tais dados foram tabulados e organizados em ambiente R, e gráficos do tipo violino foram utilizados (HINTZE ; NELSON, 1998). As análises foram realizadas em âmbito anual, sazonal, mensal e também horário, considerando que os horários das 6h, 7h, 8h, 12h, 17h, 18h e 19h consistem nos mais críticos em termos de exposição de grupos sociais quando em deslocamento pendular e/ou em exposição por conta de atividades laborais (sejam elas formais ou informais).

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

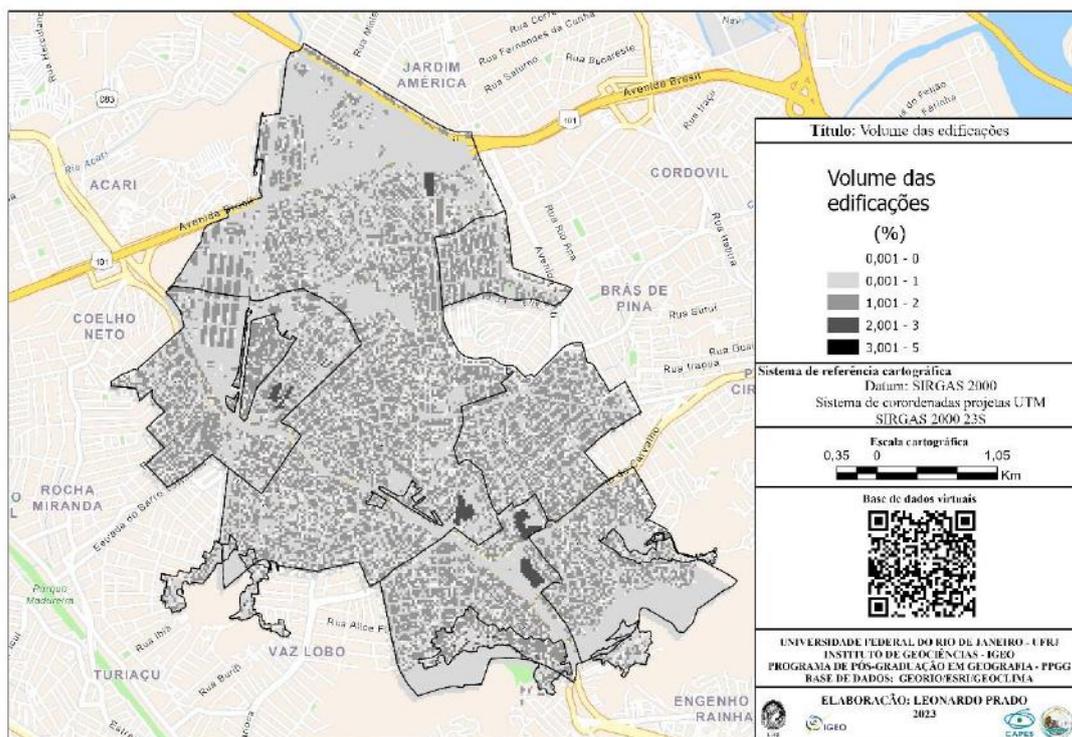
4.1. Capacidade térmica

A capacidade térmica, na análise de Ng et al. (2008) e Ashie (2015) possui dois efeitos importantes para os estudos de clima urbano. O primeiro, relacionado a geometria e a capacidade de armazenamento de calor através de edifícios e sua produção no espaço geográfico. A segunda, relacionada aos espaços verdes que normalmente produzem contrastes nos espaços urbanos, se assemelhando a oásis de frescor nas ilhas de calor urbana.

4.1.1 Volume das edificações

A geometria urbana possui uma influência complexa no microclima, principalmente na *Urban Canopy Layer* Oke (2017), uma vez que, associada a geometria urbana a densidade construtiva, pode resultar em diferentes microclimas. Um atributo relevante é o nível de verticalização, uma vez que edifícios elevados além de armazenarem calor, diminuem o fator de visão do céu e consequentemente dificulta a entrada e saída de radiação solar naquela área (**Fig. 13**).

Figura 13 - Volume das edificações

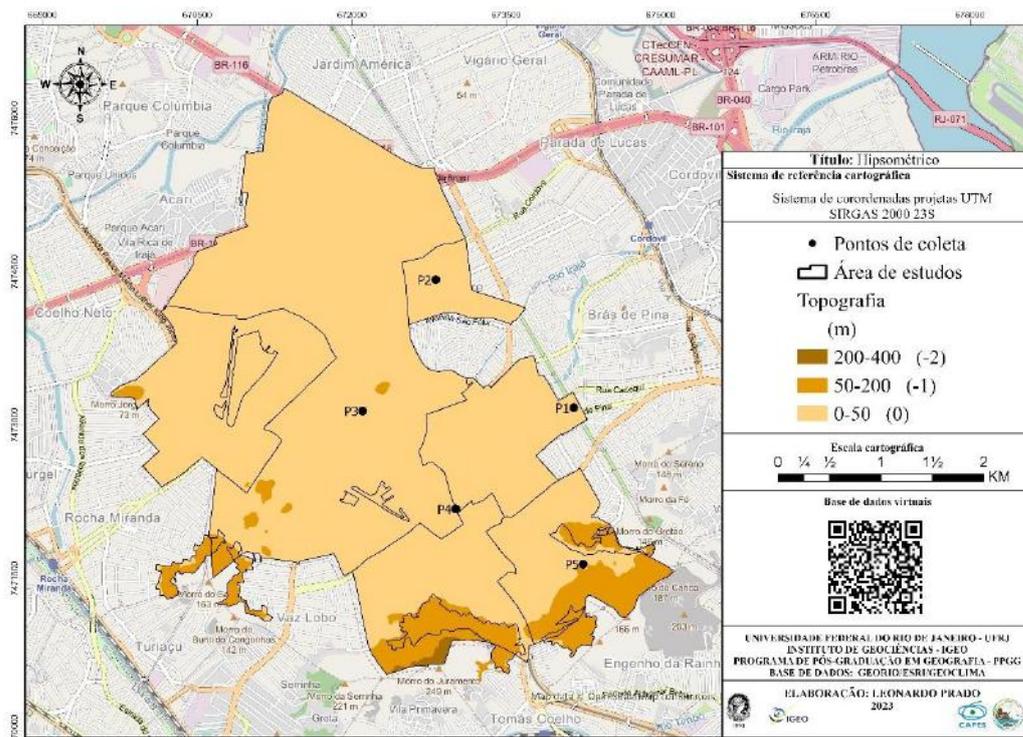


Ng et al. (2008) avalia que se o volume construído é elevado, a radiação de onda longa tende a ser bloqueada, retornando à atmosfera intraurbana de forma mais lenta. Esse processo acaba por fortalecer fenômenos como as ilhas de calor urbanas exatamente por propiciar aos centros urbanos uma taxa de resfriamento mais lenta do que a das áreas periféricas. Foi possível observar que o volume das edificações para a área de estudos é relativamente baixo em geral, muito por conta do predominante uso residencial do bairro, com pequenas áreas de uso comercial que apresentam volumes maiores das edificações, como o caso dos shoppings Carioca, Shopping Via Brasil, além dos antigos estúdios da TV Manchete, a fábrica de cimento próximo ao bairro de Colégio e as lojas C&C e Atacadão localizadas próximos ao metrô de Vicente de Carvalho (**Fig. 13**).

4.1.2. Topografia

Ng et al. (2008), ao discorrerem sobre a influência da topografia nos estudos de clima urbano e na construção dos mapas climáticos, evidenciam que as características topográficas locais modificam a capacidade térmica da área estudada, uma vez que a forma do relevo pode conduzir a dificuldades na circulação interna dos ventos, assim como a depender, favorecer o escoamento do vento no ambiente urbano (**Fig. 14**).

Figura 14 - Topografia

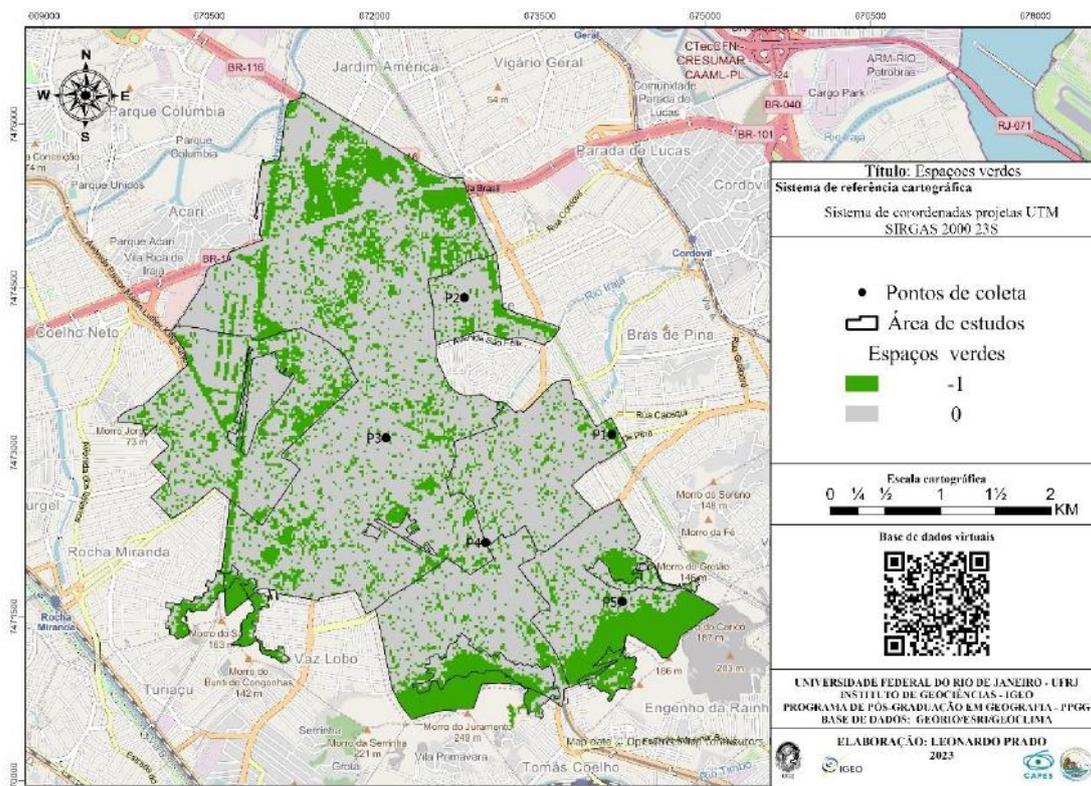


De acordo com a literatura, a segunda camada relacionada à capacidade térmica foi classificada em apenas três classes: de 200 a 400m (com valor de -2), de 50 a 200m (com valor de -1), e de 0 a 50m (com valor de zero). Diferente do encontrado em Hong Kong por Ng et al. (2008) ou por Ashie (2015), o subúrbio de Irajá não apresenta cotas altimétricas superiores a 400m. A característica de baixas elevações, encontradas sobretudo nas áreas de favela do subúrbio de Irajá, tende a contribuir para uma maior facilidade na circulação atmosférica intraurbana.

4.1.3. Espaços verdes

A terceira camada é representada pelos espaços verdes. Nela, as áreas verdes são representadas a despeito dos seus possíveis diferentes portes, como gramíneas, árvores de pequeno, médio e grande porte. Ng et al. (2008) ressaltam que uma das principais funções dos espaços verdes nas áreas urbanas é a de reduzir a temperatura do ar circundante, bem como a de fornecer sombreamento para pedestres em dias ensolarados (Fig. 15).

Figura 15 - Espaços Verdes



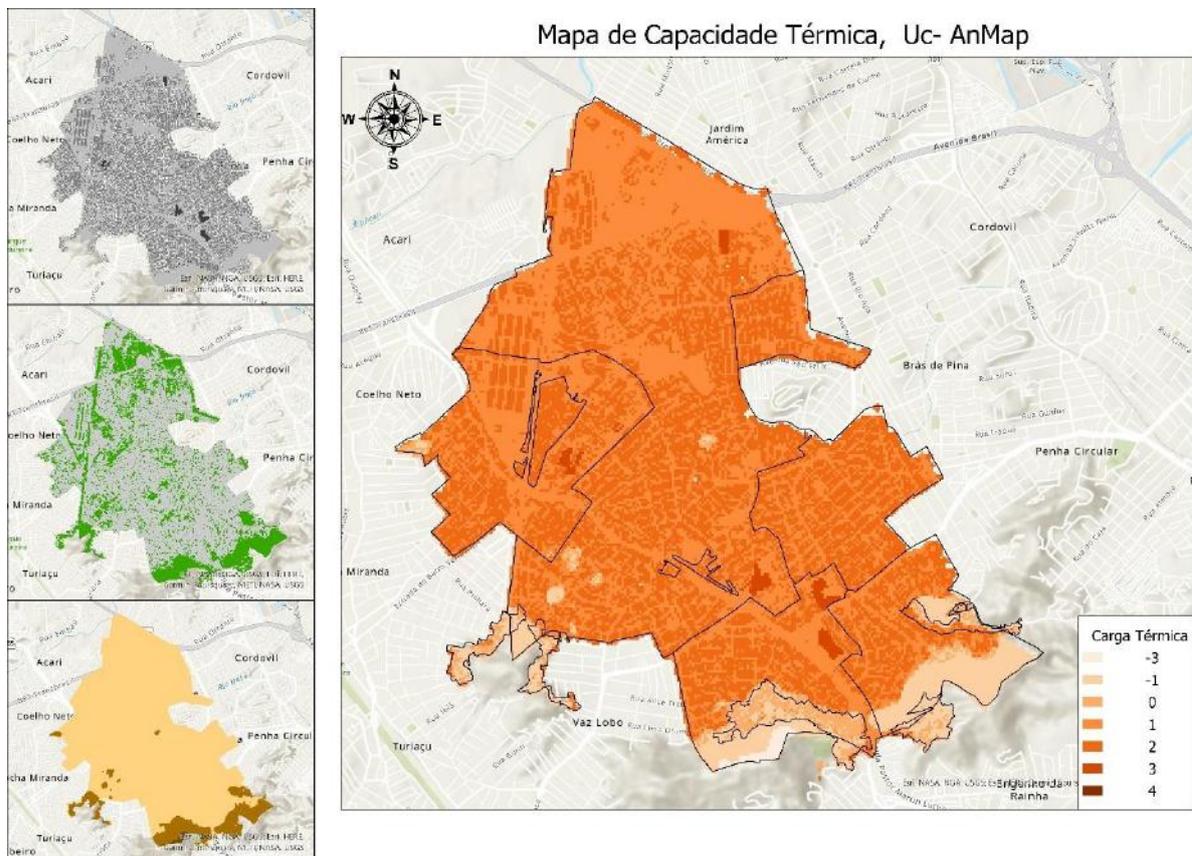
O subúrbio de Irajá apresentou maior concentração de espaços verdes nas proximidades das vertentes, coadunando com o que foi indicado na caracterização da

área de estudos. Parte significativa das áreas de favela (cinco num universo de oito no total), apesar de se localizarem em áreas de encosta, não chegam a atingir o topo, que ainda apresenta vegetação. Pontos espalhados pelo subúrbio de Irajá indicam a presença de vegetação que, no geral, é esparsa.

4.1.4. Mapa-síntese de Capacidade Térmica

Os valores de capacidade térmica variaram entre -3 e 4, levando a se refletir de que forma os fatores constitutivos desse mapa-síntese apresentam potencial de influência no conforto térmico humano. Segundo Ng et al. (2008), uma construção com alta densidade e, por conseguinte, maior capacidade de armazenamento de calor, tem chances aumentadas de produzir áreas de entorno que sejam potenciais zonas de desconforto térmico (representado no mapa-síntese pelos valores mais elevados). Por outro lado, os espaços verdes possuem carga térmica negativa, se apresentando como áreas potenciais de arrefecimento das temperaturas (**Fig. 16**).

Figura 16 - Capacidade térmica



As áreas de maior elevação topográfica também se apresentaram como as áreas de maior presença de cobertura vegetal. Guardadas exceções na porção norte

e sudoeste da área suburbana do Irajá, as áreas mais edificadas em termos de densidade e verticalização apresentaram-se como as áreas de maior carga térmica, apresentando valores entre 1 e 2.

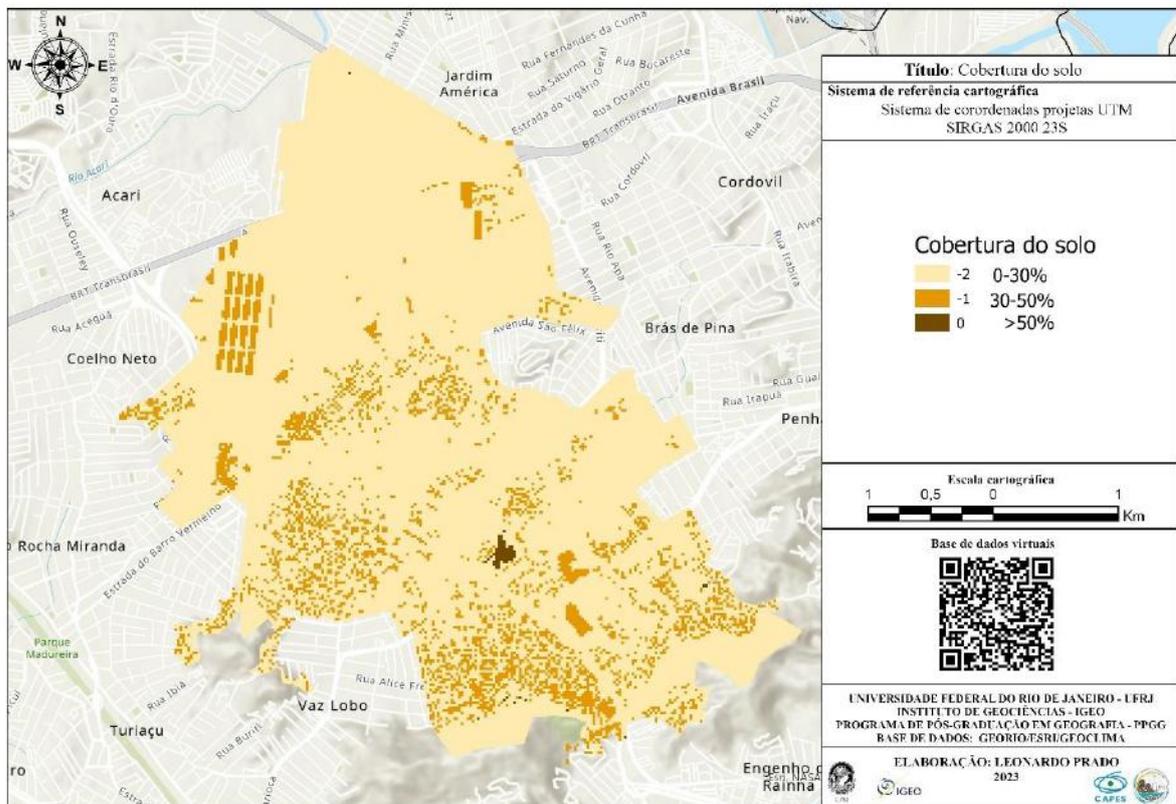
4.2. Potencial Dinâmico

4.2.1. Cobertura do solo

A área de estudos possui uma baixa densidade de áreas verdes, estas concentrando-se nos topos de morro mais elevados e dentro do parque Natural Municipal do Jardim do Carmo, no bairro de Vila Kosmos (**Fig. 17**).

Conforme Ng et al. (2008), a cobertura do solo é expressa em termos proporcionais em relação a densidade, forma e volume das edificações presentes na área avaliada. Os autores avaliam que a taxa de cobertura do solo representada pela densidade das áreas construídas influencia na velocidade de forma negativa, reduzindo o seu escoamento pelo espaço urbano.

Figura 17 - Percentual de cobertura do solo



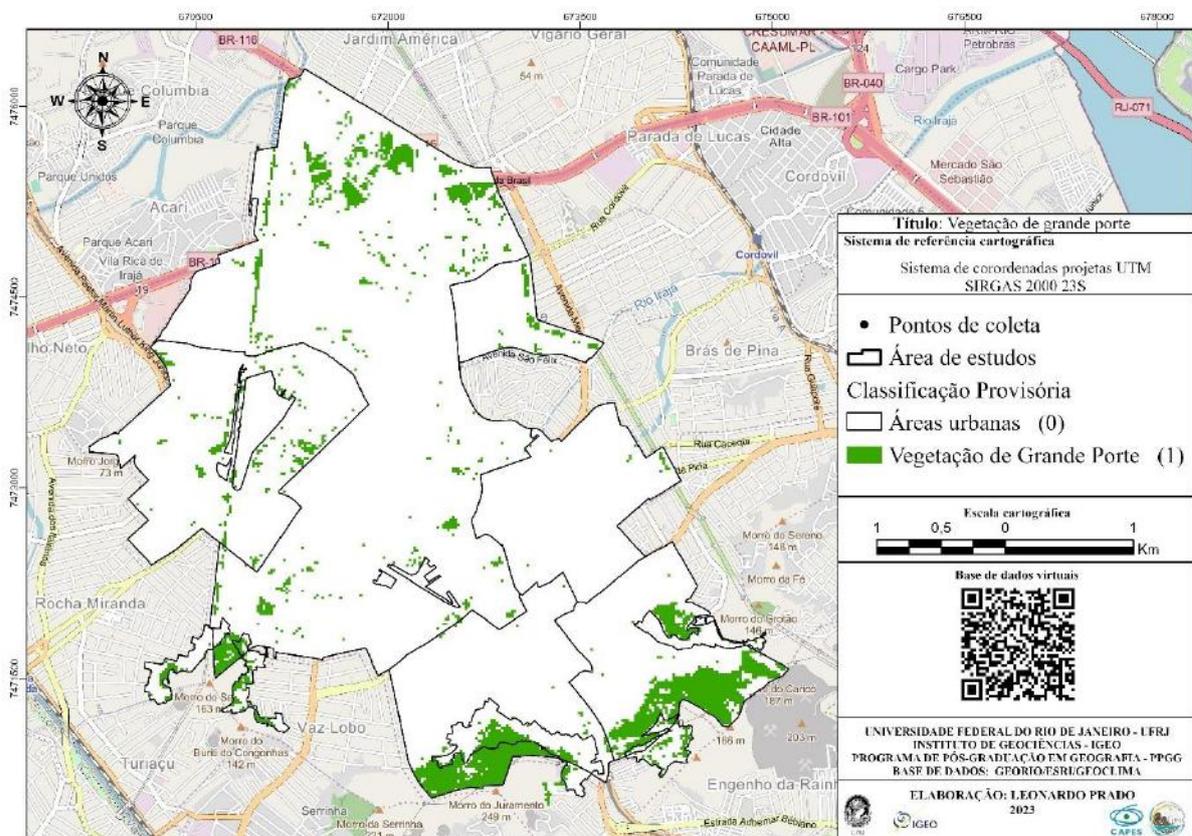
Em relação à área de estudos, a maioria da área apresenta percentual e cobertura de até 30%, com edificações intermediárias na faixa entre 30 e 50%. Áreas isoladas apresentam cobertura superior a 50%, e representam as superfícies comerciais já indicadas (shoppings) (**Fig. 17**).

4.2.2. Vegetação de Grande Porte

A vegetação de grande porte pode promover e facilitar a circulação dos ventos dentro do ambiente urbano, assim como promover áreas de frescor e lazer para a população. Tal característica, associada ao relevo, pode promover brisas de montanhas que possibilitam uma circulação dos ventos em ambiente urbano (IHADUA et al., 2013; REBOITA et al., 2014).

A Região Administrativa de Irajá apresenta áreas extremamente esparsas em termos de vegetação de grande porte. A maior parte dessa classe está situada nas áreas de encosta, sobretudo nas suas áreas de topo (**Fig. 18**).

Figura 18 - Vegetação de Grande Porte



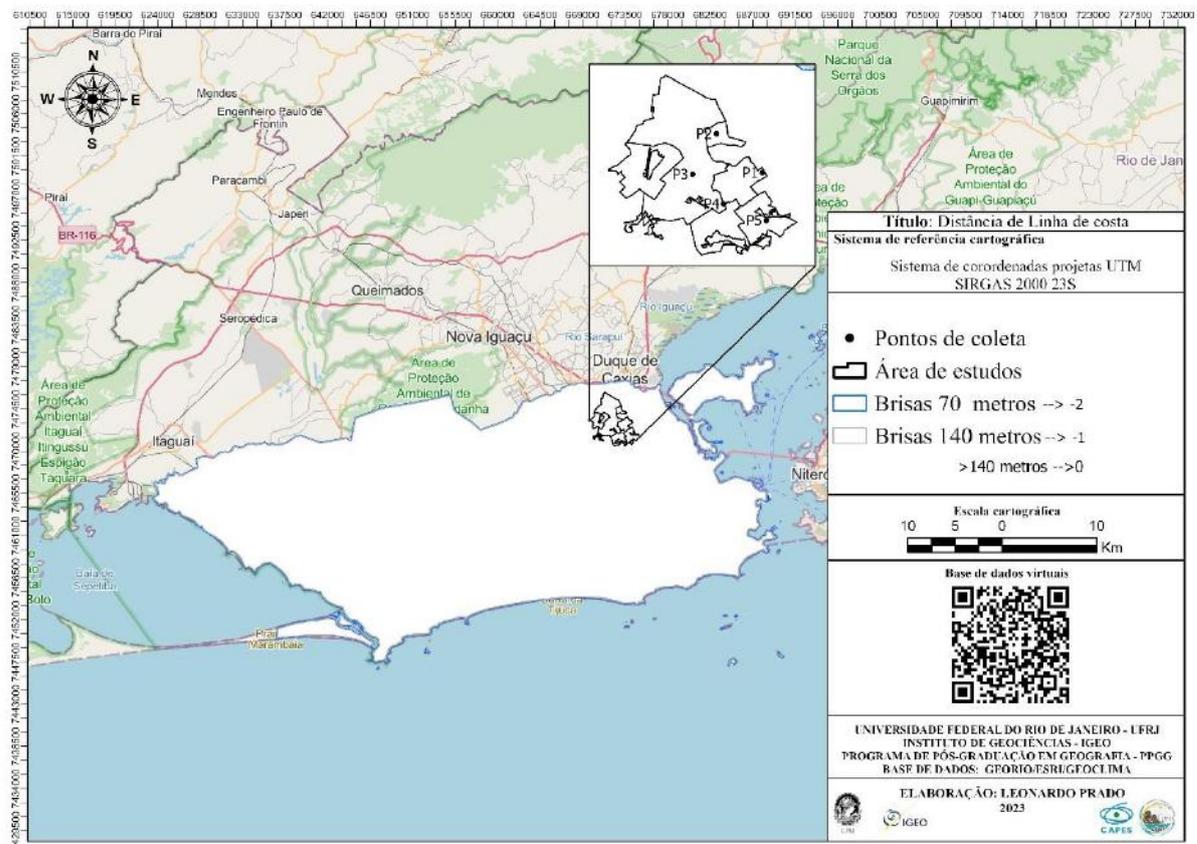
4.2.3. Proximidade a espaços abertos

A proximidade de arranha-céus ou edifícios com o volume construído elevado podem afetar o escoamento do vento em uma determinada área. Desta forma, a análise da proximidade à espaços como a linha de costa ou grandes espaços abertos pode fortalecer a compreensão do potencial dinâmico da área de estudos. Esta camada, devido a sua composição, foi fragmentada em três etapas: proximidade a linha de costa, proximidade a espaços abertos e a declividade.

4.2.3.1. Proximidade a linha de costa

Na construção dos mapas climáticos de grande escala, a distância do litoral é fundamental para a compreensão e análise das brisas marítimas, uma vez que as diferenças na rugosidade e geometria urbana podem favorecer ou não a passagem de brisas marítimas através do tecido urbano (**Fig. 19**).

Figura 19 - Distância da linha de costa



Prata (2005), ao investigar o impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural em meio urbano, avalia através de modelos computacionais que a

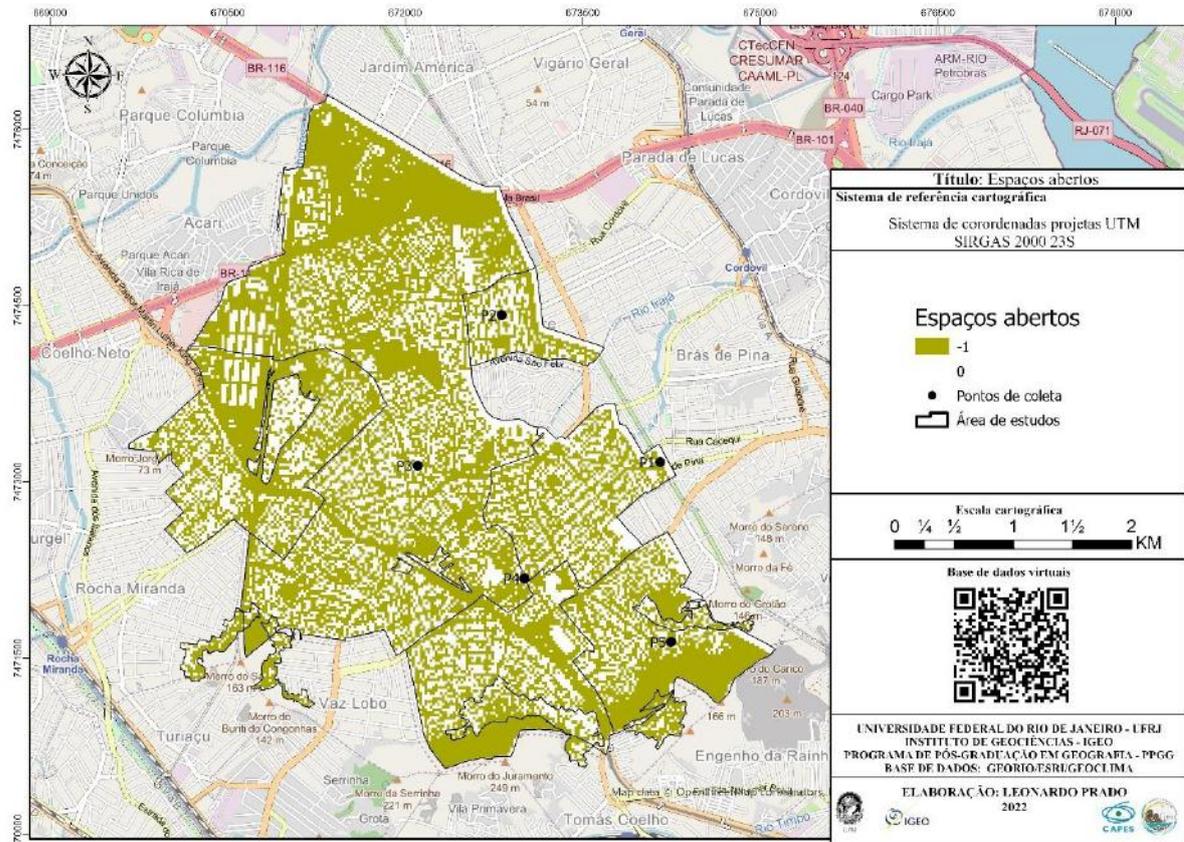
1,5m do asfalto, os ventos oriundos das brisas marítimas percorrem o meio urbano com velocidade média de 0 a 0,5 m/s e à medida que essa brisa percorre o meio urbano a mesma perde intensidade e suas propriedades originárias.

A maritimidade é um fenômeno que ocorre não na escala local, mas na escala regional devendo, assim, ser levada em conta nas análises do clima urbano do município do Rio de Janeiro. Os demais fatores geográficos presentes no município, como a Floresta da Tijuca e o Parque Estadual da Pedra Branca, se comportam na condição de barlavento e sotavento na cidade. Desta maneira, ela pode produzir regiões mais úmidas e mais secas no município a depender da passagem dos sistemas atmosféricos.

4.2.3.2. Proximidade a espaços abertos

Espaços abertos como parques, ruas e terrenos sem construção possuem um efeito positivo na análise de Ng et al. (2008), devido a possibilidade de penetração de ventos por esses caminhos na área urbana, possibilitando o resfriamento para áreas vizinhas. Além da associação de espaços abertos como espaços de lazer e bem-estar, quando associados à vegetação de diferentes portes, tais áreas podem apresentar um papel crucial na melhoria da qualidade do ar no espaço urbano (**Fig. 20**).

Figura 20 - Proximidade a espaços abertos

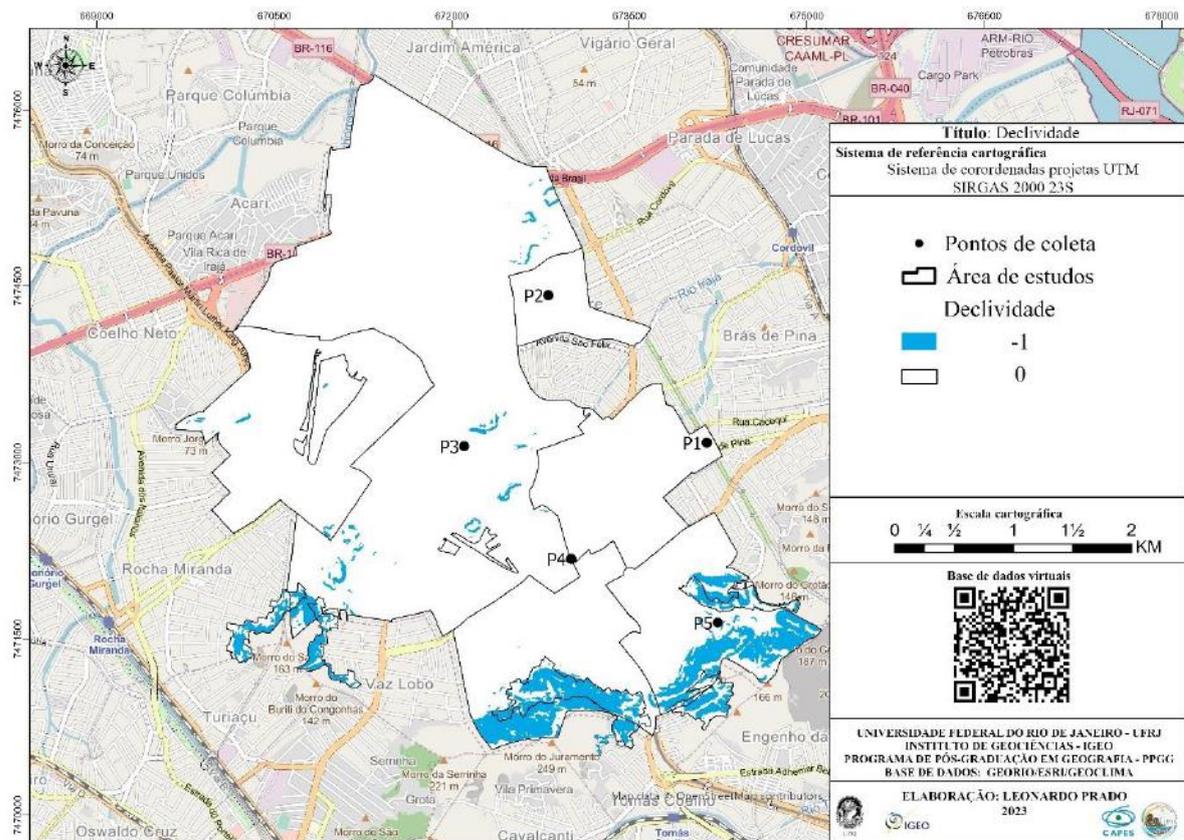


4.2.3.3. Declividade

As variações locais podem afetar as condições de vento dentro do ambiente urbano. O ar mais frio, presente nos topos de morro, tende a se mover ao longo dos vales, sendo tal circulação local benéfica especialmente para locais em base de encostas. Este é o caso da área de estudo, (**Fig. 21**), na qual nos topos de morro ainda são preservados, com complexos arbustivos de médio a grande porte, o que potencializa o fenômeno dos ventos catabáticos.

O fenômeno dos ventos catabáticos é frequentemente encontrado em vales bem encaixados, estreitos e íngremes em áreas montanhosas ou que possuem condição geomorfológica propícia para o desenvolvimento deste fenômeno.

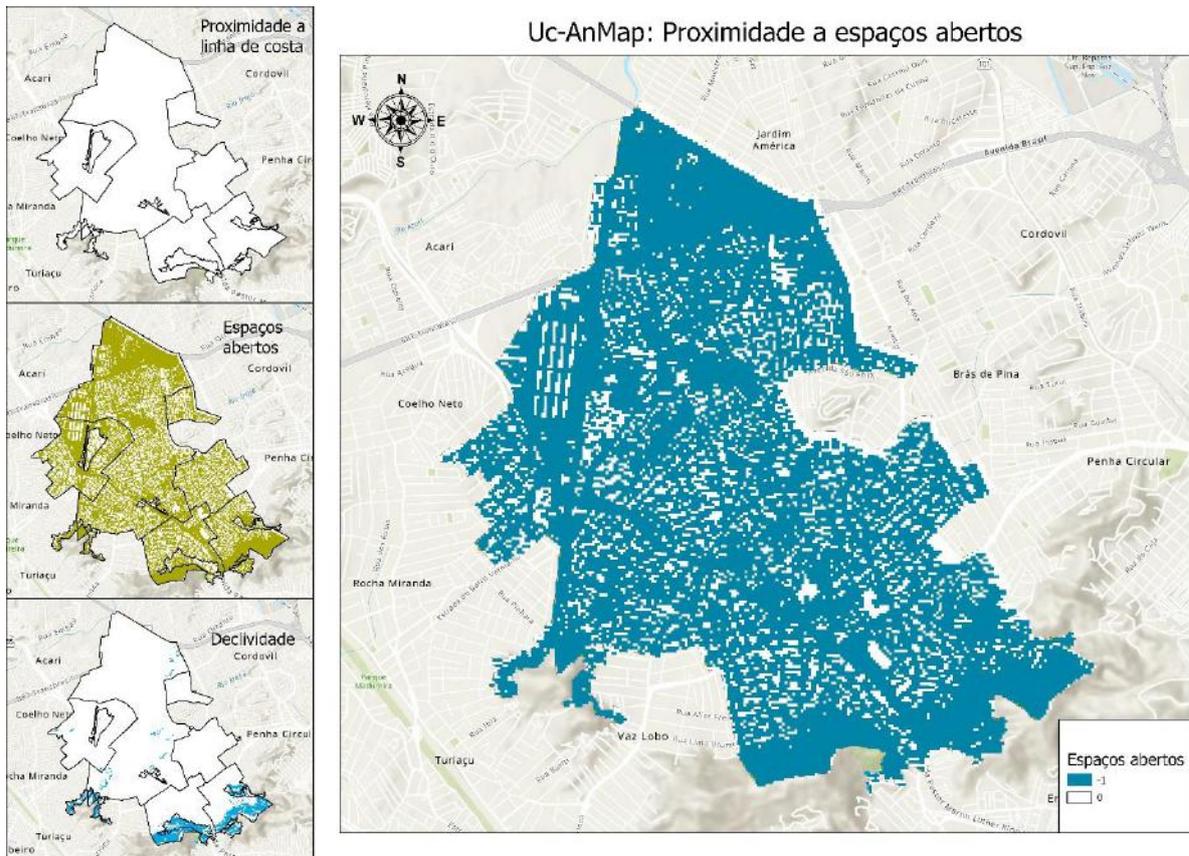
Figura 21 - Declividade



4.2.3.4. Camada-síntese da Proximidade a Espaços Abertos

A camada-síntese de proximidade aos espaços abertos é fruto do processamento de cada camada dos itens anteriores, a partir da geração de um mosaico composto pelas três *layers* (Fig. 22).

Figura 22 - Camada-síntese de proximidade a espaços abertos

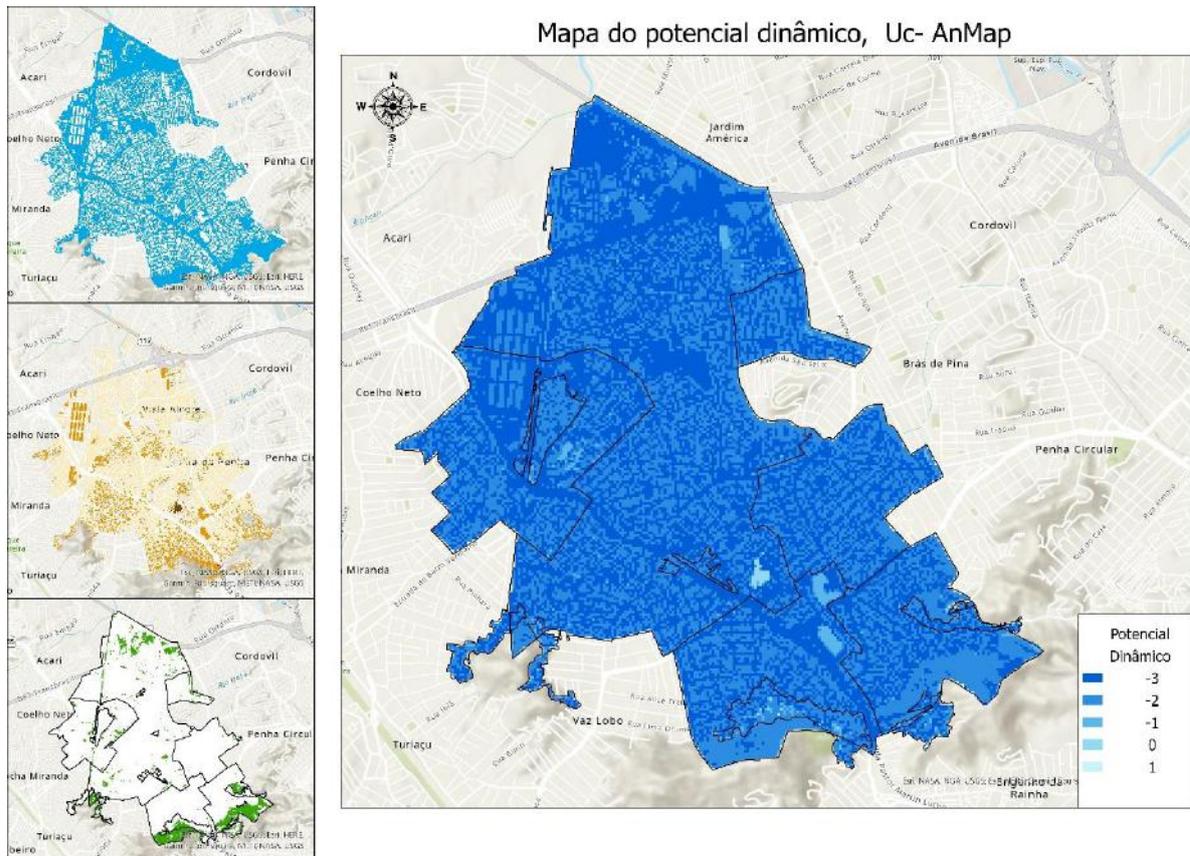


Diferente do encontrado em Ng et al. (2008), todas as camadas, independente do seu potencial dinâmico, foram inseridas no processamento. Além disso, outra diferença em relação à metodologia aplicada por autores como Ashie (2015) e Katzchener e Kupski (2015) se deu em relação ao dado de proximidade a linha de costa. Pelo fato de na área de estudos se situar a aproximadamente 5km em linha reta da costa e, portanto, possui influência da maritimidade e seus sistemas locais associados, esta camada foi inserida, mas tendo contribuído com o valor de zero, uma vez que a metodologia proposta por Ng et al (2008) aponta que acima de 140 metros a influência é quase nula no conforto térmico humano.

4.2.4. Mapa-síntese do Potencial Dinâmico

O mapa de potencial dinâmico identifica através da aglutinação da proximidade a espaços abertos, declividade e vegetação de grande porte as áreas que são capazes de dispersar ou reduzir a capacidade térmica produzida pela geometria urbana. O mapa síntese pode ser visto na **Fig. 23**.

Figura 23 - Potencial Dinâmico



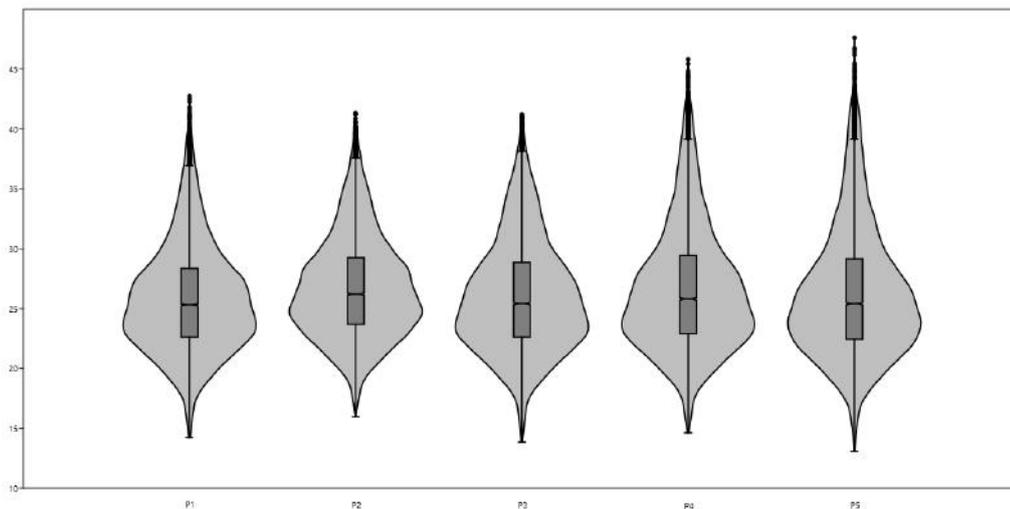
4.3. Características termo-higrométricas (dados observados)

Durante a vigência de um ano, os cinco aparelhos *datalogger* utilizados na pesquisa registraram 10440 horas de dados de temperatura e umidade nos seis bairros que compõe a Região Administrativa de Irajá. Com o objetivo de realizar uma caracterização do campo termohigrométrico intraurbano da área de estudos, o mesmo foi fracionado em quatro escalas de análise. A primeira, quanto ao comportamento termohigrométrico do ano de 2021 (anual); a segunda, em âmbito sazonal (estações do ano); o terceiro recorte de análise termohigrométrica se deu por meio de uma análise mensal e, por fim, foram analisados os horários das 5h, 6h, 7h, 12h, 17h, 18h e 19h. A escolha dos horários se deu com o objetivo de caracterizar as horas de potencial desconforto, sobretudo em relação às pessoas que estão em processo de deslocamento pendular e sob contínua exposição.

4.3.1. Médias Anuais

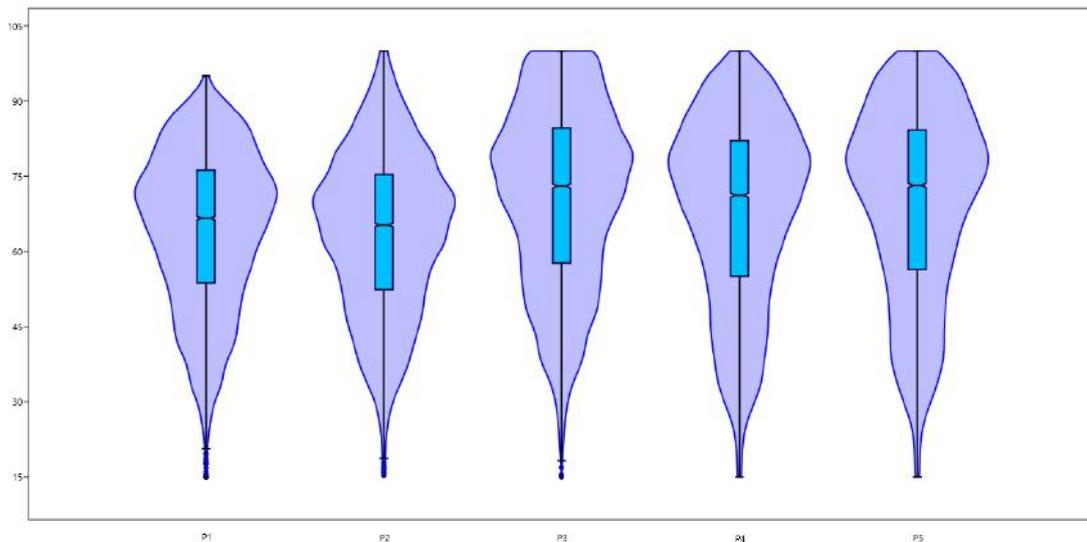
Cada um dos pontos coletados apresentou especificidades quanto às suas características termohigrométricas que puderam ser expressas em formato de *violin plots* (gráficos de violino). A temperatura média demonstrou que a distribuição desses valores ficou próxima à normalidade, com uma leve assimetria positiva, ou à direita (**Gráfico 1**). Esses valores indicam que a média da distribuição de todos os pontos é maior do que a mediana - em outras palavras, a temperatura tende a ficar abaixo da média na maioria das vezes. Esse é um indicativo importante da presença significativa de dias com temperaturas elevadas na distribuição, que acabam alavancando a média para cima.

Gráfico 1 - *Violin plot*, temperatura Média



Outro aspecto importante relacionado aos valores de temperatura é a amplitude da distribuição. Em termos comparativos, os pontos P4 e P5 apresentaram maiores variações entre os limites superiores e inferiores em relação aos pontos P1 e P2, por exemplo. Acredita-se que, especificamente quanto ao ponto P5, as características hipsométricas (altitude na faixa entre 200m e 400m), de cobertura vegetal (próxima a zona de cobertura arbustiva) e de uso da terra (área residencial) possam ter contribuído para que amplitude térmica média se apresente dessa forma.

Quanto à umidade do ar (**Gráfico 2**), o comportamento da variável se apresentou praticamente inverso ao da temperatura: os gráficos de violino apresentaram assimetria negativa, ou à esquerda, o que indica que dias com valores de umidade inferiores tendem a “puxar” a média para baixo.

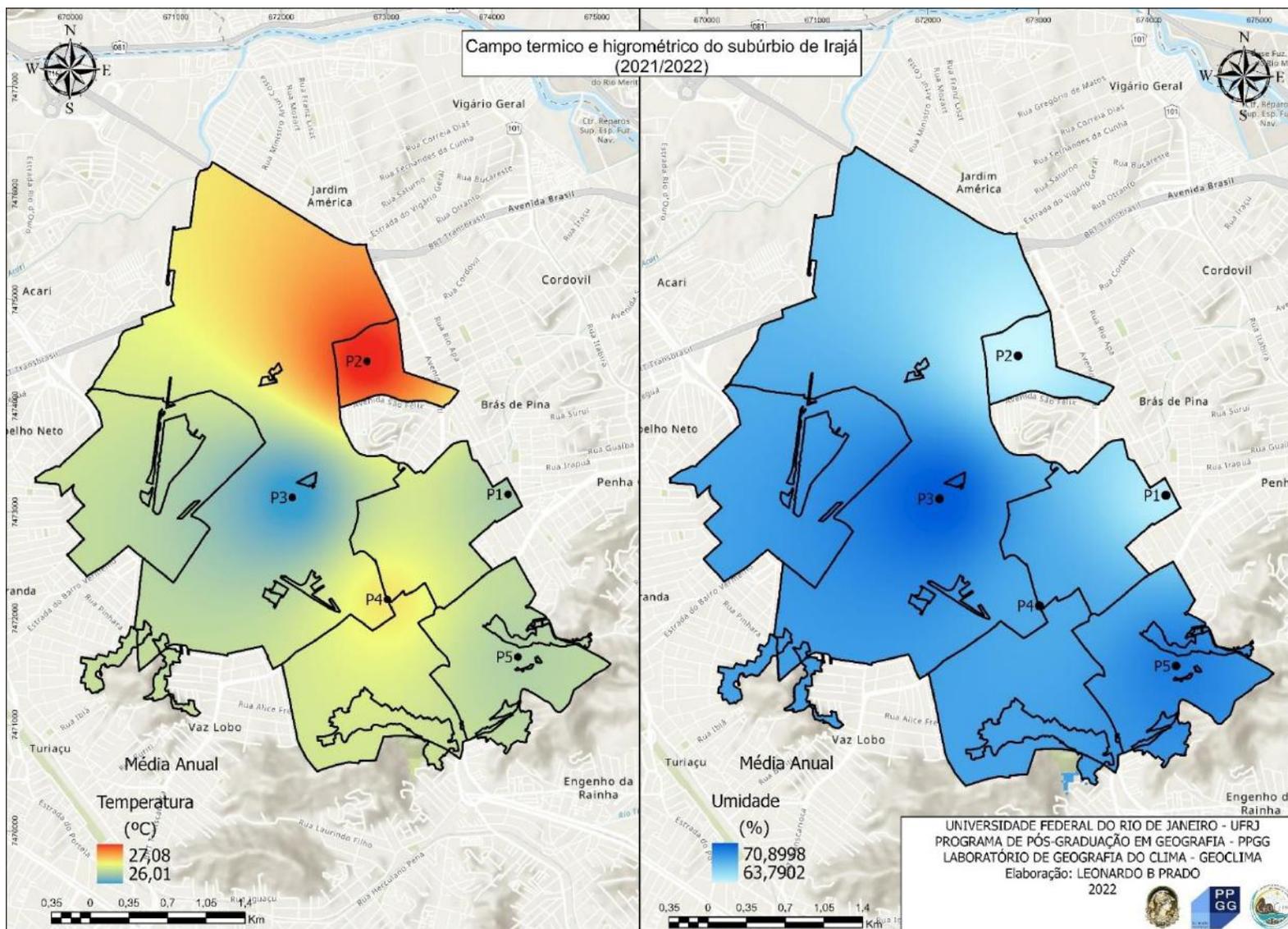
Gráfico 2 - Violin Plot, Umidade Média

Em termos espaciais, a média dos dados para o período de um ano apresentou o ponto P2 como o mais aquecido, assim como o ponto P4 como outro núcleo de calor. O ponto P3 destacou-se por configurar o ponto mais ameno do conjunto com média de 26°C (**Fig. 24**).

A amplitude térmica entre os pontos de coleta atingiu a diferença de 1,1°C, sendo o ponto P2 o mais aquecido, e o ponto P3 o com a menor média de temperatura. A umidade relativa do ar durante o ano apresentou um comportamento esperado se comparado ao da temperatura, uma vez que a temperatura e a umidade tendem a se apresentar como inversamente proporcionais. Desta forma, no ponto mais quente, se esperava uma umidade reduzida, se comparada aos demais.

Chama a atenção o fato do ponto P1 ter apresentado uma umidade relativa média do ar baixa, ainda que a sua temperatura não tenha se configurado como uma das mais elevadas se comparado o total médio dos valores por cada um dos pontos (**Gráfico 1 e Gráfico 2**).

Figura 24 - Campos térmico e higrométrico do subúrbio de Irajá



Considera-se, nesse aspecto, que os materiais construtivos e as dinâmicas de uso e ocupação do espaço urbano podem gerar condições específicas, em âmbito termohigrométrico, para cada um dos pontos espalhados nesta área da cidade.

No caso do P1, a presença de cobertura vegetal (gramíneas) nas imediações pode ter contribuído para um arrefecimento de temperatura, ainda que a umidade do ar não tenha se apresentado como significativa. O uso predominantemente residencial, com baixa verticalização e que foi refletido na escolha do ponto no qual se localiza o sensor, também pode ser um fator relevante.

No caso do P2 (mais aquecido), algumas são as características que podem ser explicativas da elevada temperatura em âmbito médio, quais sejam: a topografia suavemente ondulada com vertente orientada para Norte/Noroeste; a cobertura da terra predominantemente urbana, com uso residencial, mas com entorno marcado pelo uso industrial, comercial e de serviços. Indispensável mencionar também o ponto de localização do sensor que, pendurado junto ao teto e em uma área de varanda edificada, pode ter capturado valores de temperatura elevados devido à energia térmica irradiada pela superfície pavimentada imediatamente abaixo.

O ponto P3 (menos aquecido), a despeito de se localizar em uma área predominantemente residencial, apresentou os menores valores médios de temperatura. Acredita-se que a presença de áreas não-edificadas, associadas a áreas de lazer (espaços abertos) pode ter contribuído para este resultado. Além disso, sua localização (pendurado em uma árvore e sob radiação solar direta apenas parcialmente) pode ter contribuído para tais valores.

O ponto P4 (segundo mais aquecido) encontra-se em uma área majoritariamente residencial que, associado como a topografia suavemente ondulada, associada à aspectos como vertente orientada à Norte/Noroeste e ausência de espaços verdes nas imediações, também se apresentam como variáveis analíticas importantes. Além disso, a incidência de radiação solar direta no invólucro que abrigava o sensor, associado à sua proximidade a parede também pode ter contribuído para esse resultado.

Por fim, o ponto P5 foi o que apresentou maiores amplitudes tanto de temperatura quanto de umidade, com valores outliers encontrados em ambas as variáveis. A despeito das características de cobertura da terra e de demais variáveis geoambientais, acredita-se que a sua localização, como um enclave entre duas áreas

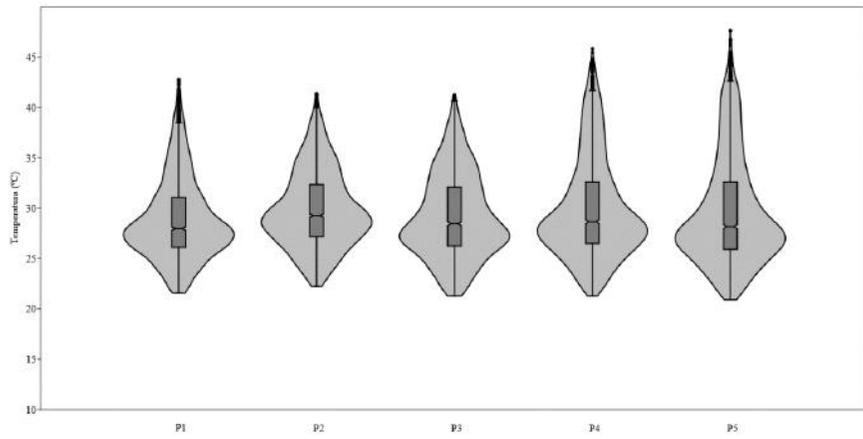
de maior altitude (uma delas, uma área de favela; a outra, uma área de cobertura vegetal no entorno de outra área de favela) pode ter contribuído para essas amplitudes.

4.3.2 Médias Sazonais

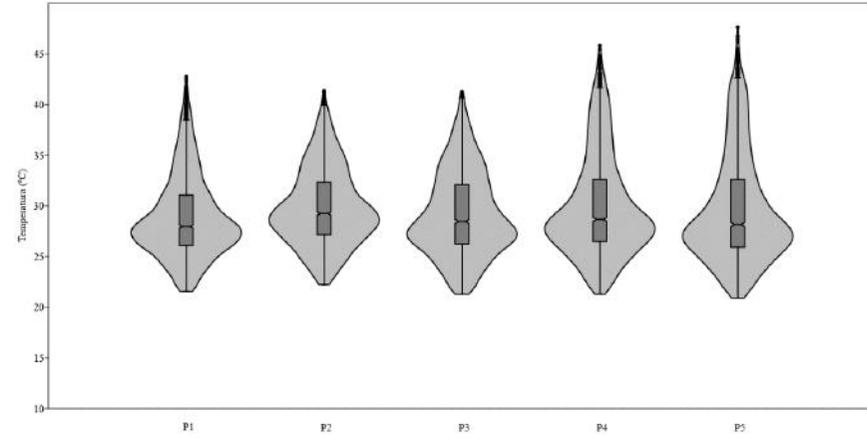
Em âmbito temporal, pôde-se identificar que o ponto P2 manteve-se como o mais aquecido durante todas as estações do ano, assim como o ponto P1 apresentou os valores mais baixos de temperatura (**Gráfico 3**).

O primeiro aspecto a se considerar é forma como cada *violin plot* se configura a partir dos pontos e estações do ano. Durante o período do verão, a distribuição das temperaturas ocorreu de forma diferenciada entre os pontos, principalmente considerando os P3 e P5. No primeiro caso, ele possui o seu terço superior relativamente maior do que o ponto P5, que apresenta sua estrutura superior mais menor/mais afinada. Essa característica denota que a frequência de temperaturas mais elevadas no ponto P2 foi mais elevada.

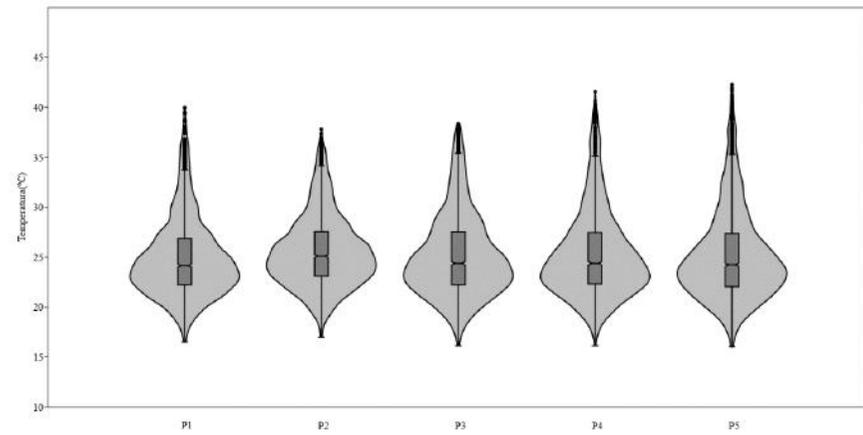
Durante o outono, chama a atenção o ponto P5, que apresenta um conjunto significativo de dados fora do comportamento padrão da amostra (*outliers*). Esse ponto se diferencia dos demais, a exemplo do P3, que possui dados distribuídos de maneira próxima ao padrão.



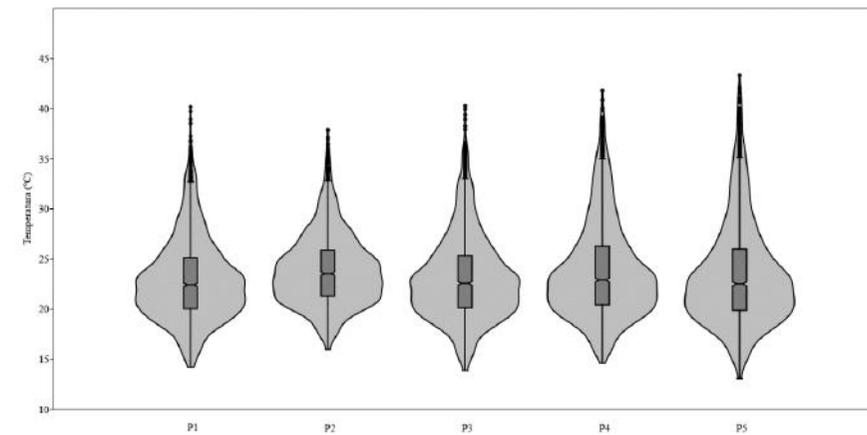
a. Verão



b. Outono



c. Inverno



d. Primavera

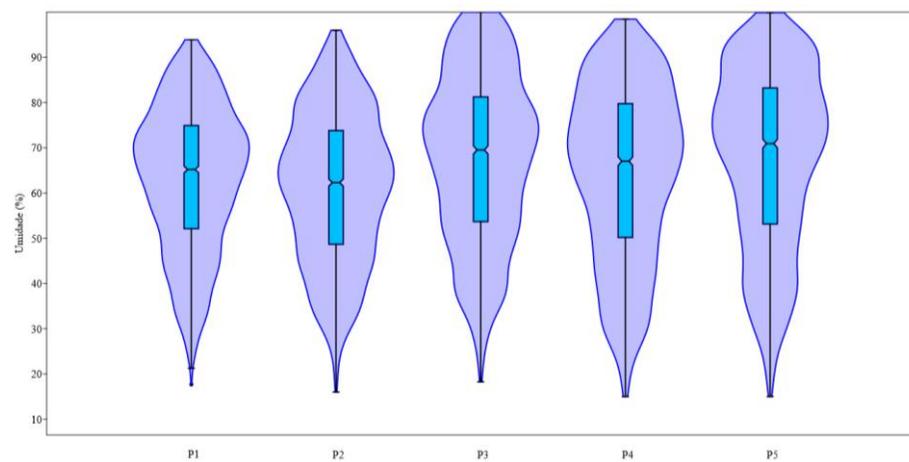
Gráfico 3 - Violin Plots de Temperatura (sazonal)

No caso do inverno, os valores em todos os pontos indicaram a ocorrência das menores temperaturas registradas dentre todas as estações do ano. Contudo, é possível constatar que a frequência dos dados não foi concentrada como nas demais estações do ano. Essa característica fica evidente através da análise do comportamento da distribuição. Os gráficos de violino do inverno indicam um prolongamento da área mais afastada do eixo Y em cada um dos pontos de coleta. Isso indica que frequência dos dados está bem distribuída dentro do conjunto.

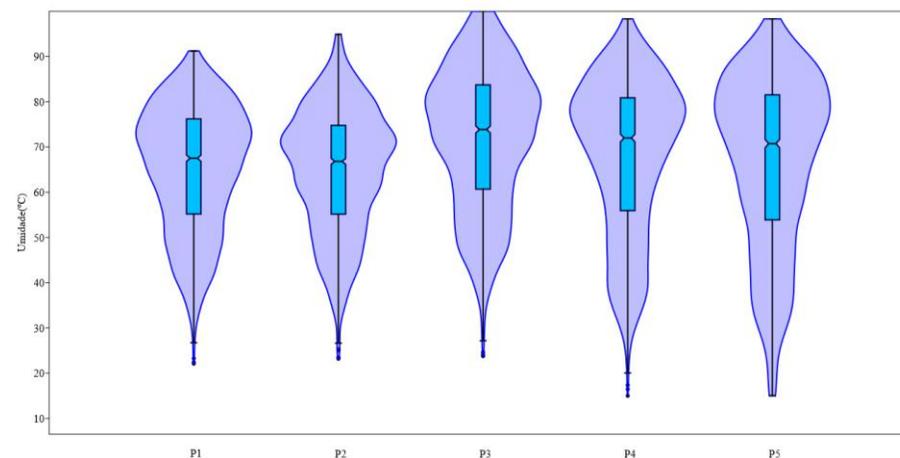
Na primavera, a distribuição dos valores de temperatura se aproximou ao encontrado no verão e no outono para os pontos P1, P3, P4, P5. A exceção foi o ponto P2, que apresentou comportamento térmico semelhante ao encontrado no período do inverno, mesmo que a distribuição dos seus dados tenha se alterado de uma estação para a outra.

Quanto a umidade (**Gráfico 4**), o ponto P2 se apresentou como o mais seco dentre os demais, enquanto o ponto P3 configurou-se como o mais úmido durante o período do verão. O ponto P5 apresentou comportamento similar ao P3, com ambos tendo atingido 100% da umidade relativa. Quanto ao limiar inferior, o ponto P4 apresentou valores abaixo dos 20% em todas as estações do ano.

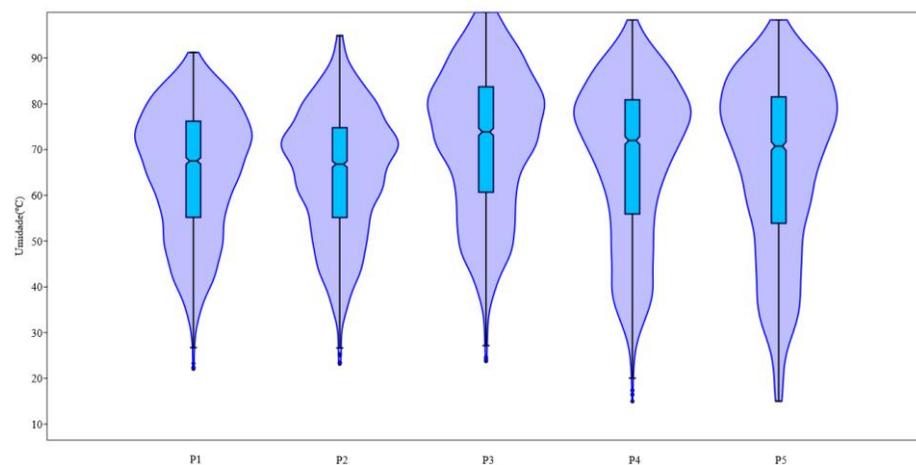
Ao analisar a umidade no período do outono, é possível observar que a média da umidade se manteve acima dos 50% em todos os pontos de coleta com concentração acima dos 60%.



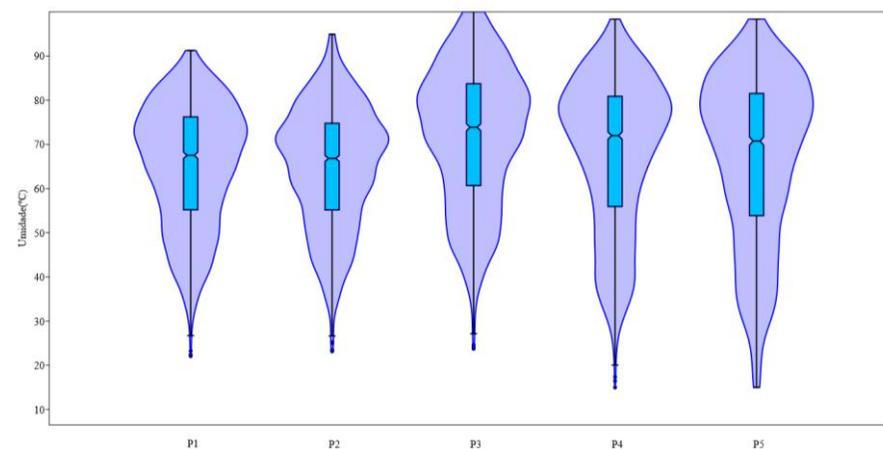
a. Verão



b. Outono



c. Inverno

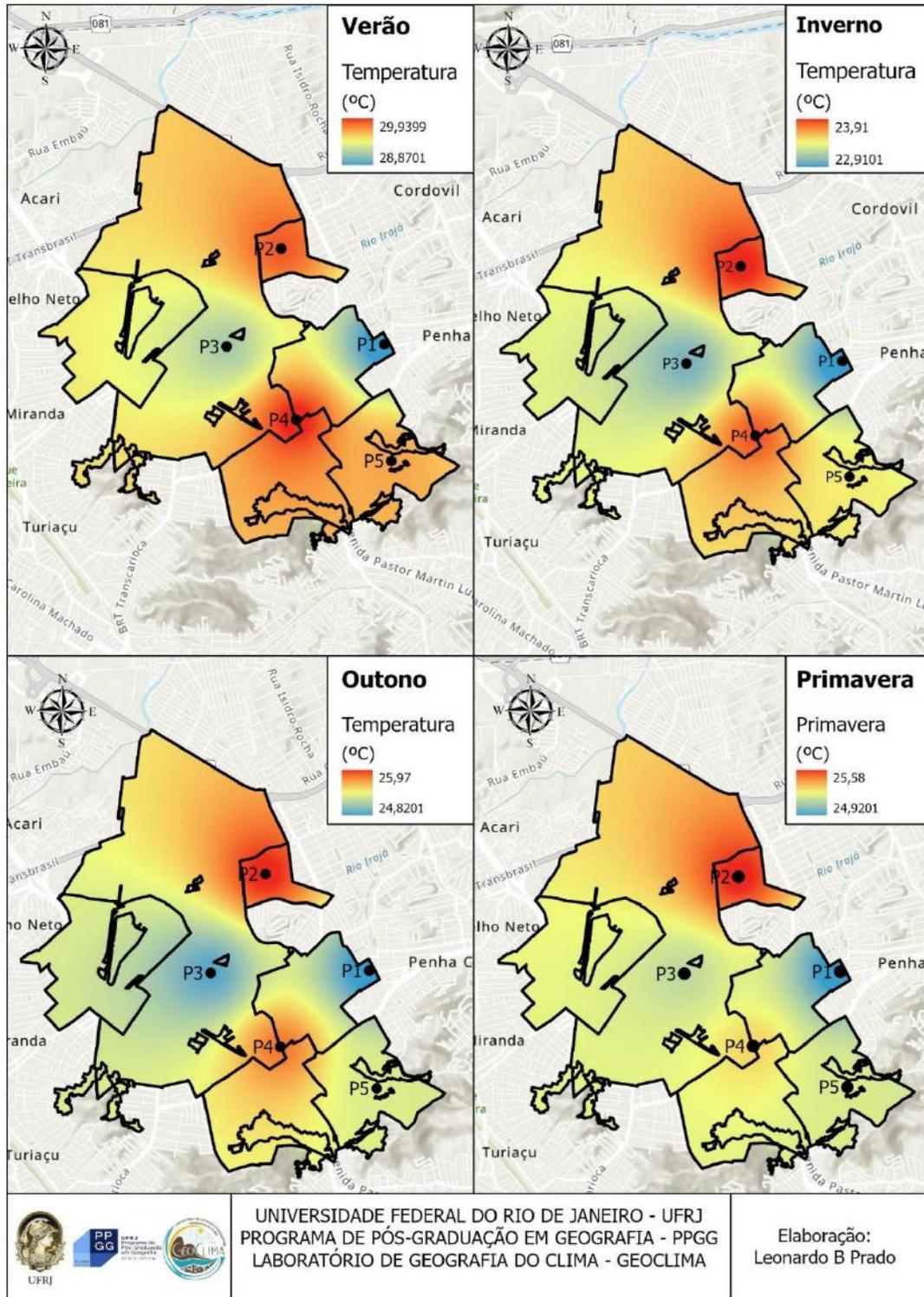


d. Primavera

Gráfico 4 - Violin Plots de Umidade Relativa do Ar (sazonal)

Em relação aos aspectos espaciais da distribuição da temperatura e da umidade, foi possível identificar que, ao longo de todas as estações do ano, aqueles pontos que se apresentavam como mais quentes e aqueles mais frios não se alteraram entre si (Fig.25).

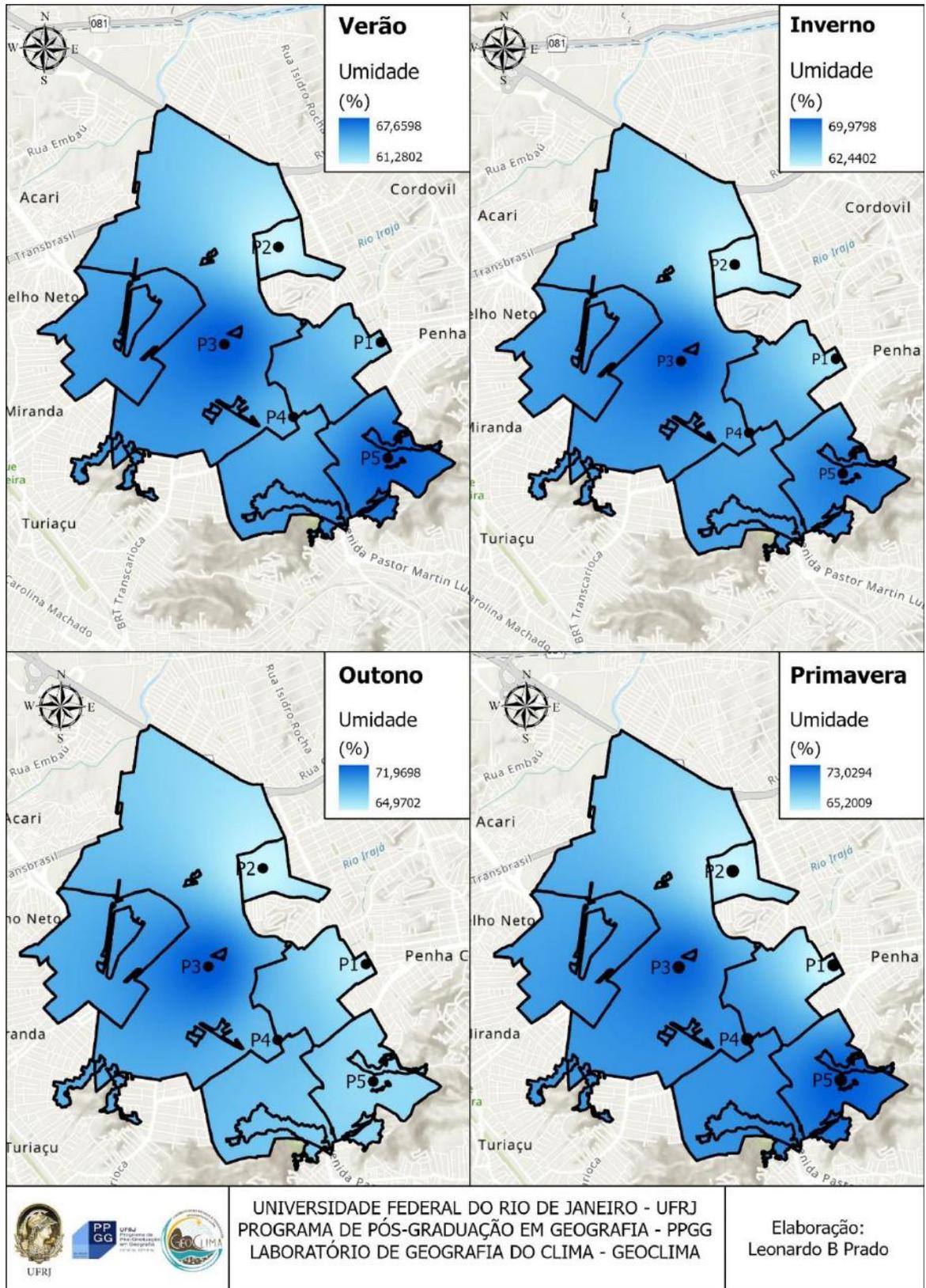
Figura 25 - Sazonalidade do campo térmico



No entanto, se em um recorte anual, o ponto P2 apresentou-se como o mais aquecido e o ponto P4 como segundo mais quente, bem como o ponto P3 se apresentava como menos aquecido, em âmbito sazonal esse padrão se alternou ao longo das estações. Especificamente no verão, o ponto P2 foi o segundo mais aquecido, perdendo para o ponto P4. Porém, nas demais estações do ano, o ponto P2 seguiu o padrão anual e se mostrou mais aquecido em relação ao ponto P4.

Em relação à umidade do ar, os pontos P2 e P4 apresentaram valores reduzidos. No entanto, o ponto P4 não necessariamente seguiu a tendência de registrar valores de temperatura inversamente proporcionais aos de umidade. Mesma coisa aconteceu com os pontos P1 e P3, enquanto o segundo apresentou essa tendência (temperaturas mais baixas e umidade do ar mais elevada), o primeiro ponto (P1) registrou valores mais baixos de umidade, ainda que tenha apresentado também valores mais baixos de temperatura (**Figura 26**).

Figura 26 - Sazonalidade do campo higrométrico

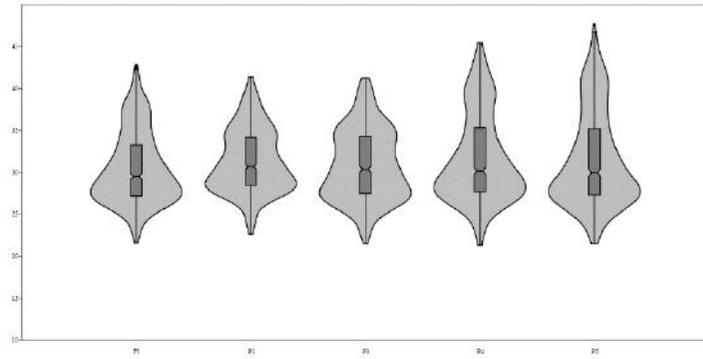


4.3.3. Médias Mensais

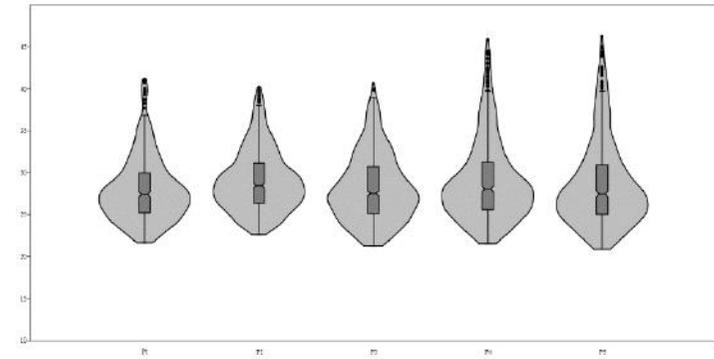
Em um recorte temporal, a temperatura e a umidade do ar mensais apresentaram padrões distintos tanto entre os meses quanto entre os pontos de registro.

O ponto P1 indicou variações significativas de temperatura e umidade, aparentemente bem-marcadas por conta de aspectos sazonais. Os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro se destacaram como aqueles que apresentaram os maiores valores de temperatura tanto de *outliers* positivos, quanto de limites superiores e amplitude interquartilica. No mês de Janeiro, ele registrou mediana aproximada de 30°C, com os limites entre o 1º e o 3º quartil variando entre aproximadamente 27°C e 34°C. Quanto à distribuição, os dados se apresentaram como assimétricos, com a maior frequência de ocorrência de valores de temperatura concentradas na faixa entre os 25°C e 30°C. Os valores registrados em Janeiro foram os mais elevados em relação aos demais meses do ano. Quanto à umidade do ar, a distribuição dos dados tendeu a seguir um padrão mais próximo à normalidade, ainda que a assimetria inversa à de temperatura possa ter sido identificada (de modo leve). A distância entre o 1º e o 3º quartil foram significativamente maiores do que no gráfico de violino de temperatura, variando entre registros próximos a 40% e 70%. Outliers inferiores foram encontrados, com registros na faixa inferior aos 20%.

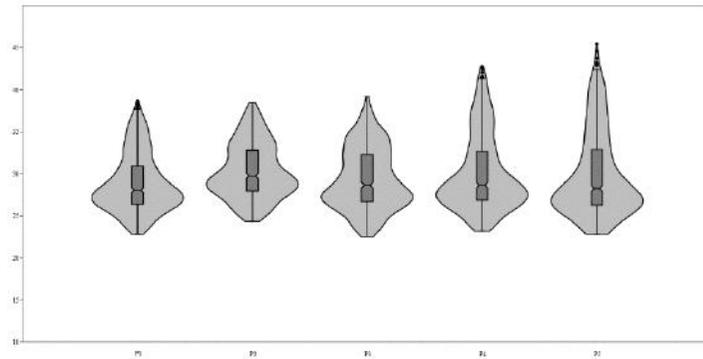
Fevereiro e março apresentaram comportamento semelhante, tanto de temperatura quanto de umidade, para o ponto P1. No caso da primeira variável (temperatura), os valores de mediana se aproximaram aos 28°C, com limites inferiores e superiores do 1º e 3º quartil respectivamente entre 25°C e 30°C. A distribuição, também assimétrica, compreendeu a concentração de valores registrados na casa dos 25°C a 28°C - neste contexto, destaca-se o mês de Março, que demonstrou concentração mais expressiva entre 26°C e 27°C, perceptível de ser identificado por meio da largura dos gráficos (curtose). Quanto à umidade do ar, ambos os meses também apresentaram padrão similar. A mediana concentrou-se na faixa aproximada dos 70%, com os intervalos do 1º e 3º quartil oscilando entre 55% e 80%. A assimetria, invertida em relação à temperatura, também se manteve de modo discreto, com os dados mais concentrados na faixa dos 75 a 85% (**Gráfico 5**).



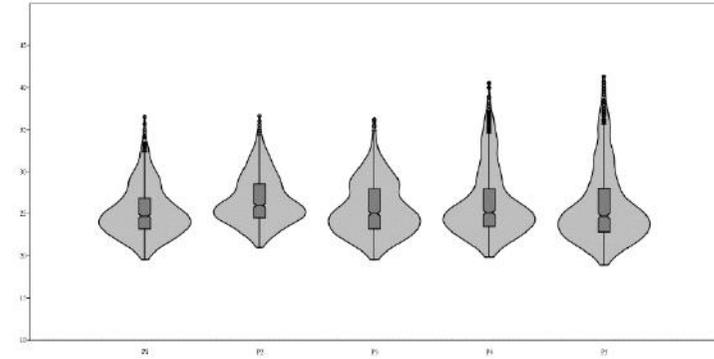
a. Janeiro



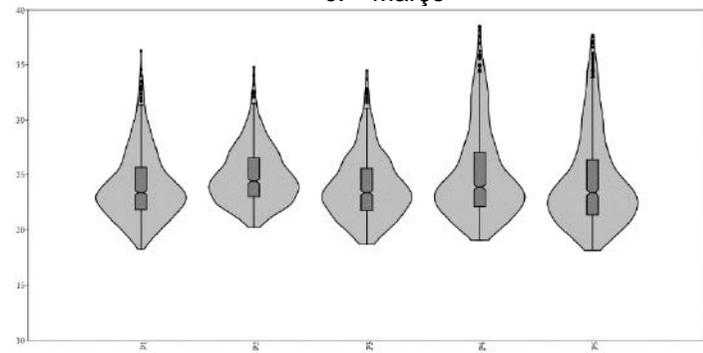
b. Fevereiro



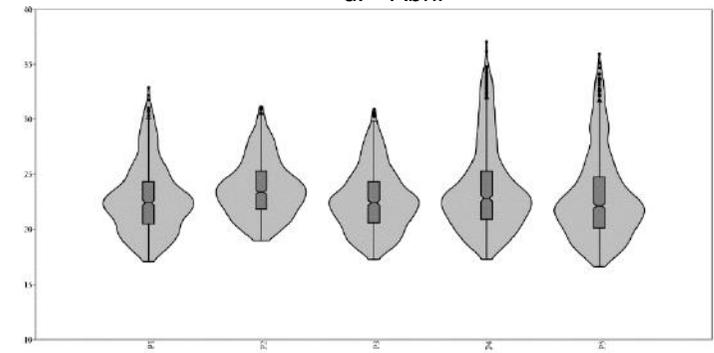
c. Março



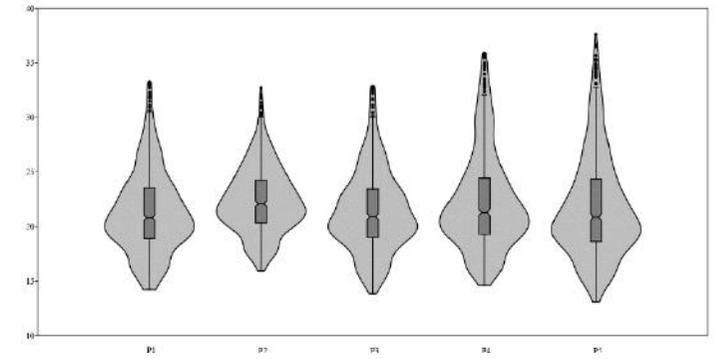
d. Abril



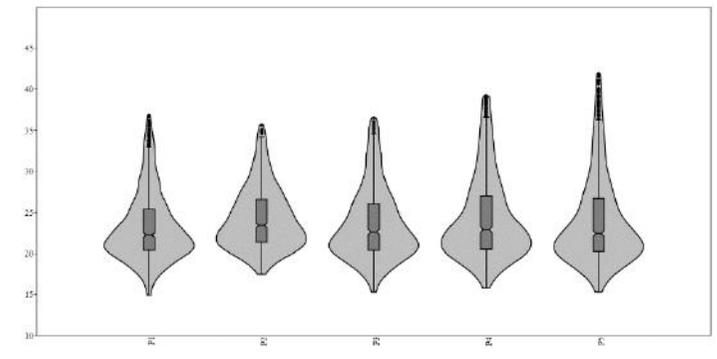
c. Maio



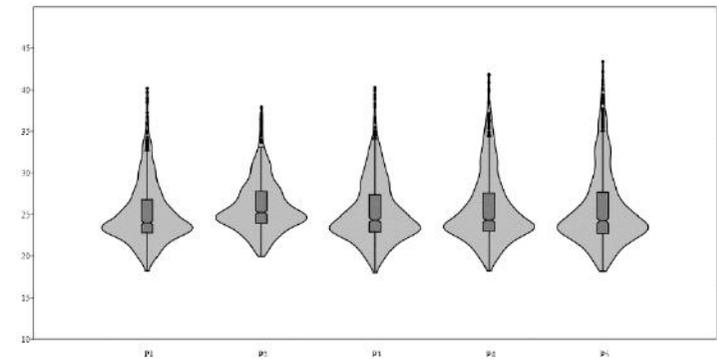
d. Junho



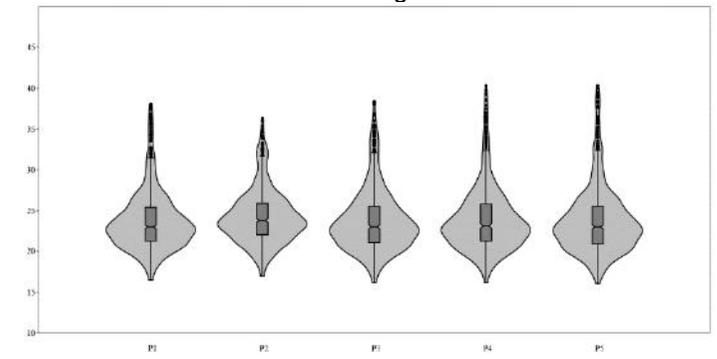
e. Julho



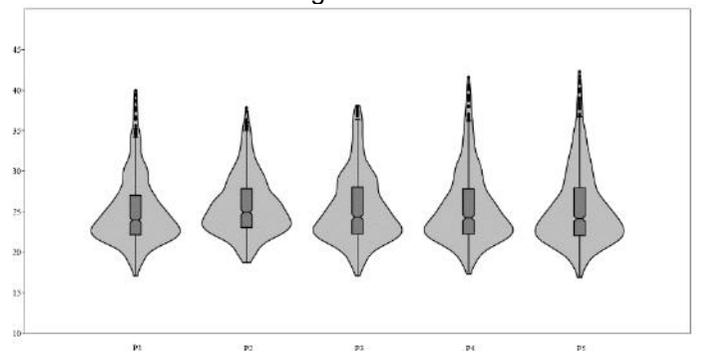
f. Agosto



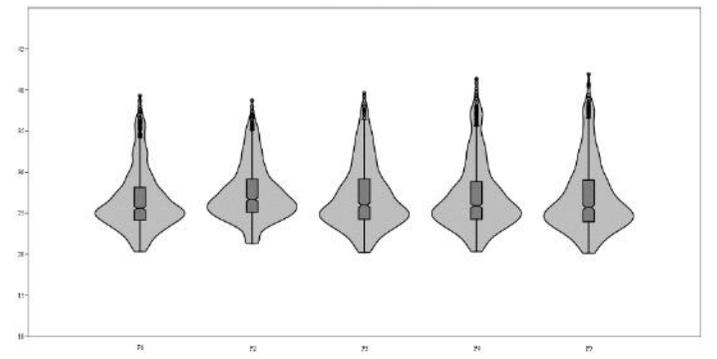
g. Setembro



h. Outubro



i. Novembro



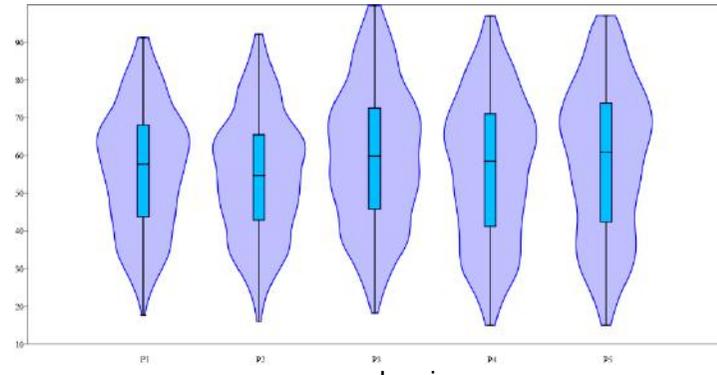
j. Dezembro

Gráfico 5 - Violin Plot Mensal de temperatura

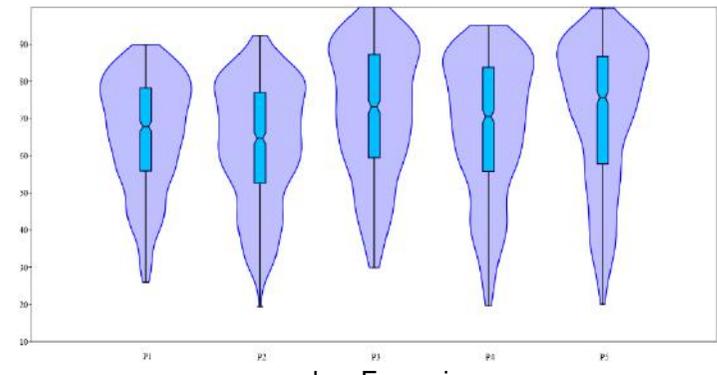
O mês de Abril apresentou características de transição climática, principalmente em relação à temperatura. Essa variável, na mediana, se situou nas proximidades dos 25°C. No entanto, os limites dos intervalos do 1º e 3º quartil giraram em torno dos 24°C e 27°C, o que indicou baixa amplitude. Ainda assimétrica, a distribuição demonstrou que os registros ficaram concentrados entre 24°C e 25°C, com outliers entre 33°C e 36°C. A umidade do ar indicou padrão similar aos meses anteriores.

Os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto apresentaram deslocamento dos seus valores registrados de temperatura na direção de diminuição no ponto P1. A mediana de temperatura variou dos 21°C aos 20°C, aproximadamente. Os limites dos 1º e 3º quartis oscilaram entre 18°C e 26°C, e a maior frequência dos valores se situaram entre 19°C e 23°C. Quanto aos outliers, registros entre 31°C e 37°C também foram identificados. No que se refere à umidade, os meses de Maio e Junho tiveram comportamento semelhante, com o mês de Julho se diferenciando. No primeiro caso, a mediana se situou entre 65 e 70%, com os limites do 1º e 3º quartil entre 56% e 80%. A frequência da distribuição dos registros foi concentrada entre 75 e 85%, com os menores valores encontrados na casa dos 30%. Já o mês de Julho se diferenciou de maneira significativa, com os menores valores inferiores a 20% e a amplitude saindo desse valor até os 90%. A distribuição ainda foi assimétrica, ainda que menos contundente que os meses anteriores.

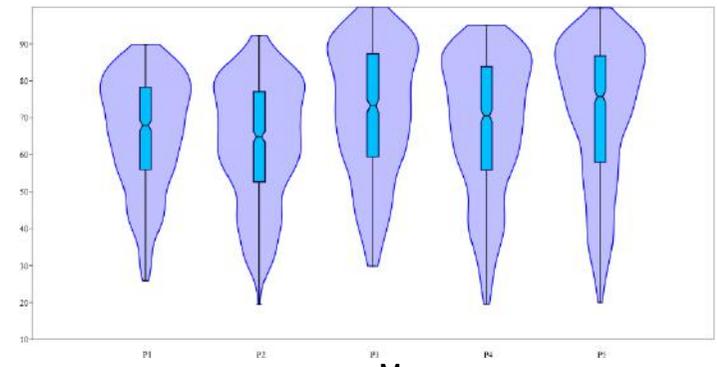
Setembro foi o mês que apresentou relativamente maior concentração da frequência dos registros na casa dos 24°C, valor muito próximo à mediana. Os limites inferiores e superiores do 1º e 3º quartil, respectivamente, ficaram entre 22°C e 27°C, com outliers que, no entanto, apresentaram-se entre 33°C e 42°C. A umidade seguiu a tendência inversamente proporcional à temperatura no ponto P1, com valores situados entre 55 e 72% (limites inferior e superior do 1º e 3º quartil, respectivamente). Os outliers inferiores chegaram a valores inferiores a 20%. Os meses de Outubro, Novembro e Dezembro registraram a retomada na subida dos valores dos outliers, atingindo a marca dos 40°C. Também, indicaram a concentração dos valores atingindo patamares superiores a 25°C, com os limites superiores chegando a valores próximos a 30°C (**Gráfico 6**).



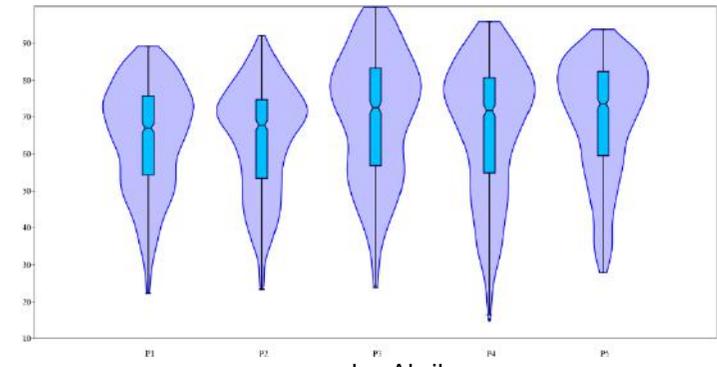
a. Janeiro



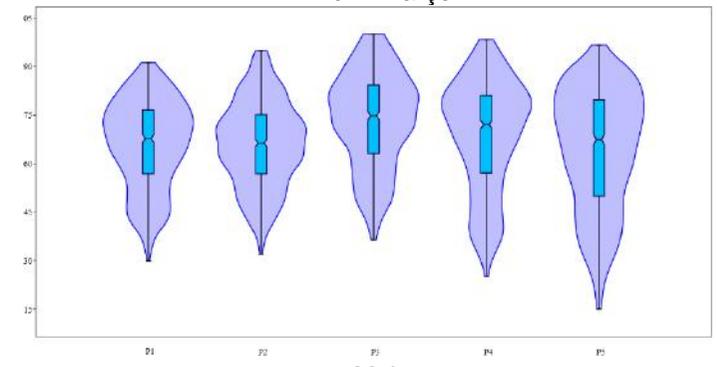
b. Fevereiro



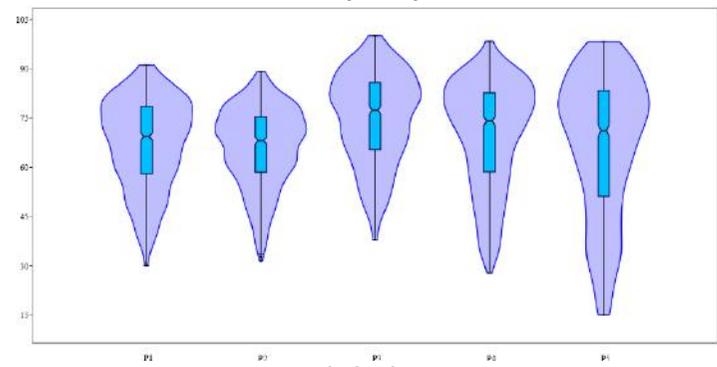
c. Março



d. Abril



c. Maio



d. Junho

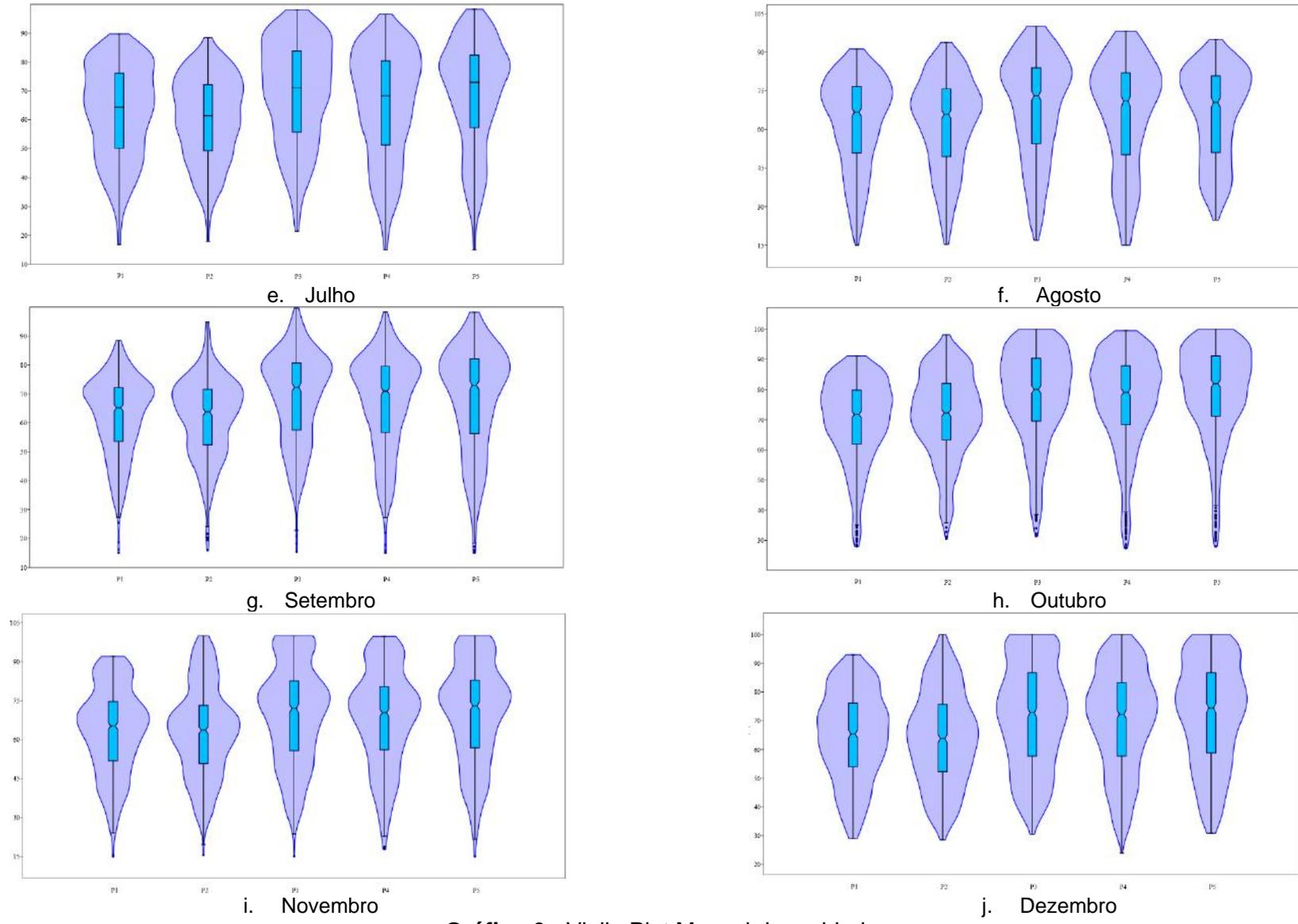


Gráfico 6 - Violin Plot Mensal de umidade

Ainda temporalmente, e em termos comparativos, alguns pontos apresentaram comportamento semelhante ao longo dos meses para as variáveis temperatura e umidade. Quanto aos meses de primavera e verão, os dados tanto de temperatura quanto de umidade apresentaram comportamento semelhante entre si nos pontos P3, P4 e P5. Nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março, os pontos P1, P3 e P4 apresentaram dinâmica similar (menores amplitudes de umidade, maiores outliers de temperatura).

Quanto a uma análise espacial (**Figura 27**), o ponto P1 manteve-se como o mais aquecido, atingindo o seu ápice no mês de Janeiro, com temperatura aproximada de 31°C. Contudo, neste mês o que chama a atenção é a grande mancha imputada pelos pontos P4 e P5 pela elevada temperatura compreendendo todo o bairro de Vila Kosmos, Vicente de Carvalho, assim como a umidade acima de 50% em toda a área.

Outro fenômeno observado é o fato de, em 9 meses do ano, ocorrer uma tendência de conexão entre os pontos P1 e P3 pelas temperaturas mais amenas. Este fenômeno pode estar associado ao uso e cobertura do solo de ambas que são semelhantes, uma vez que abaixo do ponto P1 e ao seu entorno é composto por gramíneas e o ponto P3 a depender da posição do sol está mais ou menos exposto a incidência direta de radiação, além do fato do mesmo estar sob influência de uma vegetação de médio porte.

Contudo, ao analisar de modo mais amplo, questiona-se se a posição de ambos os pontos associado a geomorfologia da cidade do Rio de Janeiro não propiciaria uma influência diferencial da entrada de ventos na área de estudos, uma vez que ambos os pontos estão localizados na direção da baixada de Jacarepaguá, o que possibilitaria uma influência diferencial à passagem de sistemas atmosféricos.

Figura 27 - Mapa do campo térmico - mensal

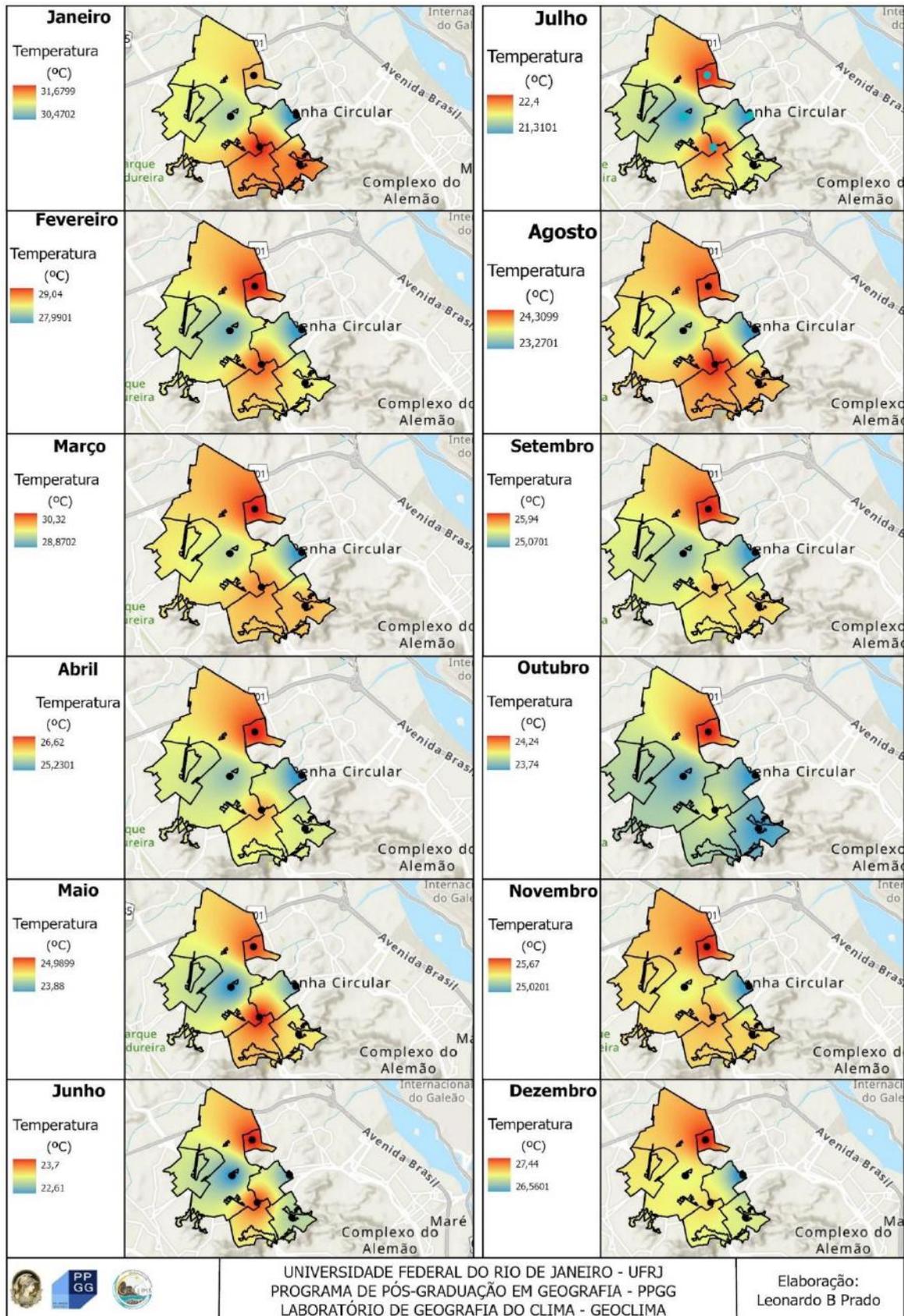
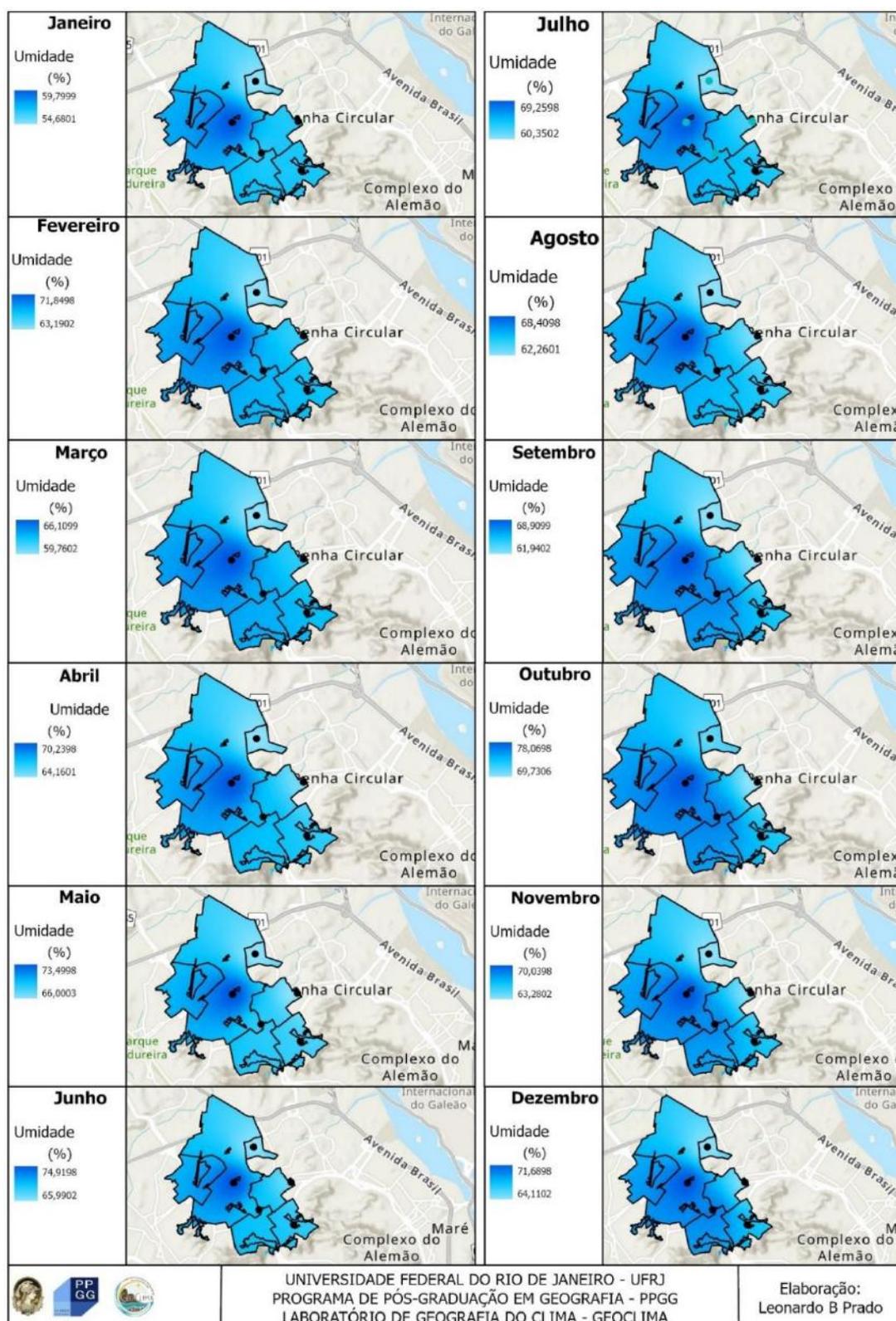


Figura 28 - Mapa do campo higrômétrico - mensal



A análise espacial da umidade relativa do ar nesta escala mostrou a estabilidade dessa variável. O ponto P3 foi registrado como mais úmido durante todos

os meses do ano, assim como a área mais seca foi aquela próxima ao P2. Salienta-se que, mesmo durante os meses do inverno, nenhum dos pontos registrou valores abaixo dos 50%.

4.3.4. Médias horárias

A análise foi dividida em três intervalos horários: de 5h às 7h da manhã, 12h às 13h, e por fim, o horário de retorno do trabalho no intervalo 17h às 19h sendo tomadas as médias de cada hora durante o período do ano analisado (**Fig. 29**).

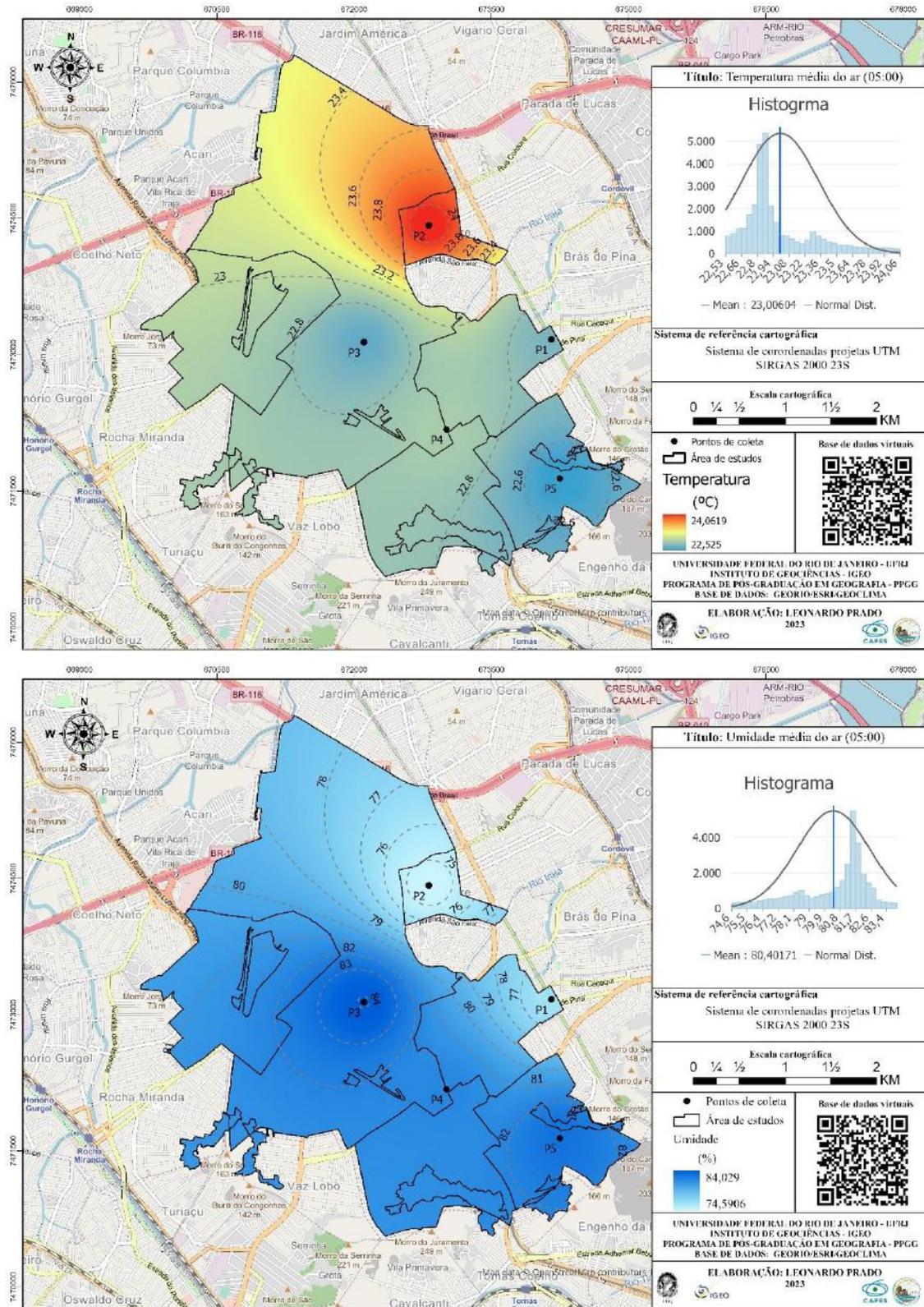
No horário das 5h, a área próxima ao ponto P2 se apresentou como a mais aquecida, partindo do seu núcleo de 24°C para um limiar fronteiro de 23,8°C e resfriando à medida que se afastava do núcleo central. Os pontos P1 e P4 ficaram próximos à média no intervalo entre 22,8°C e 23°C, sendo o ponto mais ameno neste horário o ponto P5 com 22,4°C.

Através do histograma plotado, é possível observar que a frequência de *pixels* está concentrada abaixo da média de 23,1°C, o que indica a maior parte da área de estudos está sob essa faixa (22,8°C a 23°C). A amplitude térmica entre os pontos registrados neste horário foi de 1,7°C mostrando-se superior as amplitudes encontradas em escalas de análise tempo-espaciais já analisadas.

Quanto à umidade do ar (%) para o mesmo horário, tal variável apresentou, em geral, comportamento inversamente proporcional à temperatura. O ponto P2 foi o que registrou a menor umidade relativa do ar para o horário, seguido do ponto P1. Chama atenção que o padrão construtivo entre os pontos P1 e P2 são significativamente diferentes, e o comportamento entre eles foi semelhante.

Através do histograma da umidade, é possível observar que a concentração de *pixels* acima da média é significativa, uma vez que o deslocamento do conjunto a direita evidencia que a maioria dos registros apresentou frequência superior a 80,5%.

Figura 29 - Campo térmico e higrométrico - 5h da manhã

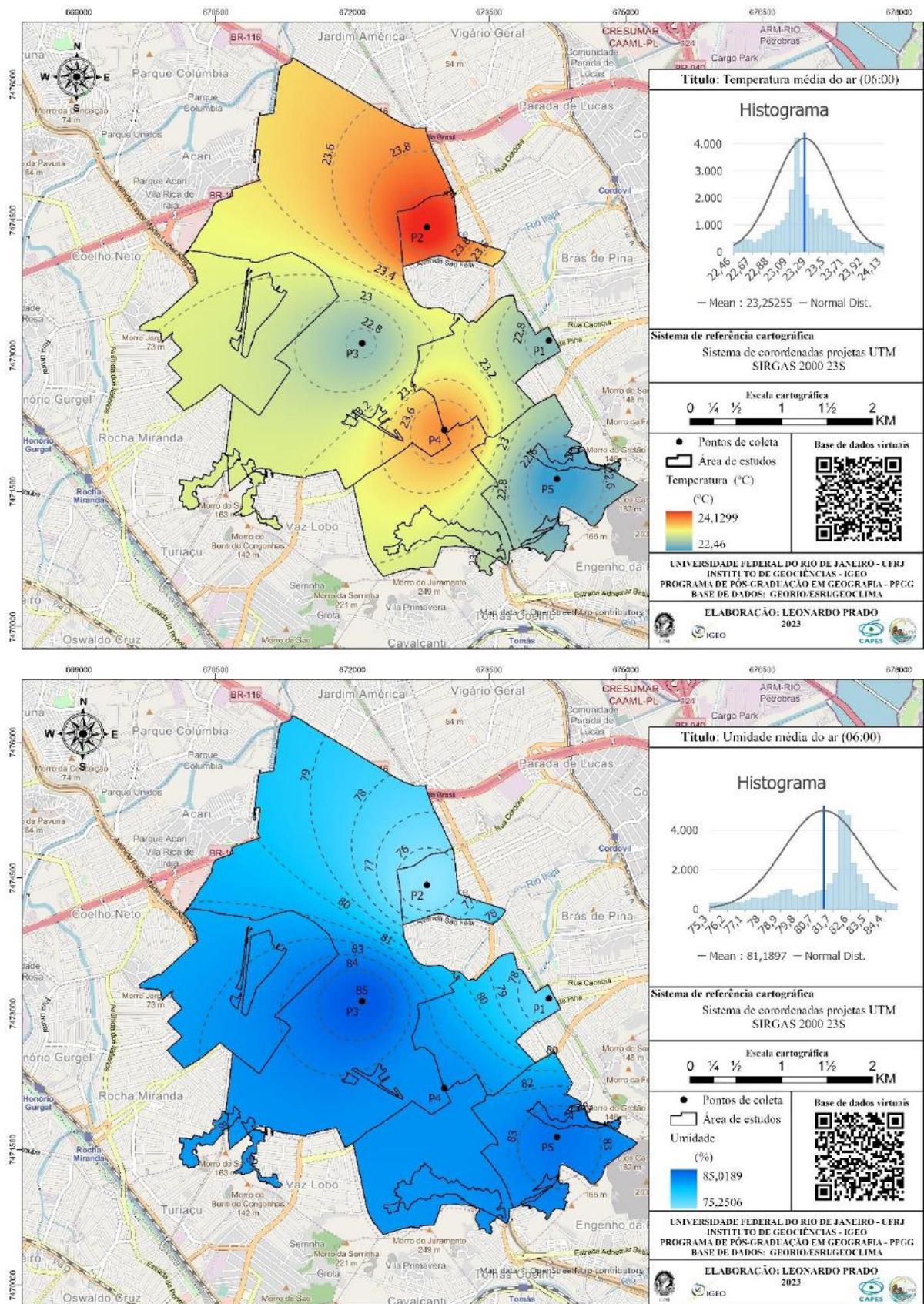


Devido ao comportamento padrão da temperatura em espaços urbanos, era esperado que a temperatura mínima e máxima aumentasse do horário das 5h para as

6h da manhã. Neste horário, aparecem dois núcleos térmicos, um com dois pontos com temperaturas mais elevadas (P2 e P4) e outro, de três pontos com valores mais amenos (P1, P3 e P5). No entanto, é válido destacar que as diferenças entre tais núcleos não se mostram extremamente contundentes (apenas 1°C de amplitude entre os pontos). Chama a atenção o histograma da temperatura que, diferente do encontrado anteriormente, demonstrou uma distribuição mais homogênea entre os dados. É necessário se refletir quanto ao comportamento desses dados por meio do resgate da análise espacial da localização desses sensores. Os pontos P2 e P4, quanto a sua localização/posição, estão próximos a meterias construtivos e o ponto P1 possui influência direta de vegetação no entorno e o ponto P3 possui influência da árvore na qual o aparelho foi fixado.

A umidade, neste horário, apresentou comportamento próximo aquele encontrado no horário das 5h da manhã: menores valores nos pontos P1 e P2, em seguida para o ponto P4, o ponto P3 apresentou o maior valor de umidade. No entanto, uma ligeira diferença foi a redução da sua influência assim como a umidade acima da média para o intervalo amostral dos dados (**Figura 30**).

Figura 30 - Campo térmico e higrométrico - 6h da manhã



No horário das 7h da manhã, a temperatura apresentou um padrão espacial significativamente diferente dos horários anteriores (**Fig. 31**). As áreas aquecidas diminuíram comparativamente às áreas de temperatura mais baixa. A amplitude térmica também não foi significativa, entretanto, foi a maior registrada no período da manhã (1,7°C de diferença entre os pontos P2 e P5).

A umidade neste horário seguiu o padrão dos horários anteriores. O ponto P2 registrou o menor valor de umidade relativa, seguido de P1. Os pontos P3 e P5 apresentaram os maiores valores de umidade relativa. Destaca-se o aumento dos valores de umidade relativa do ar no horário das 07h em relação aos horários anteriores, tendo aumentado da faixa dos 60% para 75% - 85,6% como o menor e maior valor de umidade, respectivamente.

O horário de 12h indicou um padrão espacial distinto. As maiores temperaturas neste horário encontraram-se no ponto P4, enquanto a menor temperatura foi encontrada no ponto P1. Durante esse horário, a diferença de temperatura atingiu 5,4°C entre os pontos P4 e P1. A umidade neste horário teve sua máxima registrada nos pontos P3 e P1, e a menor localizada no ponto P4 - padrão apresentado inclusive nas análises mensais (**Fig. 32**).

Foi no horário das 13h da tarde que foram registradas as maiores médias de temperatura, com o núcleo de calor concentrado no ponto P4 (32,3°C). Neste horário, toda a porção sul da área suburbana do Irajá passa a indicar temperaturas superiores aos valores médios encontrados em âmbito anual, sazonal e mensal (**Fig. 33**).

No período da tarde, o ponto mais quente passa a ser o P4 ao invés do P2, que era o mais aquecido no período da manhã. Esse resultado pode estar associado a posição na qual os aparelhos foram fixados, uma vez o ponto P4 seria o aparelho que estaria mais exposto a radiação solar direta, enquanto os demais (à exceção do ponto P1) recebem incidência parcial.

A umidade neste horário se apresentou de forma semelhante à temperatura, com os valores maiores de umidade no ponto P3, e menores valores no ponto P4. Destaca-se que neste horário, a umidade atinge seus menores valores entre todos os pontos (**Fig. 33**).

Figura 32 - Campo térmico e higrométrico - 12h (meio-dia)

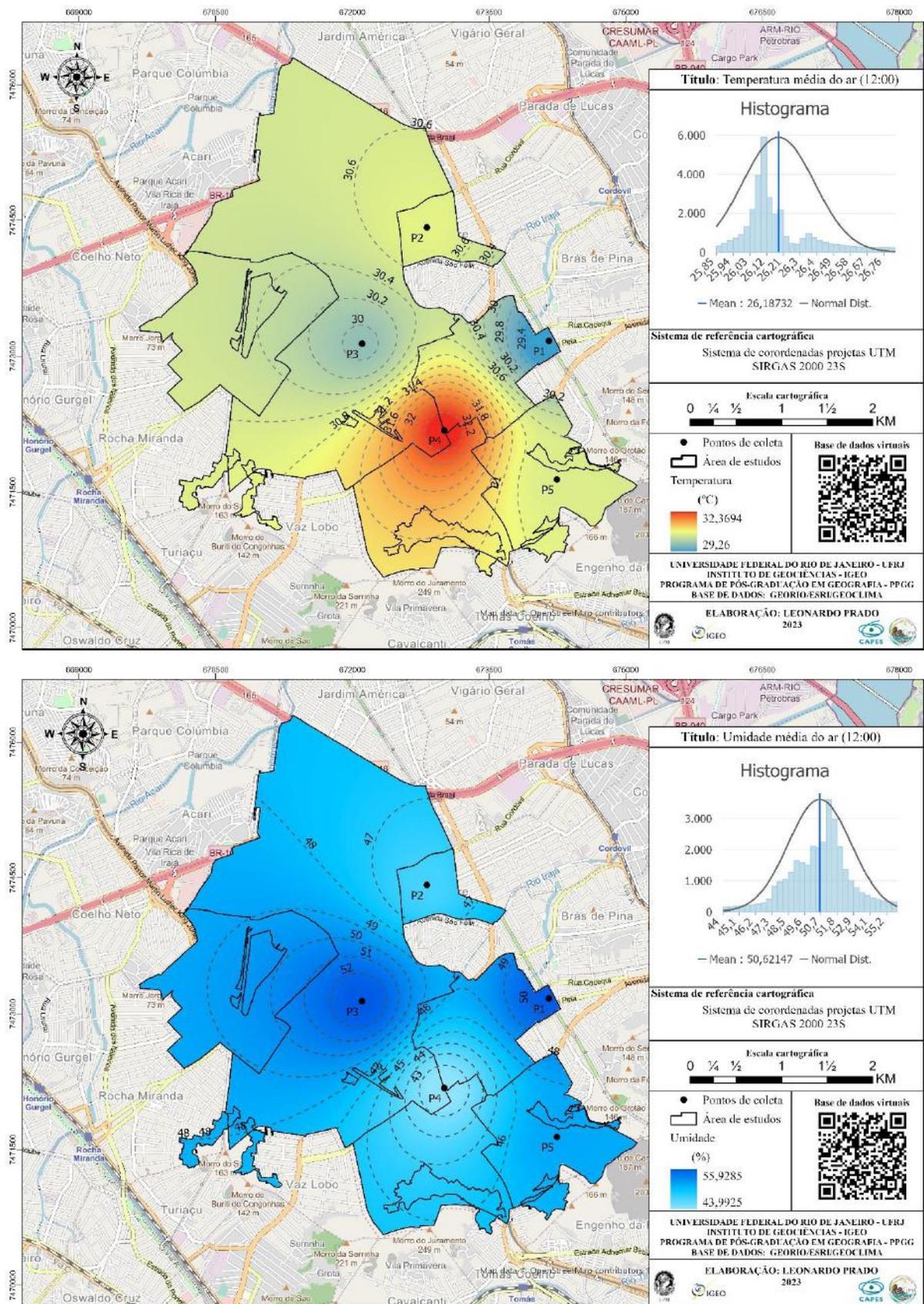
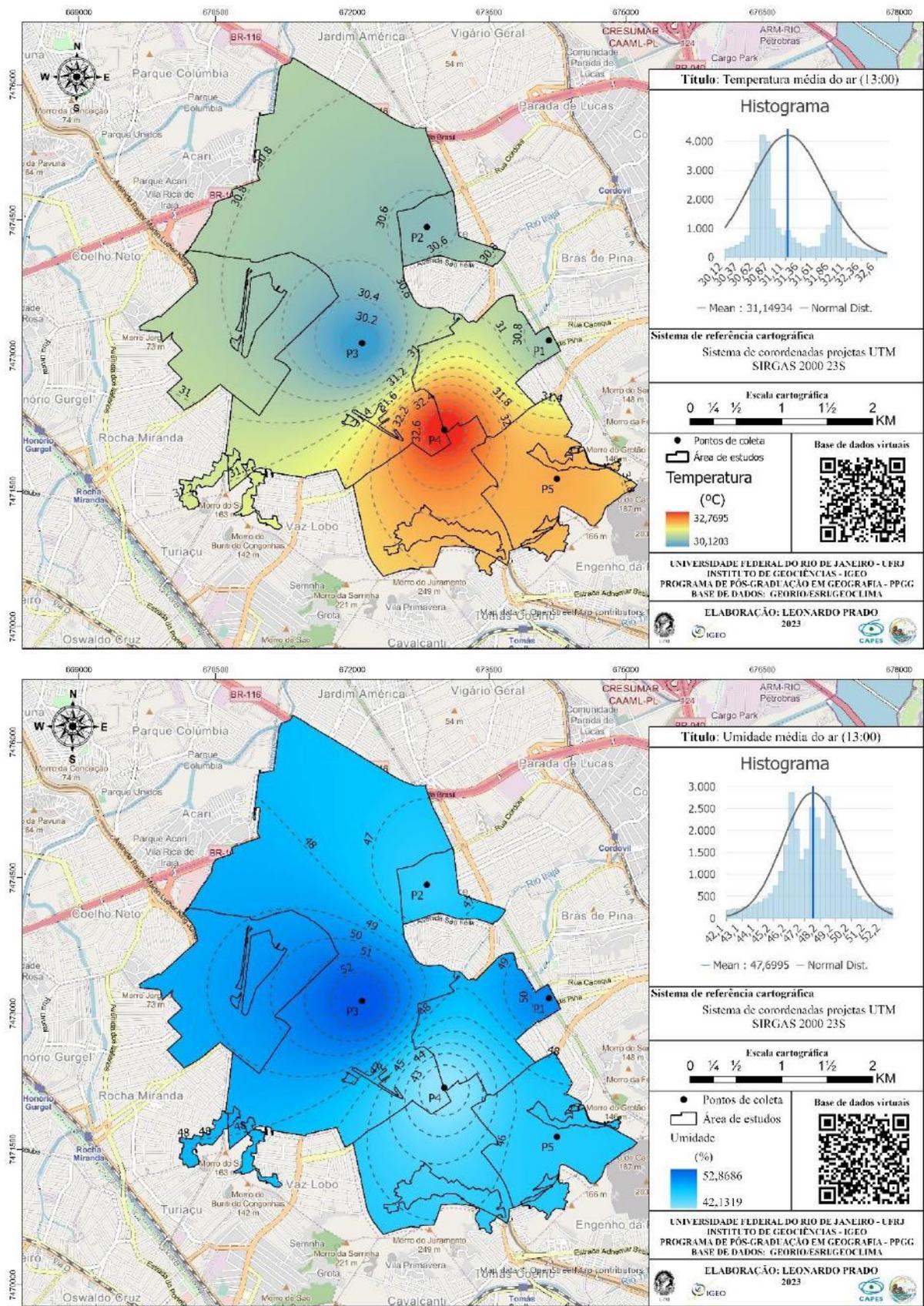


Figura 33 - Campo térmico e higrométrico - 13h



Às 17h, foi possível identificar o deslocamento do ponto mais quente, agora situado no ponto P5. Ressalta-se que este ponto também começou a ampliar seu aquecimento no horário das 13h. Como uma causa, é possível refletir sobre a localização em que o ponto de coleta foi fixado (proximidades de edificações e telhas). As propriedades térmicas desses materiais apresentam características que potencialmente influenciariam para viabilizar tal ponto como o mais aquecido.

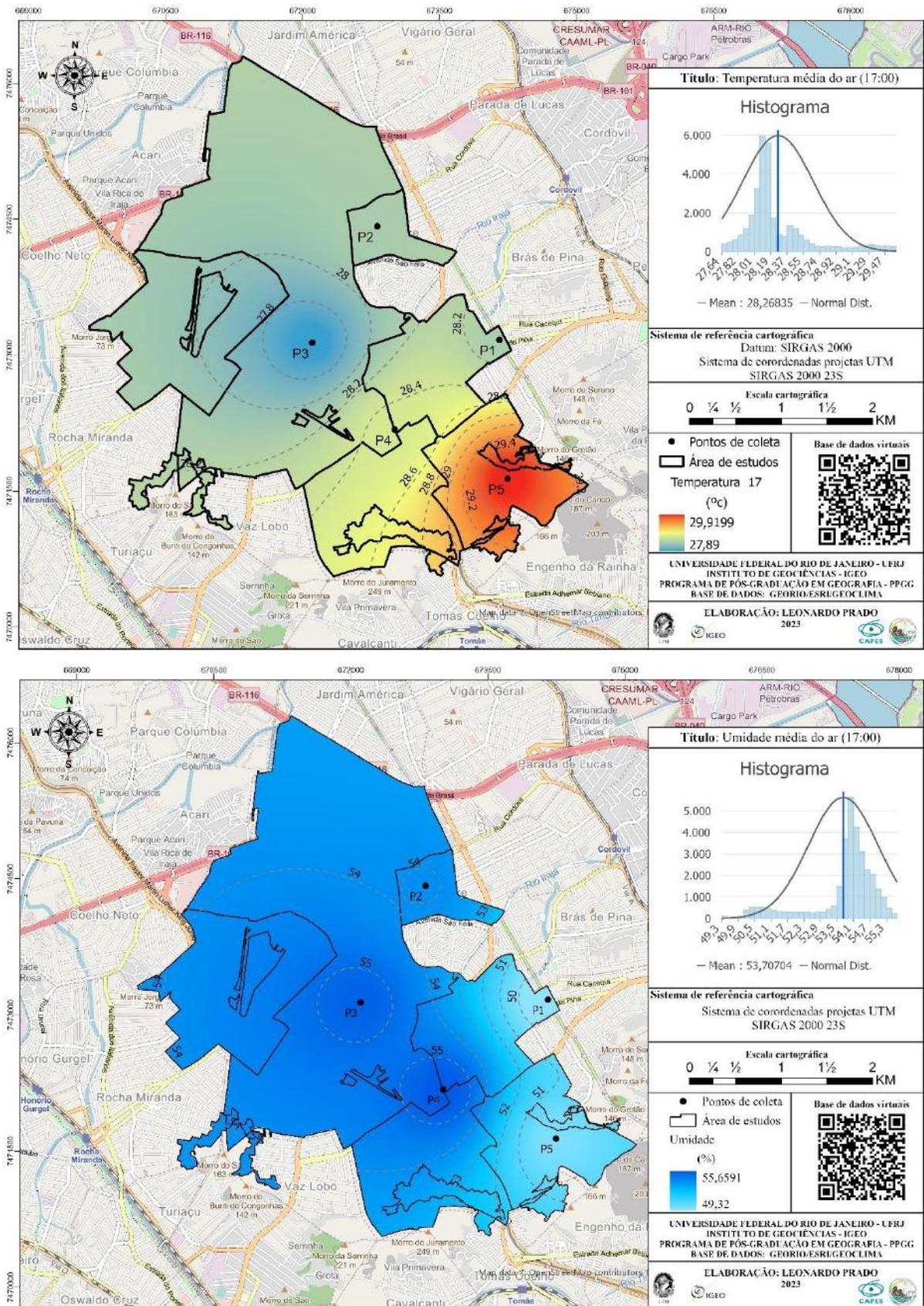
No entanto, os pontos P4 e P1 também estão sob influência direta de materiais construtivos, e registraram temperaturas mais baixas do que o ponto P5. É possível observar que toda a porção sudeste da área de estudos se encontra mais aquecida. Fatores como a orientação de vertentes, hipsometria e cobertura da terra da área em geral podem se apresentar como fatores explicativos.

O ponto P5 está localizado em uma vertente orientada a norte, o que favorece seu aquecimento (FIALHO, 2002). Outro aspecto potencialmente explicativo para esse aquecimento é o fato de, durante o fim da tarde, se intensificar o fluxo de pessoas e veículos automotores em uma das principais vias expressas situadas na área de estudos, que é a Avenida Vicente de Carvalho.

Essa hipótese se torna ainda mais consistente ao observar que, durante o mesmo horário, o ponto P1 aparece pela primeira vez entre os mais aquecidos. Ele está localizado nas imediações da Rua Ápia, a terceira principal via de acesso a área.

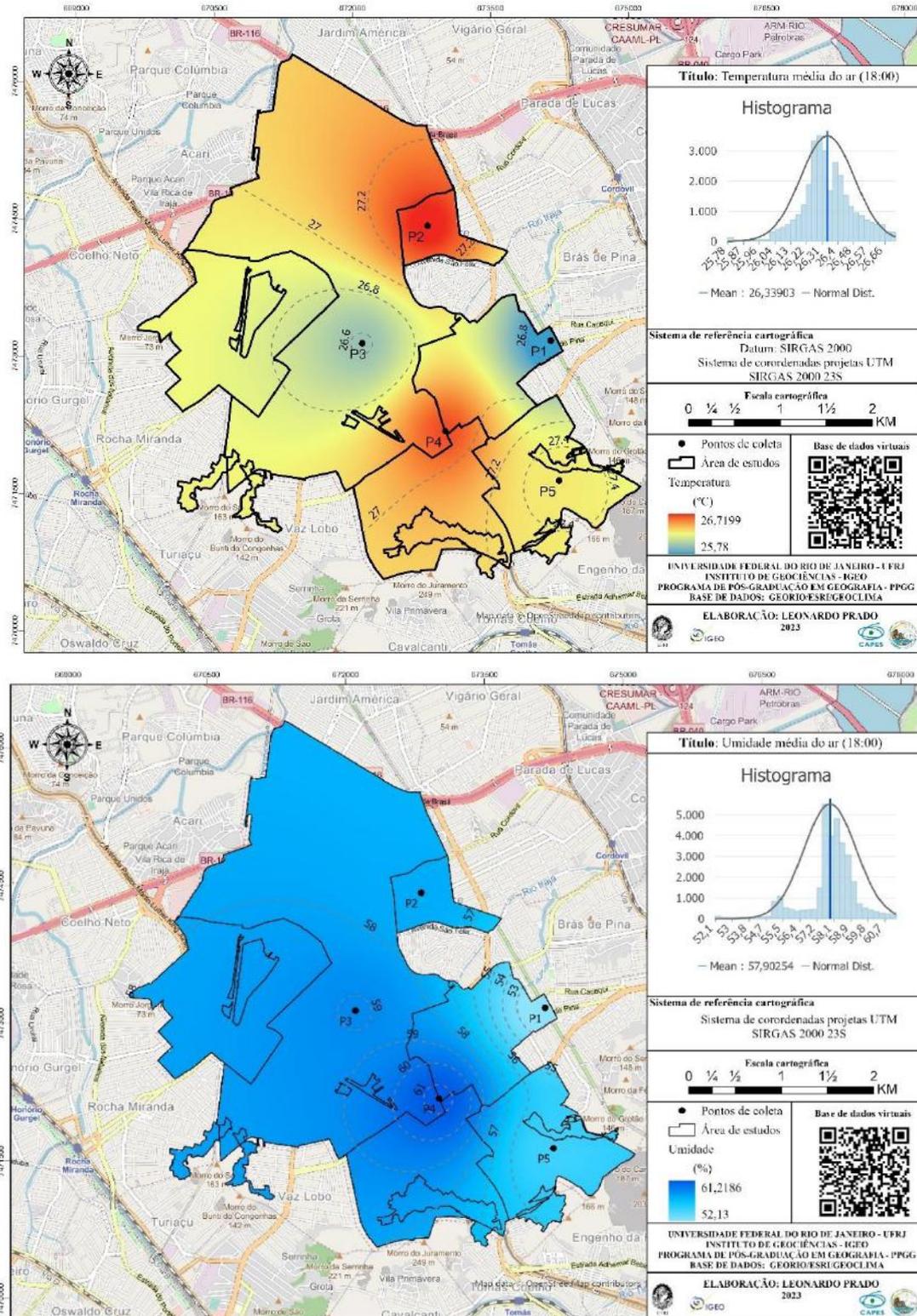
A umidade relativa do ar neste horário se configurou de modo similar à temperatura quanto a sua distribuição. Os pontos P5 e P1 registraram valores menores de umidade do ar, marcando a porção sudeste da área como mais seca. O histograma da umidade destaca que, em relação à totalidade da área de estudos, há uma concentração da umidade superior a 50%, valor superior à média para o mesmo período, evidenciando o caráter localizado dos baixos valores de umidade (**Fig. 34**).

Figura 34 - Campo térmico e higrométrico - 17h



No horário das 18h, o ponto P4 retornou a um dos pontos mais aquecidos da área de estudos, contudo, chama-se a atenção para o ponto P2 que alavanca a temperatura média das 18 horas para 26,75°C.

Figura 35 - Campo térmico e higrométrico - 18h

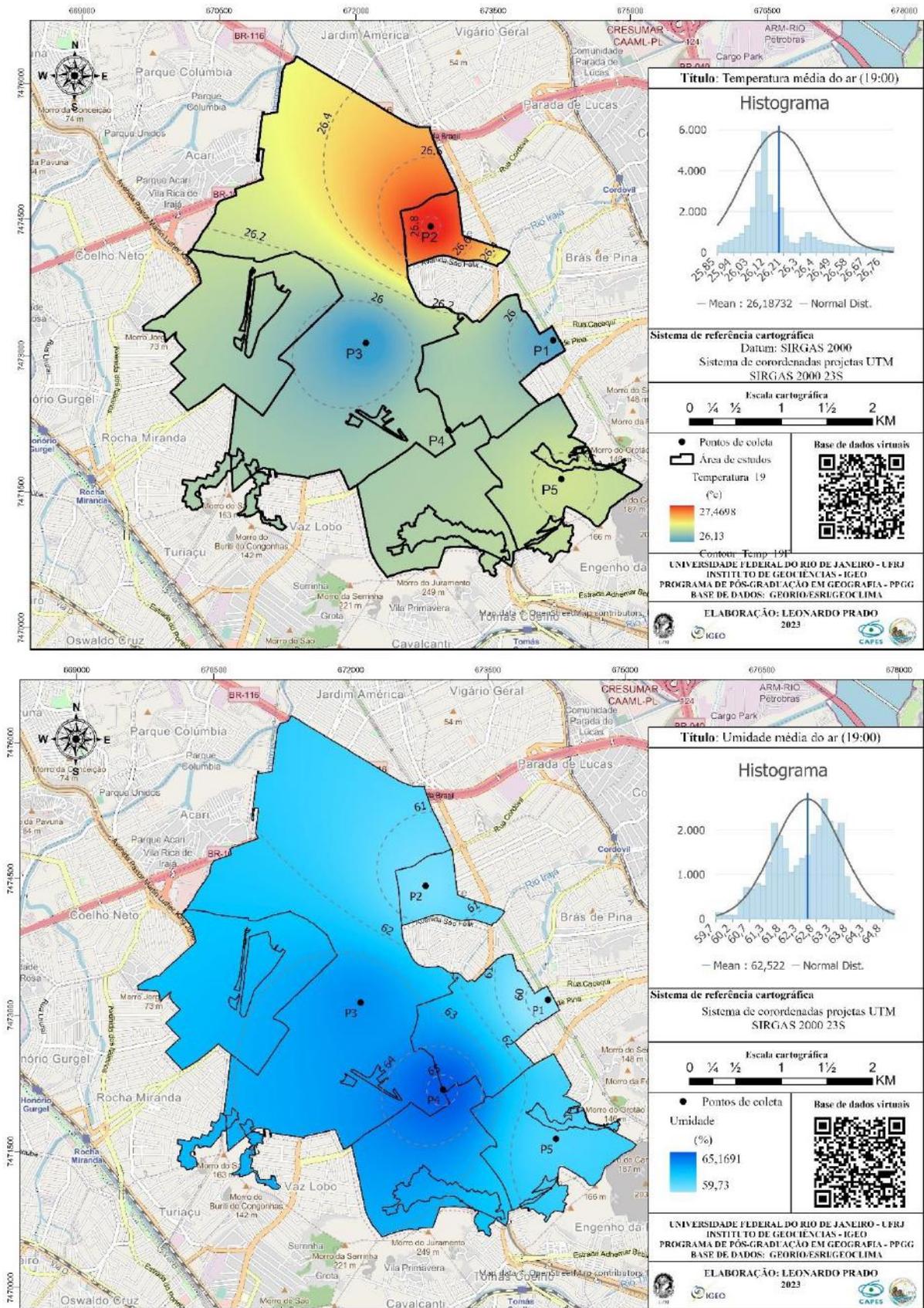


A umidade relativa do ar registrada às 18h apresentou distribuição espacial semelhante ao padrão encontrado às 17h, com os pontos P1 e P5 como os mais secos da área. Destaca-se que o ponto P4, ainda que não tenha sido o ponto de menor temperatura, registrou a maior média de umidade para o horário das 18h.

Último horário analisado, as 19h, marcou tendência similar ao padrão espacial das 18h. O ponto P2 novamente registrou os maiores valores de temperatura, ainda que a diferença entre os núcleos de calor e frescor tenham sido de somente 1°C, aproximadamente. Chama a atenção o fato de a área do entorno do ponto P5 se apresentar como uma porção ainda aquecida (**Fig. 36**).

O ponto P1 se apresentou como uma área mais aquecida apenas as 17h, fortalecendo a hipótese relacionada a questão do fluxo e do congestionamento provocada pelas dinâmicas socioespaciais presentes na região ao seu entorno. Nos horários anteriores e posteriores, essa característica não foi encontrada neste ponto.

Figura 36 - Campo térmico e higrométrico - 19h



Quanto à umidade, seu padrão espacial se alterou em relação aos horários anteriores. Primeiro, o ponto P3 e P4 registraram valores superiores a 63% de umidade, mesmo que suas temperaturas sejam relativamente diferentes entre si. Em segundo, os pontos P1, P2 e P3 estavam sob condições diferentes tanto de temperatura quanto geograficamente, mas sua umidade se manteve próxima aos 60%.

4.4. UC-AnMap

Caracterizadas a capacidade térmica e o potencial dinâmico, bem como analisado o campo térmico e higrométrico intraurbano da área de estudos, foi então possível gerar o *Urban Climatic Analysis Map*, *UC-AnMap* (**Fig. 37**). Com a integração de todas as camadas e dos valores calculados por meio do *input* de cada classe, foi possível avaliar como cada uma delas possui potencial influência na biometeorologia humana, através da parametrização com a escala de ASHRAE e adaptado ao índice TE proposto por Gonçalves e Maia (2002).

Foram encontradas 7 (sete) classes climáticas urbanas, em uma escala que varia de 1 (carga térmica negativa e bom potencial dinâmico) a 7 (carga térmica alta e baixo potencial dinâmico).

Figura 37 - Estrutura do Uc-AnMap do subúrbio de Irajá

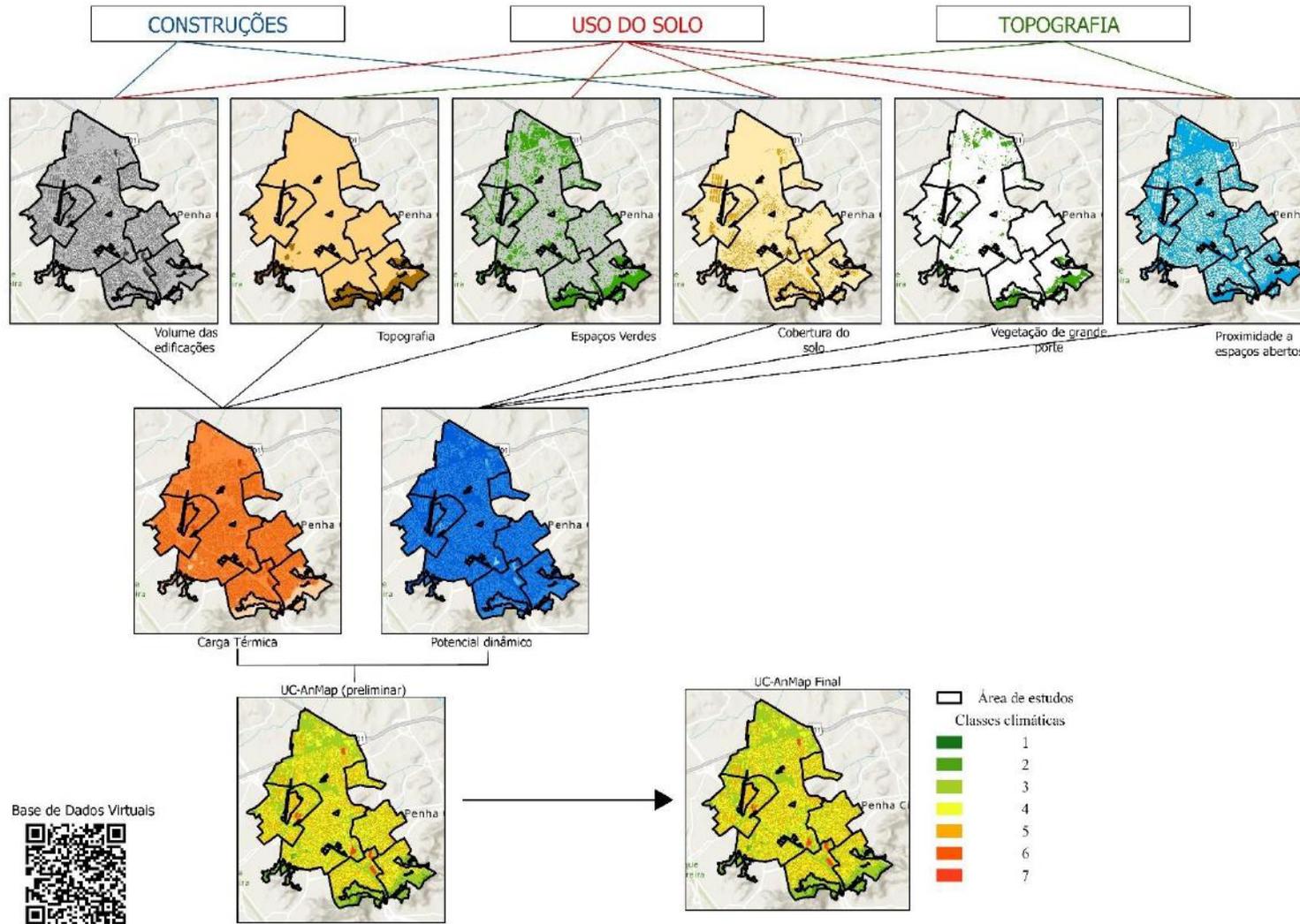
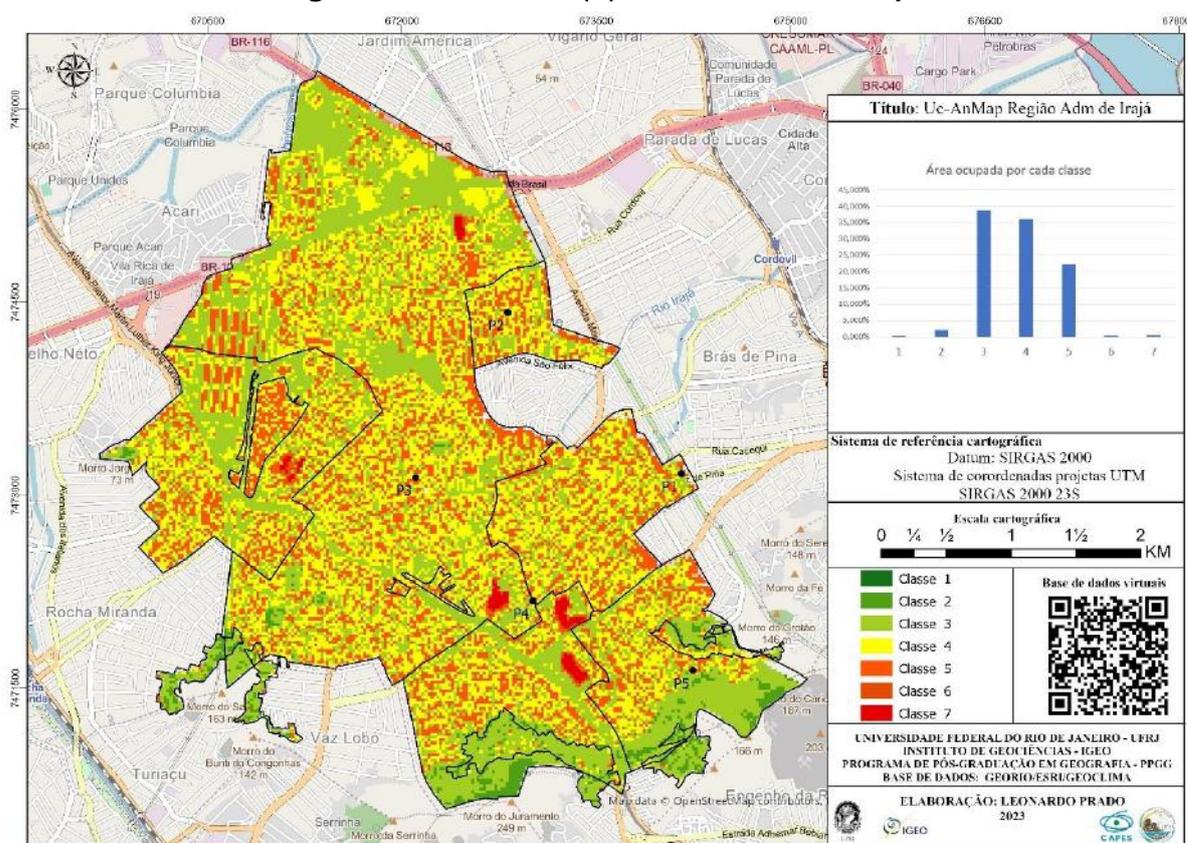


Figura 38 - UC - AnMap para o subúrbio de Irajá



A classe 1 tende a sintetizar características urbanas que potencialmente favorecem a circulação atmosférica intraurbana. Nesse sentido, sua influência no conforto térmico é positiva e deve ser preservada (**Fig. 38**).

A classe 2 possui a capacidade térmica negativa e bom potencial dinâmico. Essa classe compreende áreas que usualmente apresentam vegetação e que, no caso da área de estudos, porções que estão contidas em encostas e topos de morro. O resfriamento através da evapotranspiração e dos ventos catabáticos fortalecem a importância dessas áreas. Ng et al. (2008) avaliam que essas áreas são fontes de ar frio e fresco.

A classe 3 possui ainda baixa capacidade térmica negativa, mas com bom potencial dinâmico. Essas áreas costumam apresentar sua geometria urbana mais espaçada (distância entre edificações), com baixa densidade de cobertura do solo, pouca verticalização e maior proximidade a espaços abertos. Ashie (2015) avalia que esta classe é a predominante em áreas suburbanas em países orientais, fato este que se consolidou no subúrbio do Rio de Janeiro (**Fig. 38**).

A classe 4 foi caracterizada por edificações de baixo a médio volume, com moderado espaçamento entre as construções. O efeito dessas características para a

capacidade térmica ainda é relativamente satisfatório, e potencialmente percebido de maneira mais contundente pelos indivíduos expostos.

A classe 5 é marcada pelo volume de edificações médio, com menor espaçamento entre as construções e moderada capacidade térmica associada ao pouco potencial dinâmico. Tais aspectos favorecem a concentração de calor urbano. Esta classe se mostrou bastante dispersa na área de estudos e predominante no bairro de Irajá.

A classe 6 consiste em volumes de edifícios médios a altos localizados usualmente em áreas planas ou rebaixadas com baixa vegetação. O resultado desta combinação são áreas propícias a temperaturas mais elevadas principalmente pela capacidade térmica positiva e baixo potencial dinâmico. Em geral, esta classe aparece muito próxima à sétima classe no caso da área de estudo, muito por conta das características de uso da terra.

A última classe presente na área de estudos (classe 7) é configurada por possuir alta capacidade térmica positiva e baixo potencial dinâmico. Essas propriedades são encontradas por conta da presença de volumes de edifícios elevados, com baixa vegetação e áreas de grande circulação (áreas comerciais).

De acordo com Ng et al. (2008), cada uma dessas classes apresenta um potencial influência no conforto térmico humano justamente pela combinação entre as duas camadas-síntese geo-ambientais (carga térmica e potencial dinâmico). No **Quadro 14** a seguir, a síntese dessa relação pode ser observada.

Quadro 14 - Classes do UC - AnMap em relação ao Índice de Temperatura Efetiva (TE)

Classe	Classes urbanas	Valor de influência no índice TE	Impacto no conforto térmico
1	Carga térmica moderadamente negativa e bom potencial dinâmico	-2	Resfriamento moderado
2	Carga térmica ligeiramente negativa e bom potencial dinâmico	-1	Ligeiramente resfriado
3	Baixa carga térmica e bom potencial dinâmico	0	Neutro
4	Alguma carga térmica e algum potencial dinâmico	+1	Ligeiramente aquecido
5	Carga térmica moderada e algum potencial dinâmico	+2	Aquecimento moderado
6	Carga térmica moderadamente alta e baixo potencial dinâmico	+3	Aquecimento moderadamente forte
7	Carga térmica alta e baixo potencial dinâmico	+4	Aquecimento forte

Fonte: Ng et al. (2008)

Ainda que a área suburbana de Irajá apresente características típicas de um subúrbio antigo (p.ex. baixa verticalização, atividades comerciais pontuais, distância significativa entre edificações, presença de terrenos vazios e algumas áreas com cobertura vegetal baixa e cobertura vegetal densa esparsa), a identificação de classes que contribuem potencialmente para situações de desconforto ao calor são significativas. Do total do território do subúrbio do Irajá, aproximadamente 38% se configuraram como áreas ligeiramente quentes; aproximadamente 22,5% apresentam-se como áreas com aquecimento moderado, seguindo de pouco mais de 1% de aquecimento moderadamente forte, e 1,5% de aquecimento forte.

Quanto à classe 5 (aquecimento moderado), em termos de uso do solo, a predominância de áreas residenciais indica que o entorno das residências é marcado por condições potenciais de desconforto térmico ao calor. O baixo potencial dinâmico (circulação) contribuiu de modo expressivo para a obtenção desses valores.

No caso da classe 6 (áreas de aquecimento moderadamente forte) e da classe 7 (aquecimento forte), o uso misto entre residencial e comercial marca essas áreas. A presença de superfícies comerciais como shoppings centers, lojas e demais estabelecimentos, com elevada verticalização, proximidade com outras edificações e circulação intensa de pessoas e veículos, faz com que a área próxima ao ponto P4 seja marcada por situação de potencial desconforto ao calor.

Capítulo 5 - Análise Geográfica do Clima

No capítulo anterior houve a tentativa de caracterizar o comportamento termohigrométrico e sua espacialidade em diversos recortes tempo-espaciais que fossem capazes de qualificar a temperatura e a umidade da área de estudos. Neste capítulo a ênfase incide sobre a reflexão de como e quem são os principais agente sociais que estariam expostos ao estresse térmico em ambiente externo, por considerar que atuar a céu aberto em condições térmicas insalubres compromete a saúde e o bem estar desta população MENDES (2019).

Tal qual Fante (2019) ao investigar os eventos extremos de temperatura no conforto térmico humano em Presidente Prudente (SP), parte-se da premissa de que os grupos sociais mais vulneráveis e exposto às intempéries atmosféricas são os menos resilientes e experimentam o clima urbano de maneira contínua e de modo mais agudo, fortalecendo ainda mais a injustiça e o racismo ambiental (HERCULANO, 2006;2008).

Sant'Anna Neto (2001;2011) ao debater sobre os processos que modulam e projetam às pessoas mais vulneráveis os impactos de uma passagem de uma frente fria, expõe que estas teriam uma maior dificuldade de resiliência ao fenômeno uma vez que a inacessibilidade aos aparatos urbanos e a ineficiência do poder público expõe uma classe específica remete à análise de Lefebvre (2011) ao discutir o direito à cidade.

O direito à cidade manifesta-se como movimento norteador para confrontar as contradições do processo de urbanização capitalista de “racionalidade” segregadora que exclui os sujeitos urbanos do acesso à serviços e infraestrutura de qualidade, na análise de Lefebvre (2011, p.34) “o direito à cidade legitima a recusa de se deixar afastar da realidade urbana por uma organização discriminatória, segregadora.” Desta forma, compreender a teoria do espaço socialmente produzido e que os diferentes agentes possuem papéis distintos na dinâmica espacial, principalmente da cidade torna-se a chave para a interlocução dos processos espaciais na cidade Lefebvre (2011).

Compreendendo o Clima suburbano do Rio de Janeiro como insumo da interlocução da apropriação, produção e reprodução da natureza e que diferentes agentes atuam de forma a consolidar o espaço suburbano, a análise geográfica dos elementos do clima associados aos elementos urbanos e os agentes que experienciam este processo torna-se eixo norteador para uma análise complexa do clima urbano.

Com o intuito de caracterizar a temperatura e umidade em horários que o fluxo de deslocamento tende a ser mais intenso, sobretudo quanto à exposição dos grupos sociais que tendem a circular a pé pelos bairros ou mesmo trafegar grandes trechos a pé para acessar transportes coletivos.

Se pensou o campo termohigrométrico modulado a partir dos sensores, associado essencialmente suburbano Kareh (2010), faz-se refletir sobre possíveis apropriações destes diferentes espaços e como a temperatura e a umidade se projetam a partir desta reprodução do espaço Geográfico.

O ponto P2, o que registrou a maior média anual dos aparelhos, está localizado no denominado “Polo Gastronômico de Vista Alegre” a apenas uma quadra de distância da rua que denomina o “Polo”. Os agentes que induzem as diferentes ocupações da área através da mudança dos serviços prestados durante o dia e a noite fortalecem uma dinâmica socioespacial também distinta, uma vez que durante o dia, a região concentra o setor de serviços, normalmente em ambientes internos e climaticamente controlados, não sendo uma área de concentração de trabalhadores informais durante o dia.

O que se inverte durante a noite, quando bares, restaurantes iniciam suas atividades ocupando os espaços externos (ruas e calçadas), aumentando o fluxo de pessoas, automóveis de maneira exponencial, o que pode ser sentido de diferentes formas, através do calor produzido pelo engarrafamento que costuma gerar, pela concentração de pessoas nos bares e até mesmo pela possível poluição sonora devido ao autofalantes na entrada de cada empreendimento.

O segundo ponto mais aquecido, o P4, que está sobre influência direta e indireta de diferentes agentes socioespaciais que tem como conjuntura três elementos que possibilitam a aglomeração e o fluxo de pessoas. Esses fixos produzidos ora pelo estado ora pela iniciativa privada tornam a região uma centralidade aos demais bairros da região.

O primeiro e mais próximo ao ponto de coleta, a estação do metrô de Vicente de Carvalho é capaz de deflagrar uma área de potencial aglomeração e fluxo de pessoas uma vez que é um dos principais meios de transporte do Rio de Janeiro e conecta o subúrbio às áreas centrais da cidade, associado ao metrô, as estações Vila Kosmos e Vicente de Carvalho do BRT localizadas a menos de 500 metros do mesmo, potencializa o fluxo de pessoas na região.

Associado aos dois fixos citados, o Shopping Center tem representado uma centralidade e espaços privados sociabilidade e lazer cada vez mais presente e recorrente no dia a dia da população (GENEROSO, 2012). O principal Shopping Center da região administrativa de Irajá, O Shopping Carioca, por ser um polo de atração de pessoas das mais variadas faixas etárias e situações socioeconômicas.

Essa centralidade do shopping center, associado aos principais meios de transporte que conectam o subúrbio do Rio de Janeiro ao Centro/Zona Sul (Metrô) e as demais áreas do subúrbio e Zona Oeste (BRT), propicia um comércio informal ao entorno destes empreendimentos que exercem sua atividade laboral sob uma condição de exposição ao desconforto de forma contínua.

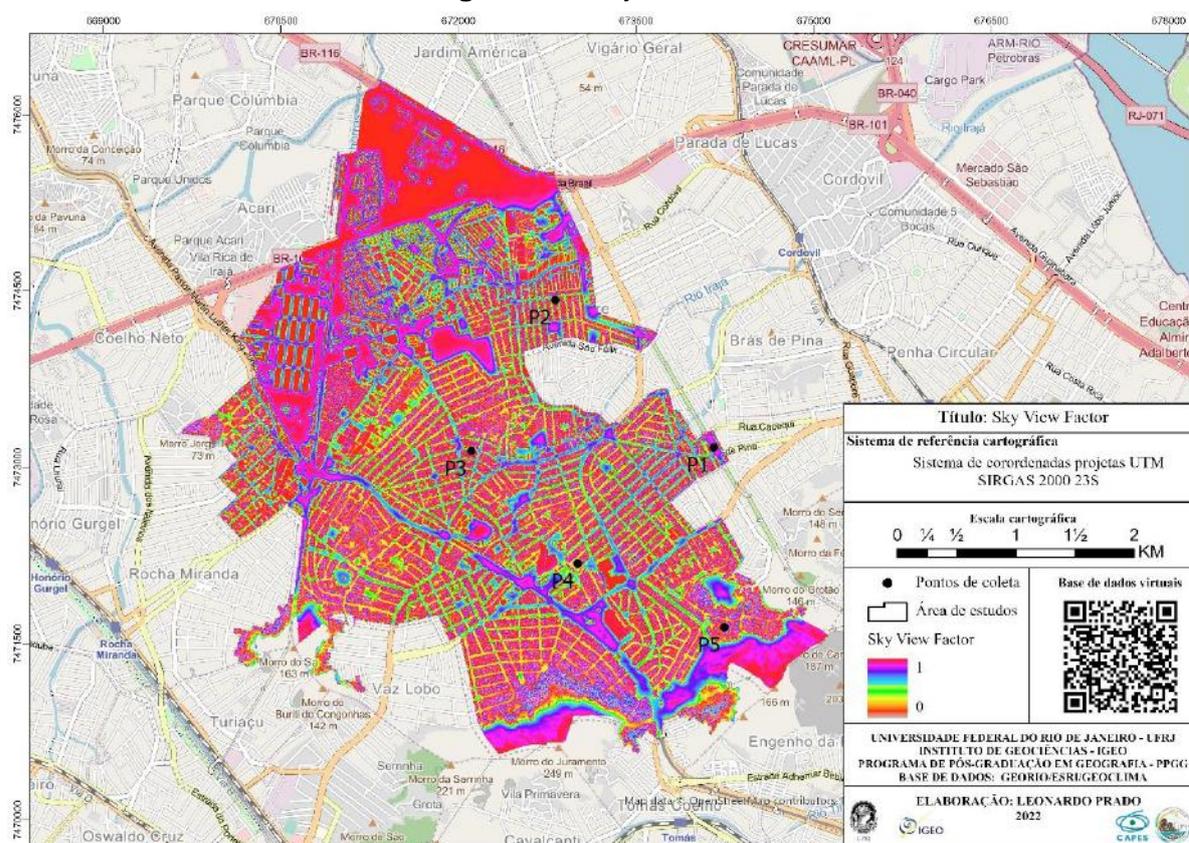
Reflexe sobre a associação da jornada destes trabalhadores informais estaria associada ao fluxo de pessoas por diferentes fatores de atração e a pessoas transientes, desta maneira, o tempo de exposição às intempéries meteorológicas acabam se expandindo, uma vez que esta jornada de trabalho pode atingir de dez a doze horas por dia.

A alta temperatura mensurada na região associada a uma das principais áreas de potencial desconforto térmico em virtude da alta capacidade térmica produzida pelo volume construtivo do Shopping Carioca pode ser visto como uma armadilha climática uma vez que a população ao seu entorno aqui marcada essencialmente pelos trabalhadores informais estão expostos continuamente aos intempéries atmosféricos, reforçasse que Mendes (2019) ao estudar as ondas de calor no Rio de Janeiro conclui que a região de Irajá representa uma das principais áreas sobre o efeito de tal fenômeno.

Ao analisar os dados sazonalmente e mensalmente fica evidente que os materiais construtivos mais também a forma urbana influencia diretamente nos dados assim como sua espacialidade na perpetuação das temperaturas mais elevadas entre os pontos P1 e P4, sendo ampliado este último nos meses de janeiro, maio, junho, julho e agosto.

Compreendendo que estes trabalhadores informais estarão exercendo sua atividade laboral sempre que há condições atmosféricas favoráveis, isto é, quando não estiver ocorrendo precipitação pluviométrica, torna-se necessário trazer à tona um dos elementos que favorecem a análise que é o Sky View Factor (SVF), uma vez que na análise de Moreira et al (2021) dentre os fatores urbanos estão os componentes da paisagem, os estudos destas propriedades e seus componentes podem indicar a qualidade ambiental sobre uma população.

Figura 39 - Sky View Factor



O mapa do Sky View Factor (**Fig.39**) aponta que a região próxima ao Shopping center onde há a aglomeração de vendedores informais, é uma região onde a proporção entre abóbada celeste visível e rua ficam entre 50% e 75% favorecendo a incidência de radiação solar direta nestas áreas, ao relacionar com o tempo de exposição médio de doze horas contínuas nesses espaços a vulnerabilidade destes trabalhadores tende a aumentar ainda mais, sendo necessário diversos mecanismos corpóreos para regular a temperatura interna do corpo destes indivíduos.

Assim como apontado por Mendes (2019), a subalternidade, as desigualdades, as injustiças ambientais e sociais marcam o cotidiano destes trabalhadores e

tensionam ao fator de risco aqui considerado pela exposição aos elementos do clima e do próprio clima urbano.

Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender o clima urbano como conjunto de fenômenos geográficos impõe um conjunto de desafios, sobretudo na sua investigação em cidades metropolitanas. A heterogeneidade no uso e cobertura da terra marcadas pela desigualdade socioeconômica característica de países com herança do colonialismo, faz emergir complexidades para a sua compreensão.

No caso específico do Rio de Janeiro, a sua herança histórica também evidenciou seu caráter profundamente geográfico ao demonstrar uma das suas maiores características sob o ponto de vista urbano: o binômio cidade - subúrbio, que marca a cidade do Rio de Janeiro como segregada, e também fragmentada. Assim, as características de uso e cobertura, associadas a um relevo de caráter complexo faz com que o clima urbano não se apresente como um conjunto de fenômenos de fácil compreensão. O calor intraurbano, principalmente quando associado ao conforto térmico, é uma dessas variáveis. Dentro desse contexto, essa dissertação teve como objetivo analisar as áreas de potencial desconforto térmico em ambientes externos no subúrbio do Rio de Janeiro. Para tanto, foi utilizado o recurso metodológico dos *Urban Climate Maps - UC-Maps*, pelo seu caráter de síntese de distintas variáveis geoambientais na construção de climatópos que potencialmente apresentam condições de influenciar no conforto térmico humano.

Para atingir esse objetivo, um dos primeiros desafios estabelecidos para o entendimento dessa relação entre calor suburbano e conforto térmico diz respeito a **caracterização geoambiental intraurbana** da área de estudos. A predominância de vertentes orientadas para o quadrante Norte, associadas a baixa altitude, baixa verticalização, cobertura vegetal gramínea e arbórea rarefeitas, evidenciam não apenas elementos importantes sob o ponto de vista da sua influência no balanço de energia intraurbano. Antes, essas variáveis indicam o conjunto de processos históricos de construção dos subúrbios, sobretudo do subúrbio de Irajá, marcado pela transição de uma área predominantemente rural para uso industrial e, posteriormente, uso misto entre comercial e residencial (século XX).

Em relação à **caracterização do campo térmico e higrométrico intraurbano**, identificou-se que as áreas de temperaturas mais elevadas sob o ponto de vista interanual apresentaram variação se analisadas sob o aspecto sazonal, mensal e sobretudo, horário. A dinâmica diária do balanço de radiação, associada as

características de uso e cobertura da terra, bem como indicadores geoambientais, permitiram identificar o papel preponderante dessa combinação de variáveis. Os pontos de maior proximidade com as áreas comerciais que polarizam maior fluxo de pessoas e veículos não se apresentaram como as mais aquecidas em âmbito anual. No entanto, o ponto de maior proximidade com a principal via expressa, apresentou temperaturas elevadas sob o ponto de vista anual. Assim, as características de uso mas, sobretudo, de cobertura influenciaram significativamente na distribuição espacial e temporal das temperaturas.

Finalmente, foram **identificadas as áreas de potencial desconforto térmico** por meio da técnica do UC-AnMap. Parte significativa da área suburbana de Irajá encontra-se potencialmente afetada pela elevada carga térmica e baixa capacidade dinâmica. Em outras palavras, a maior parte do território suburbano de Irajá é marcado pela presença de áreas que tendem a dificultar a dissipação do calor intraurbano, favorecendo a ocorrência de enclaves de calor.

Apesar de não realizada neste trabalho, reitera-se a importância não apenas da realização do Mapa de Recomendações Climáticas Urbanas (UC - ReMap), bem como recomenda-se o aprofundamento das investigações que associem os mapeamentos de síntese de clima urbano e os índices de conforto térmico. Num contexto de emergência climática, é fundamental a combinação de diferentes variáveis e ferramentas na geração de subsídios para planos de mitigação e adaptação ao calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. A. **Evolução urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IPP, 1992

ALVES, R. S. et al. Alternativa metodológica para obtenção de dados primários em campo na pesquisa climatológica ao longo do perfil topográfico Ponte Nova Ubá, Zona da Mata Mineira.. In: **Simpósio de Integração Acadêmica - SIA/UFV**, 2013, Viçosa-MG. Simpósio de Integração Acadêmica - SIA/UFV, 2013.

ARMOND, N. B. **Entre eventos e episódios: as excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.

ARMOND, N. B. Sobre formas e processos na gênese das chuvas no município do Rio de Janeiro. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. C. T.; SILVA, C. A. (orgs). **Clima e gestão do território**. Jundiaí: Paco, 2016.

ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidades para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, 20(13), 5 - 28, 2017.

ARNFIELD, A. J. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. **Physical Geography**,3(2), 97-122, 1982.

AUCIEMES, A. ; SZOKOLAY, S. V. **Thermal comfort**. sl: PLEA, 1997.

ASHIE, Y. et al. Urban climatic map studies in Japan: Tokyo and Yokohama. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espaço**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BAUMULLER, J. A summary of key methodologies. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

BAUMULLER, J. Implementation of climatic aspects in urban development: the example Stuttgart. **Proceedings of Urban Climate Urban Greenery**. Hong Kong, 2006.

BRANDÃO, A. M. P. M. A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro: configurações em situações sinóticas contrastantes. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATTINI, J. A. (orgs). **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. Maringá: Editora da UEM, 2000.

BRANDÃO, A. M. P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (orgs). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

BURSE, R. L. Sex differences in human thermoregulatory response to heat and cold stress. **Human Factors**, 21(6), 687-699, 1979.

CHAKRABORTY, T.; HSU, A.; MANYA, D. et al. Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods: a multi-city perspective. **Environment Research Letters**, 14, 105003, 2019.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. Hutchinson ; Co, 1965.

CHANGNON, S. A. Inadvertent weather modification in urban areas: lessons from global climate change. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 73(5): 619 - 627, 1992.

CHANGNON, S. A. Assessment of historical thunderstorm data for urban effects: the Chicago case. **Climatic Change**, 49, 161 - 169, 2001.

CHANGNON, S. A. Urban modification of freezing-rain events. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 42(6): 863 - 870, 2003.

COFFEL, E. D. et al. Temperature and humidity based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. **Environment Research Letters**, 13, 014001, 2017.

COSTA, A. J. S. T. et al. As enchentes urbanas e o crescimento da cidade do Rio de Janeiro: estudos em direção a uma cartografia das enchentes urbanas. **GeoUERJ**, 32, p. e25685, 2018,

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Procedimento de aferição de termômetros para atividades de campo em climatologia geográfica. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 6, 2002.

DE DEAR, R. J. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**, 14(Suppl. 7): 32 - 39, 2004.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. M.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24(1): 24-38, 2009.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: a review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14: 2626-2640, 2010.

DZYUBAN, Y. et al. Outdoor thermal comfort research in transient conditions: a narrative literature review. **Landscape and Urban Planning**, 226: 104496, 2022.

ENESCU, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 79: 1353 - 1379, 2017.

ENGELS, F. **Sobre a questão da moradia**. São Paulo: Boitempo, 2015.

EVELYN, J.. **Fumifugium: Or, the inconvenience of the aer and smoake of London dissipated. Together with some remedies humbly proposed**. Organization ; Environment, 12(2), 187-194, 1999 (Original work published in 1661).

FANG, Y. et al. National assessment of climate resources for tourism seasonality in China using the tourism climate index. **Atmosphere**, v. 6, n. 2, p. 183-194, 2015.

FANGER, P. O. Assessment of Man's Thermal Comfort in practice. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 30/4: 313:324, 1973.

FANGER, P. O. et al. Thermal comfort conditions in the morning and in the evening. **International Journal of Biometeorology**, 18(1): 16-22, 1974.

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**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2019.

FARIAS, H. S.; BRANDÃO, A. M. P. M. A influência antrópica na evolução semanal da temperatura no bairro do Maracanã - RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, 7: 23-36, 2010.

FERNANDES, N. N. **O rapto ideológico da categoria subúrbio**. Rio de Janeiro: Apicuri, 2009.

FERREIRA, M. F.; SILVA, C. G. Baixada de Irajá: espacialidades da Freguesia Nossa Senhora da Apresentação de Irajá. **Revista Convergência Crítica**, 14, 2018.

FIALHO, E. S. **Análise têmporo-espacial do campo térmico na Ilha do Governador/RJ em episódios de verão e inverno**. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FRAGOSO, J. Efigênia Angola, Francisca Muniz forra parda, seus parceiros e senhores: freguesias rurais do Rio de Janeiro, século XVIII. Uma contribuição metodológica para a história colonial. **Revista de História Topoi**, 21(11), 2010.

FRIDMAN, F. **Donos do Rio em nome do Rei**: uma história fundiária do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Garamond, 1999.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5a edição, Studio Nobel, São Paulo, 2001.

FOSTER, J. B.. Introduction to John Evelyn's Fumifugium. **Organization ; Environment**, 12(2), 184-186, 1999. <https://doi.org/10.1177/1086026699122003>

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de Textos, 2011.

GOBO, J. P. A. **Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico humano**. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo, 2013.

GOBO, J. P. et al. Avaliação da percepção climática de homens e mulheres e do conforto térmico em Santa Maria-RS. **Boletim Paulista de Geografia**, (96), 31-50, 2017.

GOBO, J. P. et al. Empirical model of thermal comfort for medium-sized cities in subtropical climate. **Atmosphere**, 10: 1-18, 2019.

GOBO, J. P. et al. Modelos bioclimáticos de verão e inverno para cidade média em clima subtropical. **Revista Brasileira de Climatologia**, 26: 89-106, 2020.

GRIMMOND, S. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and Applied Climatology**, 84:3-22, 2006.

HINTZE, J. L.; NELSON, R. D. Violin plots: a box plot-density trace synergism. **The American Statistician**, 52:2, 181-184, 1998.

HOWARD, L. The climate of London. International Association for Urban Climate. pp. 1-221, 2007. http://urban-climate.org/documents/LukeHoward_Climature-of-London-V1.pdf

HSU, A.; SHERIFF, G.; CHAKRABORTY, T. et al. Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. **Nature Communications**, 12, 2021.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers**, 44:5-27, 1976.

HUMPHREYS, M. A.; HANCOCK, M. Do people like feel 'neutral'? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. **Energy and Buildings**, 39: 867-874, 2007.

INDRAGANTI, M; RAO, K. D. Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 3, p. 273-281, 2010.

IZAGA, F.; PEREIRA, M. S. A mobilidade urbana na urbanização das favelas no Rio de Janeiro. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, 4(1), 2014.

IHADUA, I. M. et al. Casos de Brisas Vale/Montanha no Interior Alagoano na Estação do Verão. **Ciência e Natura**, 338-340, 2013.

KAREH, A. C. Quando os subúrbios eram arrabaldes: um passeio pelo Rio de Janeiro e seus arredores no século XIX. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. (orgs). **150 anos de subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

KATZSCHNER, L.; BURGHARDT, R. Urban climatic map studies in Vietnam: Ho Chi Minh City. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

KATZSCHNER, L.; CAMPE, S. Urban climatic map studies in Germany: Frankfurt. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

KATZSCHNER, L.; KUPSKI, S. Urban climatic map studies in Germany: Hesse. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

KEW, S. F. et al. The exceptional summer heat wave in Southern Europe 2017. In: Explaining Extremes of 2017 from a Climate Perspective. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 100 (1), 49 - 53. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0109.1>, 2017.

KUMAR, S. India's heat wave and rains result in massive death toll. **Lancet**, 351, 1998.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. International geophysics series (Vol. 28). Academic Press, 1981.

LAVE, R. et al. Intervenção: Geografia Física Crítica. **Espaço Aberto**, 9(1): 77-94, 2019.

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

LEBLANC, J. et al. Effects of age, sex, and physical fitness on responses to local cooling. **Journal of Applied Physiology**, 44(5), 813-817, 1978.

LIMA, A. O. et al. Extreme rainfall events over Rio de Janeiro state, Brazil: characterization using probability distribution functions and clustering analysis. **Atmospheric Research**, 2020.

LINS, A. J. P. S. Ferrovia e segregação espacial no subúrbio: Quintino Bocaiúva, Rio de Janeiro. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. (orgs). **150 anos do subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

LUCENA, A. J. A ilha de calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LUCENA, A. J. et al. Os espaços de calor da Região Metropolitana e Cidade do Rio de Janeiro. In: Oscar Junior, A. C. S.; Armond, N. B. (orgs). **A Climatologia Geográfica no Rio de Janeiro: reflexões, metodologias e técnicas para uma agenda de pesquisa**. Curitiba: Appris, 2018.

LYRA, G. B. et al. Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 134:955-965, 2018.

MACHADO, F. L. V.; JARDIM, C. H. Indicadores climáticos de degradação ambiental em áreas urbanas: o aglomerado da serra em Belo Horizonte-MG. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. (orgs). **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Dourados: Editora da UFGD, p. 129-144, 2014.

MACIEL, L. A. Outras memórias nos subúrbios cariocas: o direito ao passado. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. (orgs). **150 anos do subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

MEIRELES, V.H.P. **Estudo do fenômeno da ilha de calor urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) usando dados do sensor AVHRR dos satélites NOAA 14 e 18**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

MEIRELES, V. H. P.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Um Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). **Anuário do Instituto de Geociências**, 37(2): 180 -194, 2014.

MELLO, M. P; PETERNELLI, L A. Conhecendo o R. **Uma visão mais que Estatística**. Minas Gerais: Editora UFV, 2013

MELO-MARINS, D.D. et al. Termorregulação e equilíbrio hídrico no exercício físico: aspectos atuais e recomendações. **Revista Brasileira de Ciências do Movimento**, 170-181, 2017.

MENDES, L. P. **Varredoras(es) de rua de Presidente Prudente/SP/BR: uma análise de suas rotinas laborais e de seus climas**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2019.

MENDES, J. V. et al. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro - RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, 133 - 155, 2022.

MIDDEL, A; KRAYENHOFF, E. S. Micrometeorological determinants of pedestrian thermal exposure during record-breaking heat in Tempe, Arizona: Introducing the MaRTy observational platform. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 137-151, 2019.

MIRANDA, V. F. V. V. et al. Urbanization-induced impacts on heat-energy fluxes in tropical South America from 1984 to 2020: the Metropolitan Area of Rio de Janeiro/Brazil. **Building and Environment**, 2016: 109008, 2022.

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

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976.

MORA, C. et al. Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, 7(501), 2017.

NAZARIAN, N.; LEE, J. K. W. Personal assessment of urban heat exposure: a systematic review. **Environmental Research Letters**, 16, 033005, 2021.

NASCIMENTO JUNIOR, L. O clima urbano como risco climático. **GeoUERJ**, 34, 40956, 2019.

NG, E. **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2009.

NG, E. Towards planning and practical understanding of the need for meteorological and climatic information in the design of high-density cities: A case-based study of Hong Kong. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 4, p. 582-598, 2012.

NG, E. et al. Urban climatic map and Standards for wind environment - Feasibility Study- Final Report. Hong Kong University of Science and Technology, 2008.

NG, E. et al. Urban climatic studies for the hot and humid tropical coastal city of Hong Kong. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan, 2009.

NG, E. Urban climatic map studies in China: Hong Kong. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

NIKOLOPOULOU, M. et al. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Solar Energy**, 70(3): 227-235, 2001.

OLESON, K. W. et al. Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. **Climatic Change**, 129: 525-541, 2015.

OLIVEIRA, F. **Crítica à razão dualista. O ornitorrinco**. São Paulo: Boitempo, 2003.

OLIVEIRA, A. C. T.; FERNANDES, N. N. Marechal Hermes e as (des)conhecidas origens da habitação social no Brasil: o paradoxo da vitrine não vista. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. **150 anos do subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, 7(8): 769-779, 1973.

OKE, T. R. Methods in urban climatology. In W. Kirchhofer, A. Ohmura, ; H. Wanner (Eds.), **Applied Climatology**. Geographisches Institut Eidgenossische Technische Hochschule, 1984.

OKE, T. R. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

OLDENBORGH, G. J. et al. Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 21, p. 941 - 960, 2021. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021>

OTTO, F. E. L. et al. Anthropogenic influence on the drivers of the Western Cape drought 2015 - 2017. **Environmental Research Letters**, 13, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9f9>

PEDROZA, M. Transmissão de terras e direitos de propriedade desiguais nas freguesias de Irajá e Campo Grande (Rio de Janeiro, 1740 - 1856). **Revista de História**, 160, 323-362, 2009.

PERES, L. F. et al. The urban heat island. In Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation**, 64: 104-116, 2018.

PHILIP, S.Y. et al. Rapid attribution analysis of the extraordinary heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021. **Earth System Dynamics Discussions**, p. 1 - 34, 2021. <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>.

QUINA, R.R. Influência de sistemas sinóticos na diferença térmica entre campo e cidade, estudo de caso de Viçosa-MG. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, 2015.

RAYMOND, C. et al. The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. **Science Advances**. 6, eaaw1838, 2020.

REBOITA, M. S. et al. Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá-MG. **Ciência e Natura**, 36(1), 61-71, 2014.

REN, C. et al. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, 31(15): 2213-2233, 2011.

REN, C. et al. The application of urban climatic mapping to the urban planning of high-density cities: the case of Kaohsiung, Taiwan. **Cities**, 31:1 - 16, 2013.

REN, C. A review of the historical development of urban climatic map study. In: NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

REZENDE, V. **Planejamento e ideologia**: quatro planos para a Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1982.

RODRIGUEZ, C. M.; D'ALESSANDRO, M. Indoor thermal comfort review: the tropics as the next frontier. **Urban Climate**, 29:1-37, 2019.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 91-107, 2018.

SAILOR, D.J. et al. The growing threat of heat disasters. **Environmental Research Letters**, 14, 054006, 2019.

SAMUELSON, H. et al. Housing as a critical determinant of heat vulnerability and health. **Science of Total Environment**, 720, 137296, 2020.

SANTOS, J. J. M. **De freguesias rurais a subúrbio: Inhaúma e Irajá no município do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em História). Universidade de São Paulo, 1996.

SANTOS, R. F. **Situação atual e perspectivas de desenvolvimento da Área de Planejamento 3 da Cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil**. Tese (Livre Docência em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 7, vol. 8, p. 45-60, 2011.

SARTORI, E. A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces. **Solar Energy**, v. 68, n. 1, p. 77-89, 2000.

SILVA, M. L. P. A favela e o subúrbio: associações e dissociações na expansão suburbana da favela. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. (orgs). **150 anos do subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

SILVA, R. C. R. **Senhores e Possuidores: a construção da propriedade da terra na freguesia de Irajá (Rio de Janeiro, século XIX)**. Dissertação (Mestrado em História). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, R. R. As representações subalternas dos homens suburbanos. In: OLIVEIRA, M. P.; FERNANDES, N. N. (orgs). **150 anos do subúrbio carioca**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

TANAKA, T; MORIYAMA, M. Urban climatic map studies in Japan: Sakai in Osaka. NG, E.; REN, C. (Eds.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning**. New York: Routledge, 2015.

TUHOLSKE, C.; CAYLOR, K.; FUNK, C. et al. Global urban population exposure to extreme heat. **PNAS**, 118(41): e2024792118, 2021.

Van HOOFF, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor Air**, 18: 182 - 201, 2008.

VANOS, J. K., et al. Thermal comfort modelling of body temperature and psychological variations of a human exercising in an outdoor environment. **International Journal of Biometeorology**, 56(1), 21-32, 2012.

VAUTARD, R. et al.. Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. **Environmental Research Letters**, 15, 2020.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba3d4>

VOOGT, J. A.; OKE, T. Thermal remote sensing of climates. **Remote Sensing of Environment**, 86: 370 - 384, 2003.

APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

A técnica do desvio padrão proposto por Danni-Oliveira (2002) aplicada aos dados de temperatura e umidade demonstrou que, em ambiente fechado, a variação dos dados registrados manteve-se abaixo de 1, o que representa uma dispersão baixa dentro do conjunto amostral de cada aparelho (**Tabela 3**).

Visando avaliar o comportamento dos aparelhos de forma horária e compará-los entre si, foi extraído o desvio padrão horário entre os aparelhos ainda em ambiente fechado. Na tabela disponível no drive a partir do link <https://rebrand.ly/Testeemambiente fechado> é possível conferir todo o conjunto de dados, assim como o desvio padrão do aparelho através da sua população.

Tabela 3 - Desvio Padrão horário em ambiente fechado

	HOBO 02	HOBO 11	HOBO 17	HOBO 23	HOBO 27	HOBO 25	HOBO 26	Des. P	Méd. hor.	T. Máx	T.Min
20h	23,20	23,30	23,20	23,30	23,30	23,30	23,30	0,05	23,27	23,30	23,20
21h	23,10	23,10	23,10	23,20	23,10	23,10	23,20	0,05	23,13	23,20	23,10
22h	23,00	23,00	23,00	23,10	23,00	23,00	23,10	0,05	23,03	23,10	23,00
23h	22,90	22,90	22,90	22,90	22,90	22,90	23,00	0,04	22,91	23,00	22,90
00h	22,70	22,80	22,70	22,80	22,80	22,70	22,80	0,05	22,76	22,80	22,70
01h	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	0	22,60	22,60	22,60

A **Tabela 3** é continuação da tabela apresentada no capítulo 4, retratando que os desvios entre os aparelhos permaneceram abaixo de 1, indicando boa estabilidade entre os aparelhos em ambiente fechado, como destacado anteriormente, apenas em um horário (02h) o desvio padrão ultrapassou o 1, em todo o conjunto de 48 horas registradas nesta fase.

A segunda fase de teste dos aparelhos se deu em ambiente aberto e resguardados em abrigos meteorológicos. Os resultados se apresentaram como satisfatórios. No entanto, é importante ressaltar que, nesta etapa, dois aparelhos (HOBO 25 e 27) indicaram falhas de registro, não gravando nenhum dado na memória. Assim, esta etapa se subdividiu novamente em dois momentos: o primeiro, aplicando o teste estatístico nos quatro aparelhos que funcionaram durante o primeiro período.

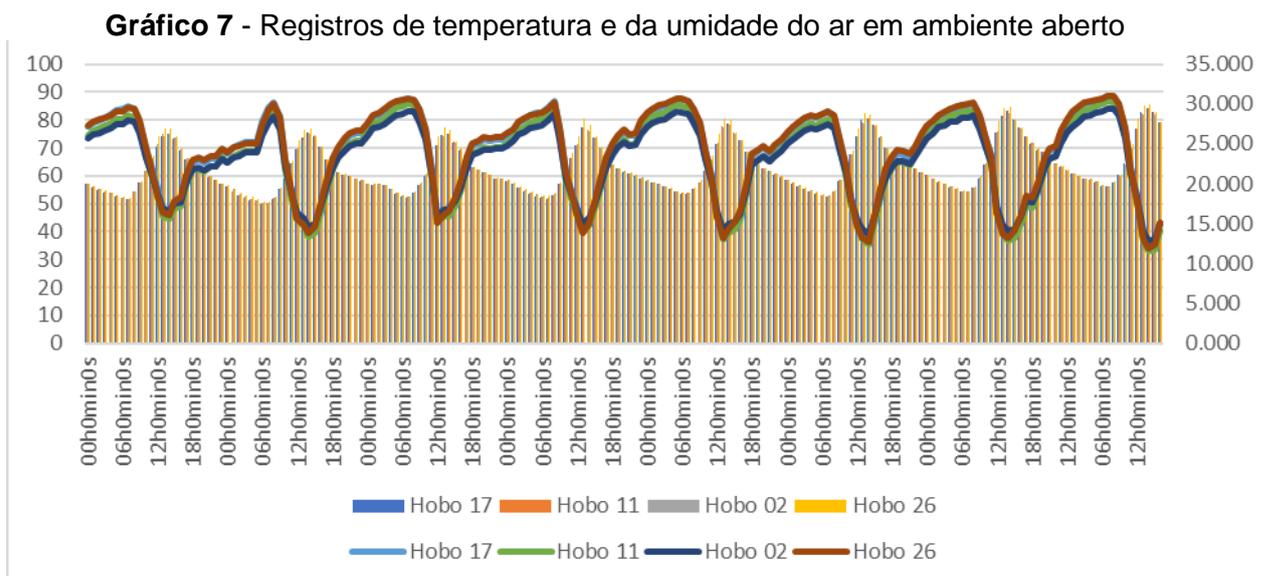
Tabela 4 - Tabela de comportamento da temperatura em ambiente externo

Data	Hora	HOBO 02	HOBO 11	HOBO 17	HOBO 26	Des. P	Méd. hor.	T. Máx	T.Min
02/08/2020	00h0min0s	20,043	20,043	19,948	20,043	0,04	20,01	20,0	19,9
02/08/2020	01h0min0s	19,662	19,662	19,567	19,662	0,04	19,63	19,6	19,6
02/08/2020	02h0min0s	19,377	19,282	19,187	19,377	0,07	19,30	19,3	19,2
02/08/2020	03h0min0s	19,187	18,996	18,901	19,187	0,12	19,06	19,2	18,9
02/08/2020	04h0min0s	18,806	18,806	18,616	18,901	0,08	18,78	18,9	18,6
02/08/2020	05h0min0s	18,521	18,521	18,426	18,616	0,05	18,52	18,6	18,4
02/08/2020	06h0min0s	18,236	18,236	18,045	18,331	0,08	18,21	18,3	18,0
02/08/2020	07h0min0s	18,140	18,140	18,045	18,236	0,04	18,14	18,3	18,0
02/08/2020	08h0min0s	18,996	18,996	18,996	19,092	0,04	19,02	19,0	18,9
02/08/2020	09h0min0s	20,234	20,234	20,234	20,329	0,03	20,25	20,3	20,2
02/08/2020	10h0min0s	21,664	21,569	21,664	21,855	0,08	21,68	21,8	21,6
02/08/2020	11h0min0s	23,196	22,908	23,004	23,581	0,21	23,17	23,5	22,9
02/08/2020	12h0min0s	24,931	24,835	24,738	25,902	0,40	25,10	25,9	24,7
02/08/2020	13h0min0s	26,000	26,195	26,000	26,977	0,34	26,29	26,9	26,0
02/08/2020	14h0min0s	26,195	26,292	26,195	26,977	0,28	26,41	26,9	26,2

O segundo momento desta etapa consistiu em lançar novamente todos os aparelhos a campo após a correção dos problemas com os aparelhos HOBO 25 e 27, para que ambos registrassem o comportamento termo-higrométrico junto aos demais. Como forma de precaução, foi instalado o *Hobo* 23 como um aparelho excedente, com o intuito de, caso um dos aparelhos novamente voltasse a apresentar falhas, o mesmo passaria a ser o aparelho empregado. Além disso, em uma análise inicial, os registros do HOBO 26 indicaram uma superestimativa dos dados de temperatura, apresentando picos destoantes do conjunto (**Tabela 5; Gráfico 7**). Desta maneira, um novo aparelho sobressalente foi fundamental para os testes estatísticos em ambiente externo na segunda etapa.

Tabela 5 - Média dos desvios da temperatura na primeira etapa

Desv.02	Desv.11	Desv.17	Desv.26
0,190462	0,04217	0,084959	-0,16752

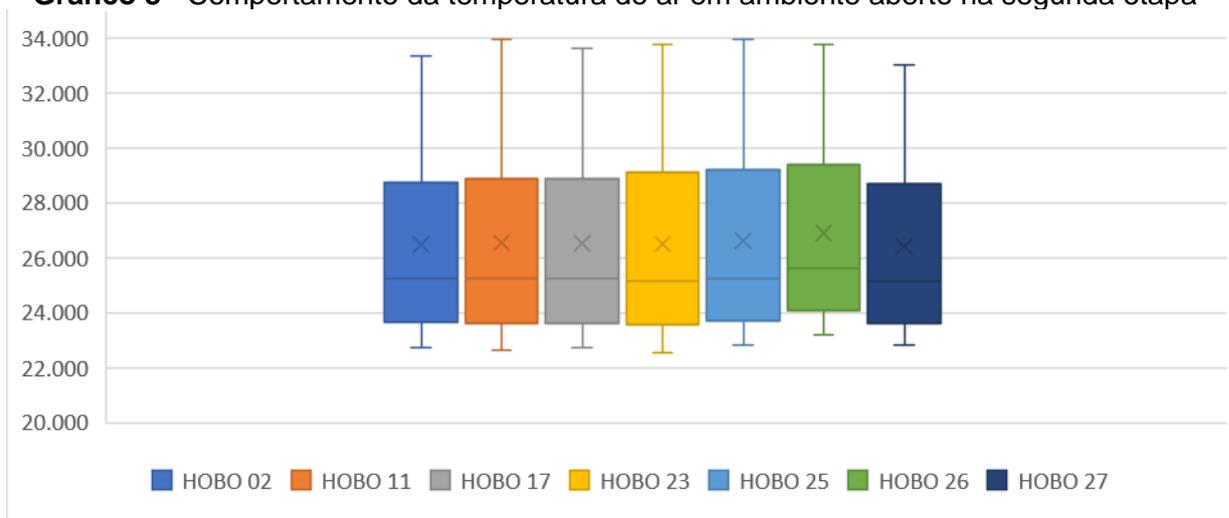


A segunda etapa consistiu em repetir o procedimento inicial, mas em um período inferior, devido principalmente a necessidade de se lançar os aparelhos a campo, assim como a disponibilidade dos moradores onde os aparelhos ficariam instalados. Desta forma, os aparelhos registraram apenas durante o período de 24 horas, do dia 12 ao dia 13 de outubro de 2020.

Pode-se observar novamente que o aparelho 26 registrou valores superestimados, principalmente no período das 12h às 15h (**Tabela 6**).

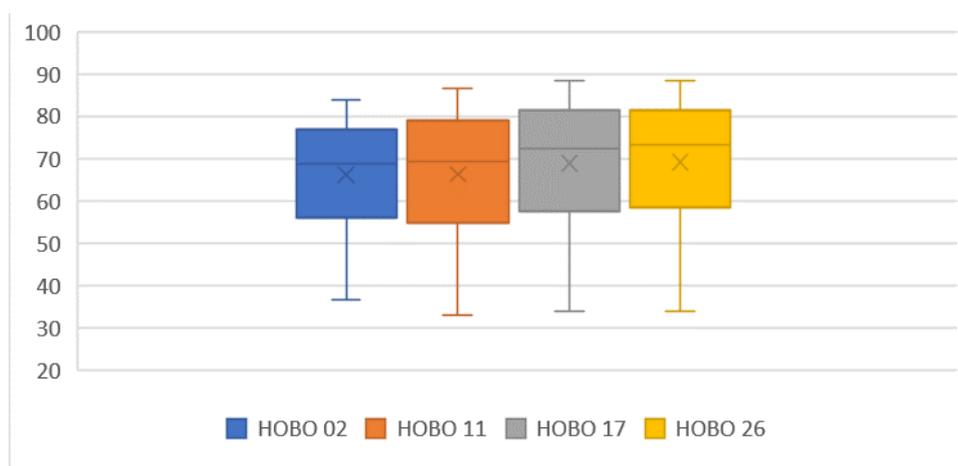
Tabela 6 - Média dos desvios da temperatura na segunda etapa dos testes em ambiente aberto

Desv.02	Desv.11	Desv.17	Desv.23	Dev.27	Desv.25	Desv.26
0,079549	0,024309	0,053389	0,056429	-	-	0,32217

Gráfico 8 - Comportamento da temperatura do ar em ambiente aberto na segunda etapa

O método de representação gráfica do *boxplot* possibilitou avaliar que o *Hobo* 26 apresentou a variância e a média relativamente acima dos demais aparelhos, confirmando o que já acontecera nos testes anteriores.

Como apresentado no capítulo 4, foi aplicada a estatística ANOVA e TUKEY HSD aos dados de umidade para saber se a variação dentro do espaço amostral de cada aparelho era aderente. Se observou que a média ficou próxima ao valor central representado pela mediana, não tendo ocorrido registro de *outliers*.

Gráfico 9 - Comportamento da umidade no primeiro teste em ambiente aberto

No primeiro teste de umidade, aplicando o teste ANOVA de uma via, foi possível constatar que a média do HOBO 26 foi efetivamente a mais elevada do grupo, assim como a sua variância (**Tabela 7**).

Tabela 7 - Resultado descritivo ANOVA em ambiente aberto I

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
HOBO 02	184	12176,46	66,17641	167,2936
HOBO 11	184	12216,48	66,39391	216,9783
HOBO17	184	12682,38	68,92598	221,1229
HOBO 26	184	12726,27	69,16451	231,1635

O teste ANOVA por método é capaz de apontar se há ou não diferença entre os grupos, mas não aponta qual ou quais grupos estão diferindo dos demais. A aplicação do teste Turkey, desta maneira, torna-se fundamental nos testes de validação de aparelhos termo higrométricos.

Com a aplicação dos dados no software *PAST*, foi possível extrair as informações descritivas do processo do teste ANOVA quanto o teste de Tukey HSD (**Tabela 8 e Tabela 9**).

Tabela 8- Resultado ANOVA em ambiente aberto I

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1411,308	3	470,436	2,249388	0,081313	2,617069
Dentro dos grupos	153090,2	732	209,1396			
Total	154501,5	735				

Tabela 9 - Resultado do teste Tukey HSD em ambiente aberto

	HOBO 2	HOBO 11	HOBO 17	HOBO 26
HOBO 2		0,9989	0,263	0,1958
HOBO 11	0,204		0,3353	0,2565
HOBO 17	2,579	2,375		0,9986
HOBO 26	2,803	2,599	0,2237	

Como apresentado por Copenhaver-Holland (1988), os dados aos serem submetidos ao teste de Tukey HSD caso houvesse discrepância entre os conjuntos o teste estatístico conduziria a uma marcação no conjunto que apresentasse dissonância aos demais, o que não ocorreu neste momento, mostrando que os dados de umidade estavam estatisticamente semelhantes.

Em ambiente aberto, agora com os sete aparelhos mensurando a umidade relativa do ar, o *boxplot* constatou uma alteração no comportamento do aparelho 27 em relação aos demais *Hobos*, contudo, essa variação não se mostrou significativa (**Gráfico 10**).

Gráfico 10 - Comportamento da umidade no segundo teste em ambiente aberto

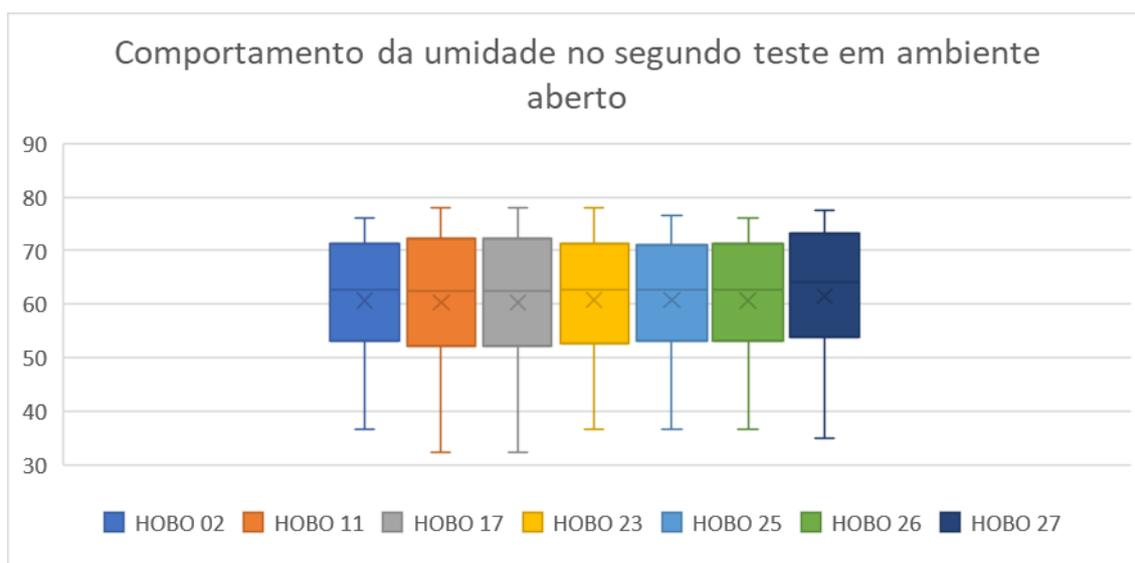


Tabela 10 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
HOBO 02	25	1516,73	60,6692	141,8033
HOBO 11	25	1507,54	60,3016	186,8125
HOBO 17	25	1507,54	60,3016	186,8125
HOBO 23	25	1518,78	60,7512	153,1846
HOBO 25	25	1520,37	60,8148	144,1533
HOBO 26	25	1516,73	60,6692	141,8033
HOBO 27	25	1537,26	61,4904	167,844

Tabela 11 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	23,96258	6	3,993763	0,024907	0,999932	2,152911
Dentro dos grupos	26937,92	168	160,3448			
Total	26961,88	174				

Tabela 12 - Resultado descritivo da ANOVA em ambiente aberto II

	HOBO 02	HOBO 11	HOBO 17	HOBO 23	HOBO 25	HOBO 26	HOBO 27
HOBO 02		1	1	1	1	1	1
HOBO 11	0,1452		1	1	1	1	0,9999
HOBO 17	0,1452	0		1	1	1	0,9999
HOBO 23	0,03238	0,1775	0,1775		1	1	1
HOBO 25	0,05749	0,2026	0,2026	0,02511		1	1
HOBO 26	0	0,1452	0,1452	0,03238	0,05749		1
HOBO 27	0,3243	0,4694	0,4694	0,2919	0,2668	0,3243	

Desta forma, o *datalogger* *Hobo* 26 foi desconsiderado para ser implementado na pesquisa, sendo acoplado aos abrigos alternativos os Aparelhos 02/11/17/23/25/27 que seguiram para as próximas etapas da pesquisa. Desta maneira, as fontes de dados termohigrométricos já estavam disponíveis para fixação na área de estudo.