

UFRRJ

INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO

**ANÁLISE GEOESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E
ATMOSFÉRICA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE ILHAS DE CALOR
DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE NOVA IGUAÇU (RJ)**

VITOR OLIVEIRA DE VASCONCELOS

2025



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE GEOESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E
ATMOSFÉRICA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE ILHAS DE CALOR
DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE NOVA IGUAÇU (RJ)**

VITOR OLIVEIRA DE VASCONCELOS

Sob a Orientação da Professora
Prof.^a Dr.^a Cristiane Cardoso

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRRJ, Área de Concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia, Linha de Pesquisa em Território, Ambiente e Ensino de Geografia.

Nova Iguaçu, RJ
Abril, 2025

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V331a Vasconcelos, Vitor Oliveira de, 1981-
Análise geoespacial da temperatura de superfície e
atmosférica: uma contribuição para o estudo de ilhas
de calor de superfície na cidade de Nova Iguaçu - RJ. /
Vitor Oliveira de Vasconcelos. - Nova Iguaçu, 2025.
169 f.: il.

Orientadora: Cristiane Cardoso.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Geografia da UFRRJ, 2025.

1. Ilha de calor urbana. 2. Termografia aérea. 3.
RPAS. 4. Ortomosaicos termais. 5. Estação
meteorológica. I. Cardoso, Cristiane , 1977-, orient.
II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRRJ III.
Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 25/2025 - IGEO (11.39.00.34)

Nº do Protocolo: 23083.024263/2025-01

Seropédica-RJ, 13 de maio de 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

VITOR OLIVEIRA DE VASCONCELOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/04/2025

Dra. Cristiane Cardoso, UFRRJ

Orientadora, presidente da banca

Dra. Edileuza Dias de Queiroz, UFRRJ

membro da banca

Dr. Edson Soares Fialho, UFV

membro da banca

(Assinado digitalmente em 13/05/2025 15:06)

CRISTIANE CARDOSO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIM (12.28.01.00.00.87)
Matrícula: ###135#6

(Assinado digitalmente em 16/05/2025 22:20)

EDILEUZA DIAS DE QUEIROZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIM (12.28.01.00.00.87)
Matrícula: ###65#1

(Assinado digitalmente em 13/05/2025 15:12)

EDSON SOARES FIALHO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.377-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: 25, ano: 2025, tipo: HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO, data de emissão: 13/05/2025 e o código de verificação: 1f40231d22

AGRADECIMENTOS

O agradecimento inicial é dedicado às minhas mães, Maria Oliveira de Vasconcelos e Márcia Oliveira de Vasconcelos, que, apesar de toda dificuldade, nunca sequer me deixaram faltar à aula na escola... foi o início de tudo nessa jornada. Amo vocês!

"Por que você não faz com drone???" Essa foi a pergunta feita por minha esposa, Rita de Cássia Azevedo Ferreira de Vasconcelos, que desencadeou a elaboração do projeto que deu origem a esta dissertação; portanto, todo este trabalho é dedicado a você, meu amor. Sou muito feliz por tê-la ao meu lado. Amo-te até o infinito e um pouquinho mais...

Agradeço ao amigo Everaldo Lisboa dos Santos, que caminhou comigo por este chão geográfico. As trocas, apontamentos, conselhos e conteúdos sobre a cidade de Nova Iguaçu ajudaram-me a construir as análises temáticas sobre o recorte espacial da pesquisa. Você é fera, cara.

Forte agradecimento aos amigos Wiliam dos Santos Pereira, cujas trocas diárias tornaram a rotina mais leve e produtiva, e Lucas Gabriel Lourenço Borges, para quem seria necessário um capítulo a mais para reproduzir em texto toda a gratidão. Estamos juntos!

Um enorme reconhecimento ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade que, gentilmente, através de parceria acadêmica, cedeu a aeronave, o veículo e três funcionários para a realização da pesquisa. Cabe aqui um agradecimento especial a um deles, Leonardo Martins Gomes, que abraçou a ideia de construir ortomosaicos termais, obtendo a média térmica da cena, sem nunca ter realizado tal pesquisa. Conseguimos!

Agradeço aos amigos de longa data Rodrigo Diniz e Rogério de Souza Moreira que, mesmo com o tempo apertado da correria entre uma escola e outra, dedicaram atenção e fizeram uma leitura crítica sobre meus apontamentos sobre a ciência que poucos dominam, a destemida física. Muito obrigado!

Aos professores Antônio Carlos Oscar Júnior (UERJ), Edson Soares Fialho (UFV), Edileuza Dias de Queiroz (UFRRJ), cujos apontamentos, críticas e materiais fornecidos permitiram a concretização desta pesquisa.

À minha orientadora Cristiane Cardoso, que depositou em mim uma enorme confiança desde a monografia até agora. Tenho um enorme respeito e admiração pela professora e geógrafa que é! Sorte ter trilhado este longo caminho com sua ajuda. Gratidão!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

RESUMO

VASCONCELOS, Vitor Oliveira. **Análise Geoespacial da Temperatura de Superfície e Atmosférica: Uma contribuição para o estudo de Ilhas de Calor de Superfície na cidade de Nova Iguaçu (RJ)**. 2025. 200p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto Multidisciplinar, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, RJ, 2025.

A utilização de novas metodologias e tecnologias na ciência geográfica traz consigo uma gama de possibilidades e oportunidades para a ampliação das discussões nesta ciência. Dos campos abarcados pela geografia aquelas que tratam das análises do espaço sob o olhar da geografia física têm trazido à tona debates e avanços para além da quantificação positivista que há décadas deixam suas expressões nos trabalhos acadêmicos. Assim, novas possibilidades se abrem para compreender, analisar a dinâmica e o funcionamento do clima urbano. A aplicação dessas novas abordagens na análise geográfica não apenas enriquece o entendimento sobre o espaço urbano, mas também abre portas para soluções inovadoras em relação aos desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas. Diante desse cenário a dissertação investiga a complexa relação entre o desenvolvimento urbano (bordando tal processo na cidade de Nova Iguaçu, Região Metropolitana do Rio de Janeiro) e dinâmicas climáticas, tendo como foco uma abordagem inovadora para se estudar a temperatura de superfície na cidade. O estudo emprega a termografia aérea com Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada ou *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) como principal ferramenta para analisar as variações térmicas na superfície e sua interação com as condições atmosféricas locais, desejando com isso verificar se essa ferramenta é promissora para futuros estudos sobre as dinâmicas térmicas geoespaciais (em especial a configuração de ilha de calor de superfície) especificamente na cidade de Nova Iguaçu - RJ. Partindo desses pressupostos, esta dissertação tem como objetivo geral, comparar o comportamento térmico de duas áreas selecionadas município de Nova Iguaçu – Região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, através do uso de RPAS equipado com câmera térmica e estações meteorológicas para se investigar a temperatura atmosférica e de superfície, para com isso avaliar se o equipamento colabora com estudo de ilha de calor superfície. As áreas selecionadas foram: Campus da UFRRJ e na Escola Estadual Mestre Hiran. Como resultado a pesquisa demonstrou de forma contundente a aplicabilidade e o potencial da termografia aérea com RPAS como ferramenta eficaz para a análise das dinâmicas térmicas de superfície no contexto urbano de Nova Iguaçu. A metodologia empregada permitiu não apenas identificar variações de temperatura de superfície com alta resolução espacial, revelando heterogeneidades térmicas em diferentes áreas da cidade, mas também estabelecer uma correlação significativa com os dados de temperatura atmosférica obtidos por estações meteorológicas. Os resultados confirmam a capacidade do RPAS equipado com câmera térmica em complementar as informações tradicionais, oferecendo um panorama espacialmente detalhado da distribuição da temperatura, crucial para a compreensão e o monitoramento do fenômeno das ilhas de calor de superfície. Em suma, a investigação alcançou seus objetivos ao integrar conceitos da climatologia urbana, física térmica, meteorologia e geografia, fornecendo uma base robusta para o estudo do clima urbano. A comparação entre os dados termais de superfície e as medições atmosféricas nas áreas do Campus da UFRRJ e da Escola Estadual Mestre Hiran corroborou a viabilidade da metodologia para futuras análises mais aprofundadas.

Palavras-chave: Nova Iguaçu, Ilha de Calor de Superfície, Termografia aérea

ABSTRACT

VASCONCELOS, Vitor Oliveira de. **Geospatial Analysis of Surface and Atmospheric Temperature: A Contribution to the Study of Surface Urban Heat Islands in the City of Nova Iguaçu (RJ)**. 2025. 200p. Dissertation (Master in Geography). Multidisciplinary Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, RJ, 2025.

The utilization of new methodologies and technologies in geographical science brings with it a range of possibilities and opportunities for the expansion of discussions within this discipline. Among the fields encompassed by geography, those addressing the analysis of space from a physical geography perspective have brought to the forefront debates and advancements beyond the positivist quantification that has for decades marked academic works. Thus, new avenues are opening up to comprehend and analyze the dynamics and functioning of the urban climate. The application of these new approaches in geographical analysis not only enriches the understanding of urban space but also paves the way for innovative solutions regarding the challenges faced by contemporary cities. In light of this scenario, this dissertation investigates the complex relationship between urban development (addressing this process in the city of Nova Iguaçu, Metropolitan Region of Rio de Janeiro) and climatic dynamics, focusing on an innovative approach to study surface temperature in the city. The study employs aerial thermography with a Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) as the primary tool to analyze thermal variations on the surface and their interaction with local atmospheric conditions, aiming to verify whether this tool is promising for future studies on geospatial thermal dynamics (especially the configuration of surface urban heat islands) specifically in the city of Nova Iguaçu - RJ. Based on these assumptions, this dissertation has the general objective of comparing the thermal behavior of two selected areas in the municipality of Nova Iguaçu – Metropolitan Region of the State of Rio de Janeiro, through the use of RPAS equipped with a thermal camera and meteorological stations to investigate atmospheric and surface temperature, thereby evaluating whether the equipment contributes to the study of surface urban heat islands. The selected areas were: the Multidisciplinary Institute of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (IM UFRRJ) and the Mestre Hiran State School. As a result, the research conclusively demonstrated the applicability and potential of aerial thermography with RPAS as an effective tool for the analysis of surface thermal dynamics in the urban context of Nova Iguaçu. The methodology employed allowed not only the identification of surface temperature variations with high spatial resolution, revealing thermal heterogeneities in different areas of the city, but also the establishment of a significant correlation with atmospheric temperature data obtained by meteorological stations. The results confirm the capability of RPAS equipped with thermal cameras to complement traditional information, offering a spatially detailed overview of temperature distribution, crucial for the understanding and monitoring of the surface urban heat island phenomenon. In summary, the investigation achieved its objectives by integrating concepts from urban climatology, thermal physics, meteorology, and geography, providing a robust foundation for the study of urban climate. The comparison between surface thermal data and atmospheric measurements in the areas of the UFRRJ Campus and the Mestre Hiran State School corroborated the viability of the methodology for future, more in-depth analyses.

Keywords: Nova Iguaçu, surface urban heat island, aerial thermography

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANAC** - Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações
APA - Área de Proteção Ambiental
APAEGM - Área de Preservação Ambiental Estadual Gericinó-Mendanha
ARP - Aeronaves Remotamente Pilotadas
ARO - Avaliação de Risco Operacional
Aw - Tropical com Chuvas de Verão
BNH - Banco Nacional de Habitação
CAE - Certificado de Aeronavegabilidade Especial
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CLD - Camada Limite do Dossel Urbano
CLR - Camada Limite Rural
CLU - Camada Limite Urbana
CPF - Cadastro de Pessoa Física
.CSV - *Comma-Separated Values*
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ΔQA – Energia líquida adicionada ou subtraída ao volume por transporte pelo vento
ΔQS - a variação líquida do armazenamento de calor por todo o tecido da cidade, incluindo os seus materiais de construção, árvores, solo e ar contidos no volume
EEMH - Escola Estadual Mestre Hiram
GIF - *Graphic Interchange Format* ou Formato de Intercâmbio de Gráficos
GPS - *Global Positioning System*
GSD - *Ground Sample Distance*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICU - Ilha de Calor Urbano
IM UFRRJ - Instituto Multidisciplinar da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
LiDAR - *Light Detection and Ranging*
mPa - massa polar atlântica
MDS - Modelo Digital de Superfície
MVS - *Multi-View Stereo*
NGF - *Normalized Gradient Fields* ou Campos de Gradiente Normalizados
ODM - *OpenDroneMap*
OMM - Organização Meteorológica Mundial
PNMNI - Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu
QA.In - Entrada do vento no sistema analisado
QA.Out - Saída do vento no sistema analisado
Q - Radiação líquida de onda total
QE - Densidade de fluxo de calor latente
QF - Fluxo de calor antropogênico
QG - Densidade do fluxo de calor do solo
QGIS - *Quantum GIS*
QR Code - *Quick Response Code*
RETA - Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo
ReBio do Tinguá - Reserva Biológica do Tinguá
RGB - *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul)
R.JPEG - *Radiometric Joint Photographic Experts Group*
RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

RPA - Remotely Piloted Aircraft
RPAS - Remotely Piloted Aircraft System
SCP - *Semi-Automatic Classification Plugin*
SfM-MVS - *Structure from Motion and Multi-View Stereo*
SISANT - Sistema de Aeronaves Não Tripuladas
.TIFF - *Tagged Image File Format*
TRM - Temperatura Radiante Média
UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*
UBL - *Urban Boundary Layer*
UCB - *Urban Canopy Boundary Layer*
UCL – *Urban Canopy Layer* ou camada de cobertura urbana
UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSCar - Universidade Federal de São Carlos
URG - Unidades Regionais de Governo
USP - Universidade de São Paulo
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS - *Visual Line of Sight*
WebODM - *WebOpenDroneMap*
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01:** Esquema do comportamento de uma ilha de calor.
- Figura 02:** Balanço energético de superfície
- Figura 03:** Representação da Camada Limite Urbana (CLU), Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) e Camada Limite Rural (CLR).
- Figura 04:** Visualização do modelo proposto por Voogt e Oke (1997) de temperatura completa, assim como os demais tipos de temperatura do ar mensurada
- Figura 05:** Tipos de radiação
- Figura 06:** Caminho da radiação eletromagnética na atmosfera terrestre
- Figura 07:** Albedo de vários tipos de superfícies
- Figura 08:** Variação da posição do plano da trajetória do Sol no céu ao longo do ano para um observador no hemisfério sul e a configuração de sombra de um edifício isolado
- Figura 09:** Impacto da configuração geométrica de um cânion urbano nas trocas de radiação
- Figura 10:** Valor da emissividade para alguns materiais
- Figura 11:** Organização para a prática metodológica
- Figura 12:** Praça San Pedro. Modelo 3D de imagens RGB de UAV
- Figura 13:** Ortofoto de imagens RGB de UAV com pontos codificados por cores por tipo de cobertura de solo/fachada
- Figura 14:** Ortofotos de RGB e imagens térmicas de UAV.
- Figura 15:** Imagem obtida do aplicativo Dji Pilot de acordo com o plano de voo do drone Mavic pro 2, Cidade de Curico, 2020.
- Figura 16:** Geometria e superposição de duas fotografias aéreas verticais.
- Figura 17:** Reprodução da sobreposição lateral e longitudinal durante realização de aerofotogrametria
- Figura 18:** Classificação dos RPAS quanto ao modelo de asa
- Figura 19:** Especificações do RPA utilizado para coleta dos dados
- Figura 20:** Voo em grade sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ
- Figura 21:** Voo em grade sobre a estação IM UFRRJ
- Figura 22:** A verticalização do centro de Nova Iguaçu representada pela concentração espacial dos condomínios de alto luxo.
- Figura 23:** Folder promocional para venda de apartamentos em condomínio da empresa MRV
- Figura 24:** QR Code para visualização dos mapas compreendidos entre os anos de 1985 a 2023 em formato de GIF
- Figura 25:** Localização das estações meteorológicas da plataforma WEATHER SPARK

LISTA DE MAPAS

Mapa 01: Nova Iguaçu e Municípios do entorno

Mapa 02: Limites atuais de Nova Iguaçu com destaque para os bairros selecionados para a coleta de dados e as Unidades de Conservação presentes no Norte e Sul do município

Mapa 03: Identificação das áreas selecionadas para verificação da temperatura de superfície

Mapa 04: Identificação da área selecionadas para sobrevoo - Estação IM UFRRJ

Mapa 05: Identificação da área selecionadas para sobrevoo - Estação Mestre Hiram

Mapa 06: Localização de Áreas protegidas no Município Iguaçuano

Mapa 07: Localização das áreas destacadas ao longo da RJ-105 (Avenida Abílio Augusto Távora – antiga Estrada de Madureira)

Mapa 08: Uso e Cobertura do solo Iguaçuano – ano 1985

Mapa 09: Uso e Cobertura do solo Iguaçuano – ano 2023

Mapa 10: Localização das estações do ClimaEnGeo na cidade de Nova Iguaçu -RJ

Mapa 11: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica Mestre Hiram – Voo1

Mapa 12: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica IM UFRRJ – Voo1

Mapa 13: Imageamento térmico sobre a estação meteorológica Mestre Hiram – Voo2

Mapa 14: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica IM UFRRJ – Voo2

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 01: Equipamento utilizado: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced

Fotografia 02: Suporte logístico fornecido pelo ICMBio – Campus da UFRRJ e na EEMH

Fotografia 03: Estação meteorológica IM UFRRJ

Fotografia 04: Início do voo para coleta de dados – Estação Mestre Hiram e IM UFRRJ respectivamente

Fotografia 05: O Centro de Nova Iguaçu – Ao fundo a vertente Norte do Maciço Gericinó Madureira Mendanha (Serra de Madureira)

Fotografia 06: Eixo de expansão da valorização e especulação imobiliária (ao longo da RJ-105).

Fotografia 07: Verticalização (Camada Limite do Dossel Urbano - CLD) da cidade de Nova Iguaçu com vista a partir do Campus da UFRRJ-IM

Fotografias 08 e 09: VOO 1 – 20m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,35cm/px)

Fotografias 10 e 11: VOO 1 – 40m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,71cm/px)

Fotografias 12 e 13: VOO 1 – 60m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,06cm/px)

Fotografias 14 e 15: VOO 1 – 80m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,41cm/px)

Fotografias 16 e 17: VOO 1 – 100m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,76cm/px)

Fotografias 18 e 19: VOO2 – 20m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,35cm/px)

Fotografias 20 e 21: VOO2 – 40m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,71cm/px)

Fotografias 22 e 23: VOO2 – 60m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,06cm/px)

Fotografias 24 e 25: VOO2 – 80m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,41cm/px)

Fotografias 26 e 27: VOO2 – 100m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,76cm/px)

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01:** Organização das terminologias empregadas.
- Tabela 02:** Vantagens de desvantagens de RPAS com asas rotativas e fixas
- Tabela 03:** Planejamento do Voo
- Tabela 04:** Planejamento do voo
- Tabela 05:** Condições meteorológica no dia do voo - Estação meteorológica do IM UFRRJ
- Tabela 06:** Variação das áreas selecionadas ao longo de 38 anos no município de Nova Iguaçu
- Tabela 07:** Datas das criações das Unidades de Conservação municipais em Nova Iguaçu
- Tabela 08:** Dados de temperatura da atmosfera na estação Mestre Hiram: intervalo entre o final da manhã (11:00h) e meio da tarde (16:00h)
- Tabela 09:** Dados de temperatura da atmosfera na estação IM UFRRJ: intervalo entre o final da manhã (11:00h) e meio da tarde (16:00h)
- Tabela 10:** Médias térmicas de superfície no Voo1
- Tabela 11:** Médias térmicas de superfície no Voo2

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Valores de temperatura mensal em Nova Iguaçu, ano 2023

Gráficos 02 e 03: Valores de temperatura diária em fevereiro e julho no ano de 2023

Gráfico 04: Climograma da cidade de Nova Iguaçu, 2023.

Gráfico 05 e 06: Comparação do comportamento da temperatura atmosférica em Nova Iguaçu - RJ

Gráficos 07 e 08: Comportamento da temperatura atmosférica no período selecionado para a coleta de dados termais de superfície

Gráfico 09: Médias térmicas de superfície no Voo1

Gráfico 10 e 11: Temperatura atmosférica no período do Voo1

Gráfico 12: Médias térmicas de superfície no Voo2

Gráfico 13 e 14: Temperatura atmosférica no período do Voo2

Gráfico 15: Comparação entre a média térmica de superfície a diferentes altitudes e temperatura do ar sob as estações EEMH e IM UFRRJ

Gráfico 16: Comparação entre temperatura média de superfície nos ortomosaicos e temperatura atmosférica

ESQUEMA

Esquema 01: Configuração de ortomosaico: Fluxograma padrão do SfM-MVS

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA A COMPREENSÃO DAS DINÂMICAS CLIMÁTICAS URBANAS	5
1.1 Ilha de calor: fundamentação teórica	7
1.2 Construção das bases para o entendimento de imagens térmicas	13
1.3 Riscos climáticos e o processo climatologia - organização do clima - produção do clima	22
CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS: TERMOGRAFIA AÉREA COM RPAS PARA O ESTUDO DE ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE	26
2.1 A utilização de RPAS em estudos de clima urbano	28
2.2 <i>Structure from Motion – Multi View Stereo</i> habilitado para RPAS	33
2.3 Aquisição das imagens	35
2.4 As imagens térmicas: Definição e aerolevantamento	36
2.5 RPAS: fundamentação para operação com segurança	39
2.6 Materiais utilizados	44
2.7 Procedimentos de campo	48
2.7.1 – Pré – campo	48
2.7.2 – Campo: A coleta dos dados	51
2.7.3 Processamento das imagens: pós-campo	51
2.8 Comparação entre dados coletados	53
CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS, ASPECTOS URBANOS E CLIMÁTICOS DE NOVA IGUAÇU	55
3.1 O município de Nova Iguaçu e o recorte espacial das áreas de análise	55
3.2 Do passado agroexportador às novas dinâmicas da urbanização iguaçuana	66
3.3 Caracterização do clima iguaçiano	82
CAPÍTULO IV: ANÁLISE COMPARATIVA GEOESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ATMOSFÉRICA NO CONTEXTO IGUAÇUANO	91
4.1 Dados meteorológicos de temperatura atmosférica em Nova Iguaçu	91
4.2 Comparação entre as temperaturas das estações meteorológicas e imagens termais	98
4.3 Ortomosaicos termais e a aplicação em Nova Iguaçu	118
CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	132
APÊNDICE I – Visão 360º a 100m de altitude da estação EEMH	144
APÊNDICE II – Visão 360º a 100m de altitude da estação IM UFRRJ	146
APÊNDICE III - Autorização do voo sobre a EEMH	149
APÊNDICE IV – Autorização do voo sobre o IM UFRRJ	151
APÊNDICE V – Busca por trabalhos, nos portais selecionados, que contenham as palavras-chave que serviram de referência para pesquisa	153
ANEXO I – Especificações técnicas, sensores padrão e sensores calculados das estações meteorológicas	157

INTRODUÇÃO

A utilização de novas metodologias e tecnologias na ciência geográfica traz consigo uma gama de possibilidades e oportunidades para a ampliação das discussões nesta ciência. Dos campos abarcados pela geografia aquelas que tratam das análises do espaço sob o olhar da geografia física têm trazido à tona debates e avanços para além da quantificação positivista¹ que há décadas deixam suas expressões nos trabalhos acadêmicos. Assim, novas possibilidades se abrem para compreender e analisar a dinâmica e o funcionamento do espaço urbano.

A aplicação dessas novas abordagens na análise geográfica não apenas enriquece o entendimento do espaço urbano, mas também abre portas para soluções inovadoras em relação aos desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas. Ao considerar as complexidades das interações entre os elementos físicos e humanos no ambiente urbano, surge uma compreensão mais holística das dinâmicas que moldam as ilhas de calor. Isso permite não apenas uma identificação mais precisa desses fenômenos, mas também o desenvolvimento de estratégias eficazes para mitigar seus impactos negativos e promover ambientes urbanos mais sustentáveis e habitáveis.

A problemática das ilhas de calor no espaço urbano tem se tornado um tema de crescente importância nas discussões sobre o clima e o ambiente urbano. Este fenômeno, caracterizado pelo aumento significativo das temperaturas em áreas urbanas em comparação com suas áreas circundantes, é um reflexo direto das transformações que as cidades vêm experimentando nas últimas décadas (Lucena, 2005).

A dinâmica urbana contemporânea tem impulsionado transformações significativas no ambiente, gerando impactos que repercutem não apenas na paisagem, mas também na qualidade de vida das comunidades urbanas. Nesse contexto, a ilha de calor urbana surge como um fenômeno intrínseco às áreas urbanizadas, despertando a necessidade de compreensão aprofundada de seus efeitos sobre a vida humana (Fialho, 2012).

A urbanização acelerada, associada ao adensamento populacional, e um planejamento que não priorize essa questão, intensifica o fenômeno da ilha de calor, ampliando suas dimensões e intensidade. Autores consagrados na ciência geográfica, como Milton Santos, destacam a relação intrínseca entre a urbanização e as transformações espaciais, ressaltando que "o espaço é formado por um conjunto indissociável, solidário e contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro único no qual a história se dá." (Santos, 2006, p. 39). Se assim pensamos nossa ciência, não podemos pensar a ilha de calor apenas como um fenômeno meteorológico, mas um reflexo das escolhas sociais e do modelo de desenvolvimento adotado nas áreas urbanas. Dentro desse contexto, Sant'Anna Neto (2001), já argumentava que embora o fenômeno atmosférico possa se espacializar de maneira uniforme em termos físicos, seus impactos sociais e econômicos variam conforme a capacidade dos diversos grupos sociais de se protegerem ou lidarem com tais eventos. Essa desigualdade na vulnerabilidade aos desastres naturais ressalta as disparidades sociais presentes nas cidades.

¹ Sobre essa temática Slaymaker (2016, p. 7) argumenta que “As filosofias positivistas limitaram a capacidade dos geógrafos físicos de se envolverem com um mundo real que consiste não apenas em partículas fundamentais de energia e massa, mas também em fenômenos que não podem ser vistos nem medidos, como os sistemas de valores humanos. (...) Só o positivismo é visto como eficaz para apenas um domínio da realidade, o do mensurável e do observável. Geografia física merece melhor.”

As novas tecnologias, como sensoriamento remoto e modelos de simulação computacional, emergem como ferramentas valiosas para desvendar a complexidade das ilhas de calor urbanas. Trabalhos como de Lemos (2021) trazem uma enorme contribuição para essa compreensão aprofundada, pois representa um avanço significativo por integrar a tecnologia ao campo térmico da cidade, proporcionando uma visão mais holística sobre o clima urbano e suas implicações nas comunidades urbanas. Dessa forma, a combinação das novas tecnologias com pesquisas inovadoras, possibilitam a abertura de caminho para abordagens mais abrangentes e humanizadas na compreensão desse fenômeno complexo.

No contexto do município de Nova Iguaçu, situado na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, a investigação se fez necessária uma vez que esta cidade possui um espaço urbano densamente povoado. A porção central desta cidade, devido ao seu rápido crescimento populacional e verticalização urbana, tem experimentado mudanças significativas em sua paisagem térmica.

Desde as décadas de 1960 e 1970 observa-se um rápido e desordenado processo de urbanização, sem um adequado planejamento territorial, devido às mudanças que foram incorporadas por investimentos em empresas públicas e privadas, principalmente na área central do município que permitiram diferentes usos da terra onde se sobressaíram os interesses econômicos em relação aos sociais (Menezes e Mendes, 2017, p. 432).

É diante deste cenário de questões ambientais climáticas, verticalização urbana, novas tecnologias a serviço do entendimento sobre o espaço que esta pesquisa se encontra. A proposta de abordagem metodológica, considerada nova (uma vez que são poucos trabalhos disponíveis para consulta) utiliza RPAS, sigla de *Remotely Piloted Aircraft System* equipados com câmera térmica para a coleta de dados quantitativos da temperatura de superfície. Esta abordagem representa um avanço na pesquisa das ilhas de calor urbanas, uma vez que permite uma análise mais precisa e detalhada² das variações térmicas em áreas urbanas complexas, como o Centro da cidade de Nova Iguaçu.

Complementando os dados termais de superfície, a metodologia também se utiliza de duas estações meteorológicas do Laboratório de Climatologia e Ensino de Geografia (ClimaEnGeo) instalados na cidade. Estas permitem uma ampliação de informações da atmosfera além de servir para comparar dados de imagens termais obtidos com o RPAS com a temperatura do ar coletado na estação do mesmo laboratório localizada no campus do Instituto Multidisciplinar da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (IM UFRRJ) e na Escola Estadual Mestre Hiran (EEMH)³.

Este estudo se insere no campo da climatologia geográfica e busca não apenas expandir o conhecimento sobre as ilhas de calor urbanas, mas também fornecer informações relevantes para a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas que visem mitigar os efeitos desse fenômeno nas áreas urbanas. Compreender a dinâmica das ilhas de calor é essencial para a criação de ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes, especialmente em regiões metropolitanas altamente urbanizadas como a do Rio de Janeiro (Lucena, 2005).

A escolha do município de Nova Iguaçu como local de estudo é estratégica, uma vez que esta cidade apresenta características urbanas e climáticas peculiares que podem oferecer insights valiosos para o entendimento das ilhas de calor em áreas urbanas de médio porte, pois,

² Já aqui é importante salientar que não é objetivo desta pesquisa identificar e registrar a temperatura alvo a alvo (objeto por objeto) dos corpos da área selecionada.

³ Estas são as duas áreas recortadas para se processar a pesquisa pois nelas estão localizadas as estações meteorológicas. Portanto, uma área do Campus da UFRRJ em Nova Iguaçu e outra no Centro da cidade, exatamente onde se encontra a Escola Estadual, serviram de base para os levantamentos dos dados. Destaque para a distância de 2 km entre elas.

o centro da cidade fica localizado entre a Área de Preservação Ambiental Gericinó-Mendanha (APAGM) e a Reserva Biológica do Tinguá.

Além disso, a Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro é uma das regiões mais populosas do Brasil, onde a urbanização intensa e a expansão urbana têm impactado significativamente nas condições climáticas locais. O território Iguaçuano possui uma área de, aproximadamente, 520,581km². Apresenta uma população residente de 785.867 pessoas em 2022 e com uma densidade demográfica de 1.509,60hab/km² o que o coloca nas posições 4 e 10 de 92 na comparação com outros municípios do estado (IBGE, 2024).

Isto posto e objetivando atingir o que foi proposto, o presente trabalho se estruturou na possibilidade de utilizar RPAS equipado com câmera termal para coletar dados e investigar a temperatura da superfície de duas áreas selecionadas no espaço urbano iguaçano. A pesquisa parte da premissa de que há formação de ilha de calor no referido ambiente em função da organização espacial dele e de pesquisas anteriores que o comprovam⁴. Em consonância com essas análises, o que se busca é uma ferramenta que contribua para os estudos de ilha de calor. A metodologia apresentada permite gerar uma imagem térmica com maior precisão e dela se extrair, de forma mais eficiente os dados geoespaciais. O processamento das imagens e todo cabedal técnico que permitiu a concretização da pesquisa seguem na metodologia desta pesquisa.

A hipótese levantada nesta pesquisa é que a utilização de RPAS equipados com câmera térmica pode contribuir para o levantamento de dados geoespaciais que servirão para verificação da formação de ilha de calor de superfície na porção central da cidade de Nova Iguaçu.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo geral, comparar o comportamento térmico de duas áreas selecionadas município de Nova Iguaçu – Região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, através do uso de RPAS equipado com câmera térmica para se aferir a temperatura de superfície e estações meteorológicas para se investigar a temperatura atmosférica, permitindo com isso avaliar se o equipamento e a metodologia colaboram com estudo de ilha de calor de superfície.

Os objetivos específicos se desdobram em três, sendo:

01 – Estabelecer relações conceituais entre a climatologia urbana, a física térmica, meteorologia e a geografia para compreender melhor as dinâmicas térmicas de superfície e atmosférica em ambientes urbanos;

02 – Verificar se a utilização de RPAS, equipado com câmera térmica, permite o imageamento térmico de uma ilha de calor de superfície na cidade de Nova Iguaçu;

03 – Comparar os dados das estações meteorológicas presentes na cidade de Nova Iguaçu (no Campus da UFRRJ e na Escola Estadual Mestre Hiran) com os dados coletados por RPAS.

04 – Caracterizar o clima da cidade de Nova Iguaçu.

A presente dissertação está composta por esta introdução seguida de mais 04 capítulos. Nesta seção está contida a apresentação do tema e um breve panorama da área onde se processou a pesquisa. Outros elementos essenciais para a estruturação do corpo da pesquisa como a justificativa, hipótese e os objetivos geral e específicos também compõem esta parte da pesquisa.

Na sequência (logo após a introdução) aparece o primeiro capítulo que apresenta a revisão e a discussão do referencial teórico conceitual da literatura, abordando conceitos-chave atrelados a climatologia urbana, a física térmica, meteorologia e a geografia para compreender melhor as dinâmicas térmicas e os impactos das ilhas de calor em ambientes urbanos. O capítulo

⁴ Excelente material para consulta sobre ilha de calor na cidade de Nova Iguaçu é o trabalho desenvolvido por Menezes e Mendes (2017).

explora tais conceitos e áreas do conhecimento para dar embasamento ao objeto de estudo, o imageamento térmico do espaço urbano.

O conceito de risco e sua associação aos atuais cenários debatidos pela geografia também aparecem nesta parte da obra. Os riscos estão relacionados àquilo que se projeta para o futuro e considerá-lo nesta obra reforça a busca por levantamento de dados quantitativos que podem contribuir com as análises críticas dos atuais geógrafos físicos.

Os procedimentos realizados para se alcançar o que foi traçado, que delinea o contexto e a relevância do estudo se encontram no segundo capítulo desta dissertação. Este capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, com foco na termografia aérea com RPAS para o estudo de ilhas de calor. A metodologia, considerada o conjunto de princípios, conceitos e abordagens que guiam a pesquisa, engloba as teorias de abordagem e as técnicas que permitem a construção da obra. Para o estudo em questão, optou-se por uma pesquisa exploratória, com abordagem quantitativa/empírica, utilizando dados de estações meteorológicas e imagens térmicas aéreas obtidas por RPAS.

O capítulo detalha os procedimentos de campo, desde o planejamento pré-voo, a escolha do equipamento e os cuidados com a segurança operacional, até a coleta de dados e o processamento das imagens no software OpenDroneMap (ODM), destacando a importância da sobreposição das imagens, da resolução espacial e da altura de voo para a qualidade final do ortomosaico. A utilização do RPAS se mostrou eficiente e rápida na coleta de dados, abrindo novas possibilidades para a pesquisa em geografia, especialmente no estudo de ilhas de calor de superfície.

Para que haja uma melhor análise dos processos que serão levantados e analisados ao longo da pesquisa, é necessário que se faça um recorte espacial da área de estudo. O terceiro capítulo aborda o panorama urbano e a caracterização climática da área que se pretende abordar. Para justificar a escolha do recorte espacial da pesquisa, esta seção analisa o município iguaçuano, situado na Baixada Fluminense, que tem vivenciado um intenso processo de transformação urbana nas últimas décadas. Essa mudança na paisagem urbana, em conjunto com a intensificação das atividades comerciais e industriais, cria um cenário propício para a formação de ilhas de calor, impactando diretamente o clima da cidade.

A compreensão das dinâmicas climáticas de Nova Iguaçu é fundamental para analisar os efeitos da urbanização sobre o meio ambiente. Os dados de sites de meteorologia e trabalhos de referência, como os de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997), são aqui analisados e junto com a implantação da rede de monitoramento climático, com a instalação de estações meteorológicas em pontos estratégicos, permite um acompanhamento mais preciso das variáveis climáticas e melhor compreensão da dinâmica climática da cidade.

O quarto e último capítulo apresenta os dados e a análise destes, destacando os principais levantamentos descobertos em relação ao imageamento térmico e informações das estações meteorológicas das áreas selecionadas em Nova Iguaçu. Portanto, o último capítulo desta obra apresenta e levanta as implicações dos resultados, faz recomendações e aponta possíveis direções para pesquisas futuras.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA A COMPREENSÃO DAS DINÂMICAS CLIMÁTICAS URBANAS

A interação entre a climatologia urbana, a física térmica, meteorologia e a geografia proporcionam uma abordagem enriquecedora para a compreensão dos fenômenos urbanos, em particular, a formação e evolução das ilhas de calor. Ao mergulhar nas complexas relações entre o processo de urbanização, aglomerados urbanos e variáveis físicas como energia, radiação, calor, condução, convecção e emissividade, somos levados a explorar um vasto campo de conhecimento que transcende fronteiras disciplinares.

Milton Santos argumentava que o espaço geográfico é produto de uma multiplicidade de interações entre sociedade e natureza (Santos, 1996). Nessa perspectiva, compreender as ilhas de calor demanda não apenas uma análise física das variáveis térmicas, mas também a consideração das dinâmicas socioespaciais que contribuem para sua configuração.

Em pesquisa sobre a classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro, Armond (2018) enfatiza a necessidade de compreender o clima de uma região não apenas como um fenômeno isolado, mas como um componente intrínseco e interligado ao ambiente geográfico. Essa perspectiva reforça a ideia de que o clima é um fenômeno geofísico, intrinsecamente conectado às características territoriais.

Seguindo pelo mesmo viés, Rivero (1986), em sua obra "Arquitetura e Clima", oferece uma perspectiva que conecta a morfologia urbana ao acondicionamento térmico natural, evidenciando a inter-relação entre a construção humana e os processos físicos. Na obra do autor supracitado é analisado, por exemplo, a forma e a orientação do edifício na composição do quadro urbano de tal maneira que se possa entender uma possível relação entre os edifícios e o clima local.

A compreensão dos processos físicos envolvidos nas ilhas de calor também demanda uma incursão pelos estudos térmicos. Autores como Incropera e DeWitt (2002), em sua obra sobre transferência de calor têm contribuído significativamente para a fundamentação teórica necessária à análise das interações entre a radiação solar, a condução térmica e os mecanismos de convecção nas áreas urbanas.

Os estudos de Lemos *et al.* (2021), que exploram o *urban canyon* na área central do Rio de Janeiro, demonstram como a morfologia urbana pode influenciar significativamente as condições térmicas locais. Isso ressalta a importância de considerar o processo de urbanização e as formas construídas no entendimento das ilhas de calor.

As análises de Megda (2020) propõe identificar ilhas de calor urbano em cidades de porte médio destacando a relevância de adaptar as abordagens às características locais, reforçando a importância da Geografia do Clima proposta por Sant'Anna Neto (2001).

Em sua teoria sobre clima urbano, Monteiro (1976), estabelece as bases para uma compreensão mais aprofundada das relações entre elementos físicos e geográficos. Além disso, Timothy R. Oke *et al.* (2017) em "*Urban Climates*", reforçam a complexidade desses fenômenos ao abordar os diferentes elementos que compõem o ambiente urbano.

A construção dos argumentos e análises sobre os processos e dados obtidos nesta dissertação passam por outras ciências como a meteorologia. A aproximação dessas disciplinas possibilita uma abordagem mais holística e abrangente, permitindo a exploração de questões complexas, como os impactos e efeitos das ilhas de calor e as respostas humanas diante das variabilidades climáticas. Assim, a integração entre meteorologia e geografia revela-se como uma abordagem enriquecedora e essencial para avançar no entendimento e na busca de soluções para os desafios contemporâneos relacionados ao clima e ao meio ambiente.

Podemos considerar que a climatologia geográfica é inextricavelmente ligada à meteorologia⁵, fornecendo o contexto espacial e as características geográficas que moldam os padrões atmosféricos e seus fenômenos (Sant'Anna Neto, 2008). De acordo com Varejão-Silva (2006, p. 344) “esses fenômenos podem resultar de depósitos ou da queda de partículas de natureza aquosa ou não, no estado sólido ou líquido, bem como manifestações óticas, elétricas ou sonoras”.

A compreensão dos conceitos físicos desempenha um papel fundamental nos estudos de meteorologia básica, fornecendo a base teórica essencial para a análise e interpretação dos fenômenos atmosféricos. Ao explorar as interações entre a atmosfera, a terra e os oceanos, os meteorologistas dependem de uma sólida compreensão dos princípios físicos subjacentes, tais como energia, radiação e reflexão (Ynoue, 2017).

Os conceitos de tempo, clima, associados a meteorologia e a geografia são fundamentais para compreender os fenômenos atmosféricos e sua relação com os processos geográficos. A interconexão entre esses termos oferece uma perspectiva multifacetada sobre os padrões climáticos, eventos meteorológicos e suas implicações geográficas (Sant'Anna Neto, 2001).

O modo de produção capitalista territorializa distintas formas de uso e ocupação do espaço, definidas por uma lógica que não atende aos critérios técnicos do desenvolvimento (ou sociedades) sustentáveis. Assim, o efeito dos tipos de tempo sobre um espaço construído de maneira desigual gera problemas de origem climática também desiguais. A entrada de um sistema atmosférico, como uma frente fria (frente polar atlântica), por exemplo, se espacializa de maneira mais ou menos uniforme num determinado espaço, em escala local. Entretanto, em termos socioeconômicos, este sistema produzirá diferentes efeitos em função da capacidade (ou da possibilidade) que os diversos grupos sociais têm para defender-se de suas ações (Sant'Anna Neto, 2001, p. 58).

Seguindo pela mesma análise temos que o conceito de tempo se refere às condições atmosféricas em um determinado momento e local. Ele é dinâmico e mutável, representando as variações de temperatura, umidade, vento e precipitação em curtos períodos. A relação entre tempo e geografia é evidente na influência direta do clima local nas atividades humanas, como agricultura, tipos de construções e planejamento urbano. O clima, por outro lado, é uma descrição mais abrangente e estável das condições atmosféricas ao longo de um período prolongado do tempo cronológico (média de 30 anos) em uma determinada região. Envolve padrões sazonais, médias de temperatura e precipitação, oferecendo uma perspectiva mais ampla e duradoura (Armond, 2018). A apresentação da relação tempo-clima é feita da seguinte maneira

...o tempo atmosférico compõe o clima, e o clima contém o tempo atmosférico, num duplo movimento entre tempo-clima, habitual-excepcional, num retorno ao tempo (atmosférico) dotado de conhecimento sobre sua historicidade (clima) (Armond, 2018, p.36).

A geografia desempenha um papel integrador ao abordar as interações entre tempo, clima e meteorologia em diferentes escalas espaciais. Sua análise geográfica contribui para entender as disparidades climáticas regionais, os impactos das mudanças climáticas em diferentes partes do mundo e as relações complexas entre fenômenos meteorológicos e características geográficas, como relevo, corpos d'água e cobertura vegetal.

⁵ “A Meteorologia é a ciência que estuda os processos físicos, químicos e dinâmicos da atmosfera e as interações desses processos com os sistemas litosfera, hidrosfera, criossfera e biosfera, sendo, portanto, inserida no contexto das Ciências Ambientais.” Ynoue (2017, p.7).

No entanto, é importante reconhecer que a integração desses conceitos também pode gerar desafios. A complexidade da interação entre atmosfera e geografia muitas vezes exige uma abordagem holística e as fronteiras entre esses campos podem ser difusas. Além disso, as mudanças climáticas globais adicionam uma dimensão urgente à interseção entre meteorologia, clima e geografia, destacando a necessidade de uma compreensão abrangente e ação coordenada entre diversos fatores como os sociais, econômicos e políticos por exemplo.

Os conceitos de tempo, clima nas análises da meteorologia e geografia formam uma rede intrincada que necessita de ampla compreensão no ambiente terrestre. A sua análise crítica permite uma visão mais completa dos desafios e oportunidades associados às dinâmicas atmosféricas e geográficas, promovendo a busca por soluções sustentáveis e resilientes em um mundo em constante transformação.

Diante desse contexto multifacetado, este capítulo busca amalgamar os aportes de consagrados estudos, integrando a climatologia urbana, a física térmica, meteorologia e a geografia. Neste diálogo entre ciências e disciplinas, foi considerado não apenas avançar no entendimento das ilhas de calor, mas também contribuir para uma abordagem mais holística e integrada da complexidade dos espaços urbanos contemporâneos.

1.1 Ilha de calor: fundamentação teórica

Seguindo os princípios da metodologia proposta para esta pesquisa, coletar informações adquiridas por imagens térmicas captadas por uma câmera acoplada em um *Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)* ou Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada e os índices e valores coletados nas estações meteorológicas de Nova Iguaçu presentes na Escola Estadual Mestre Hiran e outra na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto Multidisciplinar, se faz pertinente avançar por uma visão mais clássica sobre os estudos de ilha de calor percorrendo os princípios de Monteiro (1976) para depois se aproximar das atuais pesquisas no que diz respeito a avanços tecnológicos.

A ilha de calor é um fenômeno climático que se caracteriza pelo aumento da temperatura do ar e da superfície nas áreas centrais urbanas em relação ao seu entorno. Esse fenômeno pode ser identificado por diferentes métodos e técnicas que resultam em diferentes tipos de ilha de calor. Trabalhos consagrados como os da professora Brandão (1996) e Oke *et al.* (2017) corroboram para a identificação e classificação de tais ambientes.

O esboço apresentado na Figura 1 sumariza as variações de temperatura em diferentes superfícies, evidenciando um aumento expressivo nas áreas urbanas centrais. As isotermas representadas - linhas que conectam pontos de igual temperatura em uma determinada área, “se equivale a leitura de um mapa topográfico, que comunica ao leitor através das curvas de nível as cotas altimétricas de maior e menor valor” segundo Fialho (2009, p. 36). Afastando-se dos centros urbanos a vegetação exerce um efeito moderador nas temperaturas, principalmente devido à interação entre a radiação solar e a superfície urbana. Assim sendo, parte da energia incidente é direcionada para os processos de evaporação e evapotranspiração, englobando tanto a evaporação do solo quanto a transpiração das plantas (Fialho, 2009).

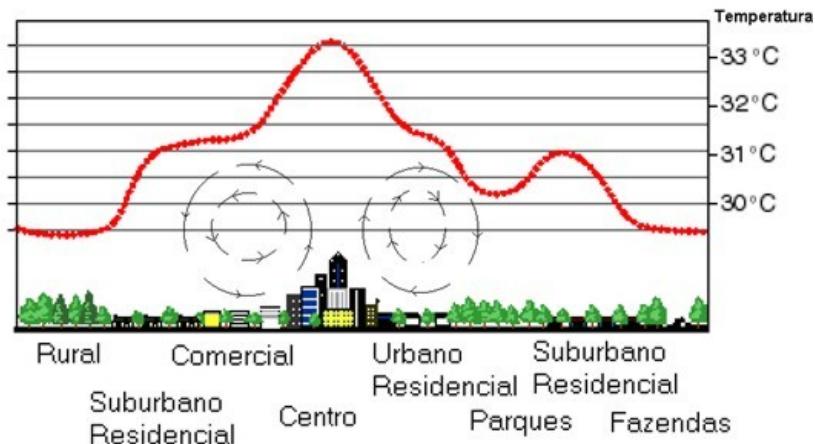


Figura 01: Esquema do comportamento de uma ilha de calor.

Fonte: IBRAM, 2023, p. 01

A situação apresentada na figura 01 pode ser explicada da seguinte maneira

As zonas urbanas são mais quentes que as áreas periféricas devido à diferença de ganho e perda de energia em cada região. Isto é, apresentam menor taxa de evapotranspiração e a maior parte da radiação de onda curta (solar) e de onda longa (terrestre) ficam aprisionadas entre as construções. Por outro lado, as regiões rurais têm maiores taxas de evapotranspiração e apresentam menor obstrução para a saída destas radiações de volta para o espaço (Gamarra, 2012, p.07).

O balanço de radiação e energia⁶ em ambientes urbanos é um tema importante para entender como as cidades interagem com o ambiente circundante. Em áreas urbanas, o balanço de radiação e energia é influenciado por uma série de fatores, incluindo construções, estradas, vegetação e características climáticas locais. Essa complexa interação, para que ocorra o aquecimento do ar, pode ser assim explicada:

O ar é diatérmico, ou seja, transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual sua temperatura não é consequência da ação direta dos raios do Sol se explica por processos indiretos: a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Eleva-se assim sua temperatura e somente então, por convecção, se aquece o ar. A temperatura do ar é consequência de um complexo balanço energético (Rivero, 1986, p.75).

De acordo com Oke *et al.* (2017, p.157) o balanço energético de superfície “descreve o resultado líquido das trocas de energia por radiação, convecção e condução entre uma faceta, um elemento ou uma superfície terrestre e a atmosfera”. Uma discrepância nesse balanço pode resultar em mudanças de temperatura e clima local.

Para realizar cálculos precisos do balanço de radiação em espaços urbanos, são usados equipamentos de medição, como estações meteorológicas e sensores de radiação. Modelos computacionais também são empregados para simular e prever as trocas de energia na atmosfera urbana (Varejão-Silva, 2023). Em alguns estudos a metodologia empregada para se

⁶ Tal balanço é o estudo da troca de energia radiante entre a superfície urbana e a atmosfera. Ele é importante para entender o clima urbano, pois a alteração do balanço de radiação pode levar a mudanças na temperatura, umidade, precipitação e outros fatores climáticos (Rivero, 1986).

afferir as temperaturas atmosféricas baseia-se em transectos (fixos ou móveis) pelo interior da cidade⁷.

Alguns estudos cooperam para o entendimento do impacto das áreas urbanas no clima local e global, bem como para o desenvolvimento de estratégias de mitigação das ilhas de calor e outros problemas relacionados ao clima urbano. Pode-se citar o trabalho desenvolvido por Oliveira (2012) que explorou em sua tese de doutorado o comportamento dos componentes do balanço de energia para duas áreas: uma com cobertura de gramado e outra com cobertura asfáltica, em área urbana na cidade de Recife-PE e outro autor Angeline (2015) em sua dissertação de mestrado na área de física ambiental estudou a variação temporal e espacial do balanço de radiação e energia em área urbana por técnicas de sensoriamento remoto.

Abaixo segue a figura 02 representando dos fluxos no balanço energético de superfície que compara uma área não urbana e outra urbanizada.

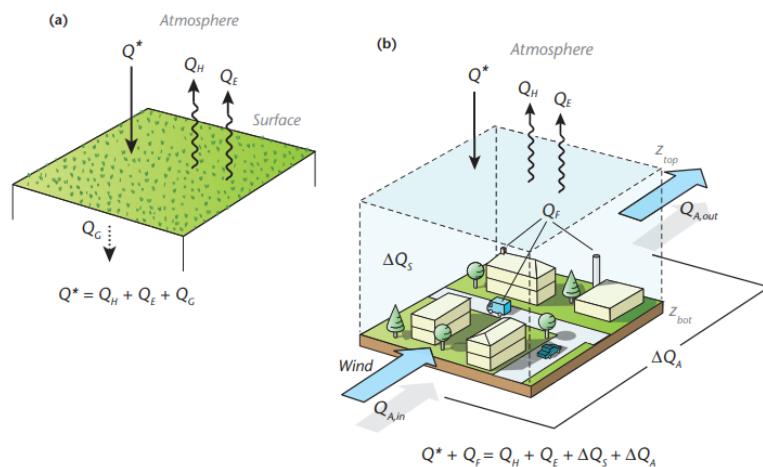


Figura 02: Balanço energético de superfície

Fonte: Oke *et al.*, 2017, p.157.

Onde, para cada uma das setas temos:

Q^* = Radiação líquida de onda total

Q_H = Densidade de fluxo de calor sensível

Q_E = Densidade de fluxo de calor latente

Q_G = Densidade do fluxo de calor do solo

Q_f = Fluxo de calor antropogênico

ΔQ_S – a variação líquida do armazenamento de calor por todo o tecido da cidade, incluindo os seus materiais de construção, árvores, solo e ar contidos no volume.

$Q_A.in$ = Entrada do vento no sistema analisado

$Q_A.out$ = Saída do vento no sistema analisado

ΔQ_A – Energia líquida adicionada ou subtraída ao volume por transporte pelo vento através de qualquer um dos lados do volume.

Fonte: Oke *et al.*, 2017, p.157.

⁷ A excelente obra que norteia muitos trabalhos é o da professora Ana Maria de Paiva Macedo Brandão (Brandão, 1996). Outro mais recente está sendo desenvolvido pela prof.^a Dr.^a Núbia Beray Armond (coordenadora do GeoClima e do Observatório do Calor – UFRJ) onde está sendo aplicado o uso de um novo equipamento para medição em transectos móveis (Azevedo, 2023).

Entre essas variáveis, a radiação líquida de onda total (Q^*) desempenha um papel central, representando a diferença entre a radiação solar incidente e a radiação térmica emitida pela superfície.

Além disso, a densidade de fluxo de calor sensível (QH) e a densidade de fluxo de calor latente (QE) são componentes cruciais desse balanço, refletindo a contribuição de calor resultante das trocas térmicas entre a superfície e a atmosfera. O fluxo de calor do solo (QG) acrescenta outra dimensão, representando a energia transferida entre a superfície terrestre e as camadas mais profundas do solo.

A inclusão do fluxo de calor antropogênico (QF) reconhece o impacto das atividades humanas nesse equilíbrio delicado, representando as alterações na distribuição de calor causadas por fatores como urbanização e atividades industriais (Gartland, 2010). A variação líquida do armazenamento de calor (ΔQS) destaca a importância de considerar não apenas os fluxos instantâneos, mas também as mudanças de armazenamento ao longo do tempo.

A entrada e saída do vento ($QA.In$ e $QA.Out$) são variáveis essenciais, pois representam a contribuição do transporte convectivo na redistribuição de calor na superfície. A variação líquida de energia pelo vento (ΔQA) reflete a influência do movimento do ar na dinâmica do balanço energético (Oke *et al.*, 2017).

Portanto, ao analisar o balanço energético de superfície, é crucial considerar a interconexão e a influência mútua dessas variáveis, proporcionando uma compreensão abrangente das trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre. Essa abordagem multidimensional possibilita o lidar com questões relacionadas ao clima, urbanização e mudanças ambientais.

Ao elaborar o esquema anterior (figura 02) Oke *et al.* (2017) considerou em áreas rurais (esquema A) que durante o dia, o calor é conduzido para o solo ou transferido para a atmosfera inferior, enquanto à noite ocorre o inverso, com a superfície emitindo radiação e esfriando. Esse processo é equilibrado por diferentes fluxos de calor, como o calor conduzido do subsolo e o transporte de energia da atmosfera para a superfície. A estabilidade atmosférica durante a noite suprime a convecção. O autor também menciona a diferença de fase nos padrões diários de diferentes componentes de fluxo de calor, influenciada por características da superfície e do estado atmosférico.

Já no esquema B o autor trata do balanço de energia de superfícies urbanas, explicando que para cada superfície urbana individual, como telhado, parede, estrada ou solo, o balanço de energia segue uma equação específica. No entanto, quando várias dessas superfícies estão interligadas para formar unidades urbanas maiores, como edifícios, bairros ou cidades inteiras, torna-se impraticável lidar com cada superfície individualmente, fato que chamei atenção na introdução desta pesquisa. Em vez disso, é necessário considerar camadas ou volumes dentro dos quais podem existir fontes ou sumidouros de energia.

Considerando que o balanço de energia de um volume urbano não é simplesmente a soma dos balanços de energia das superfícies constituintes, Oke *et al.* propõem que

The formulation for such a volume energy balance, that represents the response of the entire urban ecosystem, has to provide for three new realities: firstly, new sources and sinks within the volume need to be added; secondly, energy exchange may occur across any or all sides of the volume, not only the top; and thirdly, different facets need to interact (Oke *et al.*, 2017, p. 159).⁸

8 Tradução do autor “A formulação de um balanço energético desse volume, que representa a resposta de todo o ecossistema urbano, tem que prever três novas realidades: em primeiro lugar, novas fontes e sumidouros dentro do volume precisam ser adicionados; em segundo lugar, a troca de energia pode ocorrer em qualquer ou todos os lados do volume, não apenas no topo; e, em terceiro lugar, diferentes facetas precisam interagir” Oke *et al.* (2017, p. 159).

O balanço de energia entre áreas urbanas e rurais é explicado por meio da definição de duas camadas principais nas quais ocorrem as interações da radiação solar entre a superfície e a atmosfera.

Na área urbana, a primeira camada é conhecida como Camada Limite Urbana (CLU) ou Urban Boundary Layer (UBL), iniciando-se verticalmente na altura média dos telhados e estendendo-se horizontalmente até o limite da cidade. Nessa camada, ocorrem processos físicos decorrentes das atividades urbanas, como fluxos de calor e emissão de poluentes. A segunda camada urbana, chamada de Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) ou Urban Canopy Boundary Layer (UCL), estende-se desde o solo até a altura média dos telhados e é onde ocorrem as trocas de calor entre as estruturas urbanas (Gamarra, 2012).

No ambiente rural, a Camada Limite Rural (CLR) é definida, dependendo da altura característica da vegetação. A CLR é dividida em duas camadas principais, sendo a primeira mais estável, com velocidade do vento constante dentro do dossel, e a segunda, mais acima, com aumento da velocidade do vento com a altura. Quando a área urbana diminui em direção à área rural, a CLD desaparece, deixando apenas a CLU, que, sob a influência do vento, pode se estender sobre a CLR, formando uma pluma urbana mais quente acima da camada rural (Gamarra, 2012).

A figura 03, abaixo, ilustra bem o que se vem descrevendo a respeito das Camadas sobre os ambientes rurais e urbanos.

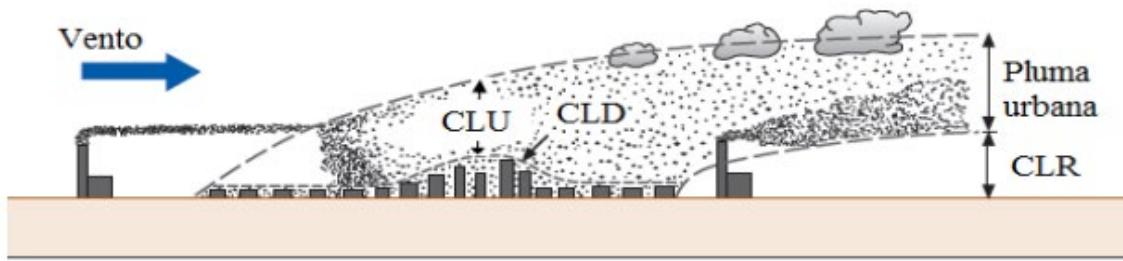


Figura 03: Representação da Camada Limite Urbana (CLU), Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) e Camada Limite Rural (CLR).

Fonte: Gamarra, 2012, p. 9.

Esse sistema de camadas, influenciadas por fatores como características da rugosidade da superfície (prédios, casas, rodovias dentre outros), estabilidade atmosférica e condições sinóticas de tempo, descreve as complexas interações de energia entre ambientes urbanos e rurais, com implicações importantes para compreender os padrões térmicos locais.

Em um artigo sobre o conceito de Ilha de calor Fialho (2012) propõe uma reflexão sobre o conceito de ilha de calor e os seus tipos, destacando as suas diferenças, métodos de verificação e limitações. Um dos tipos de ilha de calor abordado pelo autor é a **ilha de calor atmosférica**, que denuncia as modificações dos parâmetros climáticos na camada basal da troposfera, causadas pelo uso e cobertura da terra nas paisagens urbanas e rurais. Esse tipo de ilha de calor pode ser observado por meio de transectos móveis ou fixos, que registram a temperatura do ar ao longo de um perfil que se inicia na área rural e termina no centro urbano.

A ilha de calor atmosférica apresenta uma variabilidade temporal, sendo mais evidente no período noturno em cidades de latitudes médias, mas podendo ocorrer também no período diurno em cidades tropicais, dependendo da localização latitudinal, da orientação das vertentes e da geometria dos vales urbanos (Fialho, 2012).

O modelo proposto por Oke (1981) visa compreender os fenômenos que ocorrem dentro da UCL, especialmente em relação ao desenvolvimento da ilha de calor noturna devido à geometria dos cânions e às propriedades térmicas das superfícies. O autor ajuda a compreender o clima urbano, destacando duas escalas: a camada de cobertura urbana (UCL – Urban Canopy Layer) e a Camada Limite Urbana (UBL Urban Boundary Layer). A UCL abrange a área desde o solo até o nível médio das coberturas das edificações, influenciada por processos em microescala, como aqueles ocorridos entre prédios e nas ruas. Por outro lado, a UBL se estende do nível médio dos telhados até a área de influência da cidade na atmosfera, sendo mais pronunciada em locais com grande rugosidade urbana. O modelo de Oke (1978) destaca a influência das atividades humanas intra-urbanas e do horário do dia na determinação da UBL, afetando o processo convectivo da atmosfera urbana.

Segundo Fialho (2012), à noite, a UBL contrai-se devido à estabilização vertical, mas a convecção forçada pode desestabilizar o ar na zona rural, resultando em advecção (ventos horizontais) sobre a cidade. Teoricamente, a UBL apresenta um perfil térmico vertical distinto das áreas rurais, influenciado pelo fluxo de calor antropogênico aumentado⁹, ilha de calor urbana e condições meteorológicas. Isso culmina na formação de uma ilha de calor vertical, evidenciando a complexa interação entre a malha urbana e o clima local.

Por fim, um terceiro tipo de ilha de calor é a **ilha de calor de superfície**, que se relaciona com a temperatura da superfície dos telhados e das copas das árvores nas áreas urbanas e rurais, captada por sensores remotos como satélites ou aviões. Esse tipo de ilha de calor pode ser visualizado em mapas termais, que mostram as isotermas da superfície com base nos valores absolutos ou relativos. A ilha de calor de superfície permite uma melhor apreensão das condições térmicas no contexto de toda a cidade, mas limita a análise ao nível dos telhados, não sendo equivalente à temperatura do ar dentro da cidade. Além disso, esse tipo de ilha de calor depende da emissividade e da resolução espacial dos sensores, o que pode gerar erros ou generalizações (Fialho, 2012).

Portanto, os tipos de ilha de calor são distintos entre si, tanto pela forma como são identificados quanto pelos aspectos que representam. A figura 04 detalha o que se está apresentando a respeito dos tipos de ilha de calor.

⁹ De acordo com Gartland (2010, p.34) "o calor sensível antropogênico é gerado pelas atividades humanas e é proveniente de diversas fontes, como edifícios, processos industriais, carros e até mesmo as próprias pessoas. Para determinar quanto calor antropogênico é produzido em uma determinada região, toda a utilização de energia (comercial, residencial, industrial e transporte) deve ser somada. A soma é então dividida pela área da região para permitir a comparação entre diferentes cidades."

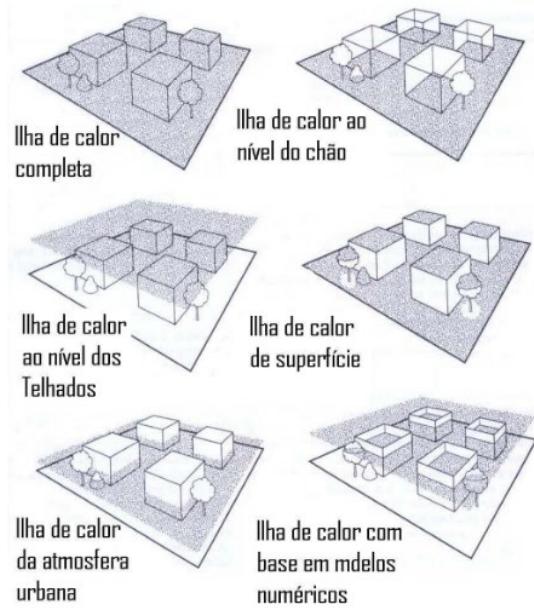


Figura 04: Visualização do modelo proposto por Voogt e Oke (1997) de temperatura completa, assim como os demais tipos de temperatura do ar mensurada.

Fonte: Voogt e Oke *apud* Fialho, 2012, p. 71.

Cada tipo de análise sobre a identificação de ilha de calor tem suas vantagens e desvantagens, e nenhum pode ser considerado como o único ou o mais adequado para o estudo do clima urbano. É preciso reconhecer as diferenças e as limitações dos métodos e das técnicas empregadas, bem como buscar uma integração entre eles, para uma melhor compreensão do fenômeno da ilha de calor nas cidades. No que diz respeito ao desenvolvimento desta pesquisa seguiremos a proposta que trata da ilha de calor de superfície definida por Voogt e Oke (1997, p. 1122) que propõem o estudo da temperatura da superfície urbana completa apontando o uso de uma emissividade urbana geral expondo que não necessariamente deve haver uma correção completa das temperaturas aparentes da superfície em uma base pixel a pixel.

1.2 Construção das bases para o entendimento de imagens térmicas

Ao iniciar este tópico, adentramos nos campos da meteorologia, climatologia e geografia onde a compreensão dos conceitos físicos assume um papel central na análise e interpretação de imagens térmicas¹⁰. Os conceitos físicos abordados neste estudo formam a base sólida necessária para decifrar os fenômenos climáticos capturados por meio dessas imagens. Entre esses fundamentos, destacam-se elementos como radiação, irradiação, energia, espalhamento, absorção, albedo, balanço de radiação, condução, convecção e emissividade, cada um desempenhando um papel essencial na caracterização das interações entre a atmosfera, a superfície terrestre e a energia solar incidente.

Aprofundando-se nesses conceitos não apenas enriquecemos nossa compreensão sobre os processos meteorológicos, mas também lança luz sobre a habilidade crucial de interpretar e extrair informações valiosas a partir das imagens térmicas, contribuindo assim para avanços no campo da meteorologia e climatologia.

¹⁰ A metodologia empregada para a coleta de dados desta pesquisa inclui a captura de imagens térmicas daí a significância da abordagem que se apresenta a seguir.

Iniciamos a abordagem diferenciando radiação e energia. Ambos são conceitos relacionados, mas têm significados diferentes. A energia¹¹ é uma grandeza que pode assumir várias formas e está relacionada à capacidade de realizar trabalho com o potencial de gerar movimento¹², enquanto a radiação se refere à emissão de partículas ou ondas carregadas de energia a partir de uma fonte (Rivero, 1986). Em outras palavras, podemos entender que a energia pode estar associada à radiação quando essa radiação transporta energia, como é o caso da luz solar, que é uma forma de radiação eletromagnética carregada de energia (Oke *et al.*, 2017).

A radiação é “descrita como uma série de ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda (λ) que emanam do objeto irradiante” (Oke *et al.*, 2017, p. 123). Essas partículas ou ondas carregam energia e podem se propagar pelo espaço (irradiação). Existem diferentes tipos de radiação, como radiação eletromagnética (incluindo luz visível, raios X e radiação ultravioleta) e radiação de partículas (como partículas alfa, beta e nêutrons). A figura 05 abaixo permite uma análise melhor sobre os tipos de radiação.



Figura 05: Tipos de radiação
Fonte: Adaptado de World Health Organization *apud* INCA, 2023, p. 01.

A radiação pode ser natural, como a radiação solar, ou artificial, como a radiação emitida por equipamentos médicos. A autora Grimm destaca que

Quando a atmosfera absorve radiação terrestre ela se aquece e eventualmente irradia esta energia, para cima e para baixo, onde é novamente absorvida pela Terra. Portanto, a superfície da Terra é continuamente suprida com radiação da atmosfera e do Sol. Esta energia será novamente emitida pela superfície da Terra e uma parte retornará à atmosfera que, por sua vez, reirradiará uma parte para a Terra e assim por diante. Este jogo entre a superfície da Terra e a atmosfera torna a temperatura média da Terra ~ 35° C mais alta do que seria. Sem os gases absorvedores da nossa atmosfera, a Terra

¹¹ A energia é uma grandeza física. Ela existe em diversas formas. Pode-se apresentar como energia mecânica que está subdividida em duas: **Cinética** - associada ao movimento de objetos e a **energia potencial**. Esta última se divide em **gravitacional** (armazenada em sistemas físicos, como um objeto em altura) e **elástica** (é a energia armazenada em objetos elásticos, como molas, quando são deformados). Apresenta-se também como exemplos a **energia térmica** (associada à temperatura de um corpo), **energia elétrica** (transporte de elétrons em um circuito), entre outras. A energia não é diretamente observável, mas suas transformações e efeitos são evidentes em diversos aspectos da física (Rivero, 1986).

¹² O trabalho é uma grandeza que descreve a quantidade de energia transferida quando uma força age sobre um objeto e o desloca por uma certa distância na direção da força (Rivero, 1986).

não seria adequada para a vida humana e muitas outras formas de vida. Este fenômeno extremamente importante tem sido denominado efeito estufa (Grimm, 2023, p.28).

A energia e a radiação desempenham papéis fundamentais nos estudos atmosféricos, fornecendo subsídios cruciais sobre os processos complexos que ocorrem na atmosfera terrestre. A energia solar é a principal fonte de energia para a atmosfera, impulsionando os padrões climáticos e influenciando diretamente fenômenos meteorológicos. A absorção diferencial de radiação solar pela superfície terrestre e pela atmosfera cria gradientes de temperatura que são essenciais para a formação de ventos e correntes atmosféricas. Além disso, a radiação infravermelha, resultante do aquecimento terrestre, é crucial para entender o fenômeno do efeito estufa e seu impacto no clima global (Ayoade, 1996).

A utilização de tecnologias baseadas em energia e radiação, como satélites meteorológicos e radares, têm revolucionado a capacidade de monitorar e prever eventos atmosféricos. Essas ferramentas fornecem dados precisos sobre a distribuição de temperatura, umidade e padrões de vento em diferentes camadas da atmosfera. Ao compreender como a energia é transferida e distribuída na atmosfera, pode-se aprimorar os estudos climatológicos.

Todos os objetos com temperaturas acima do zero absoluto (0K) emitem radiação. Essa emissão pode ser caracterizada como um conjunto de “ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda que emanam do objeto irradiante” (Oke *et al.*, 2017, p. 123).

A radiação solar, que consiste em ondas curtas (conhecida como radiação "solar"), é emitida pelo Sol. Por outro lado, a radiação que é emitida da Terra e sua atmosfera é de onda longa, frequentemente chamada de radiação "terrestre" ou "infravermelho térmico" (Oke *et al.*, 2017, p. 123).

A despeito da alta transparência da atmosfera à radiação solar incidente, apenas cerca de 24% dela chega à superfície terrestre diretamente, sem que a atmosfera interfira, constituindo o que é chamado de insolação direta. A maior parte dessa radiação ou é refletida de volta ao espaço, absorvida ou espalhada em diversas direções até chegar à superfície terrestre ou retornar ao espaço. O destino da radiação, isto é, se ela será absorvida, espalhada ou refletida, depende principalmente do comprimento de onda da energia transportada e das propriedades do material presente no seu caminho, incluindo tamanho e natureza (Ayoade, 1996).

Ainda de acordo com Ayoade

em outras palavras, a atmosfera age como o vidro numa estufa, admitindo a radiação solar, mas não permitindo que a radiação terrestre saia para o espaço. A atmosfera reirradia a radiação terrestre e solar absorvida, em parte para o espaço e em parte de volta para a superfície terrestre (contra-radiação) (Ayoade, 1996, p. 36).

A radiação solar incidente é uma importante fonte de energia para o planeta. No entanto, a atmosfera terrestre interage com a radiação solar por meio de três processos principais: absorção, reflexão e transmissão. Esses processos influenciam a quantidade de radiação solar que chega à superfície da Terra, o que pode ter consequências significativas para o clima e o meio ambiente.

A trajetória linear da radiação solar (na ausência de qualquer meio como no espaço), é relativamente simples, pois a radiação viaja em linhas retas e na velocidade da luz (Oke *et al.*, 2017). A presença de gases e aerossóis na atmosfera pode resultar na sua dispersão, fazendo com que ela se disperse em múltiplas direções, incluindo para cima, para baixo e para os lados.

Espalhamento se refere ao fenômeno em que a radiação, como a luz ou partículas, é dispersa em diferentes direções quando encontra um obstáculo ou interage com aerossóis. Oke *et al.* define a interação da radiação com os aerossóis da seguinte forma:

Os aerossóis têm efeitos diretos e indiretos na transferência de radiação. Os efeitos diretos incluem espalhamento, ou seja, redirecionamento do feixe de seu caminho original, e absorção. Retroespalhamento refere-se a um redirecionamento no hemisfério em direção à fonte e é equivalente à reflexão (Oke, 2017, p.126).

A radiação solar, ao tocar um corpo, pode ser absorvida, refletida ou transmitida (refratada). Se considerarmos a energia incidente em um corpo (desconsiderando os valores reais e as proporções) pode-se, esquematicamente, representar conforme a figura 06. o que se processa fisicamente.

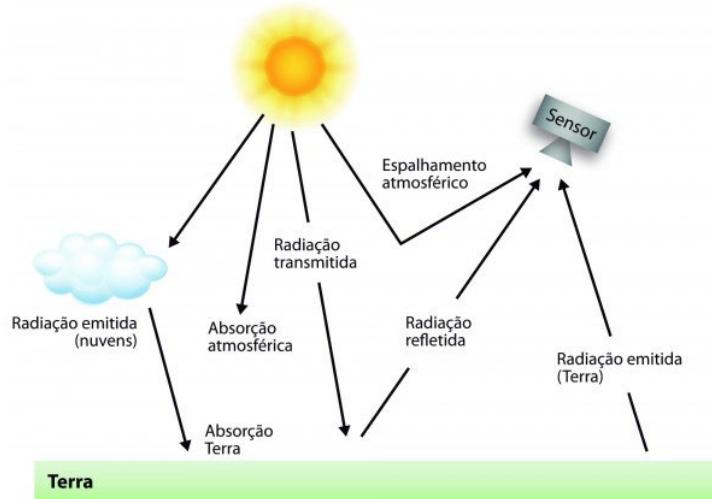


Figura 06: Caminho da radiação eletromagnética na atmosfera terrestre
Fonte: Alves, 2024, p. 1.

De uma maneira simplificada podemos considerar que a radiação absorvida é aquela que atravessa um corpo e se transforma em energia térmica ou calor. Reflexão se refere ao processo no qual a luz incidente em uma superfície é refletida de volta sem ser absorvida. Ela é comumente usada para descrever como a luz incidente em um objeto é refletida de volta na direção oposta, como um espelho refletindo a imagem de uma pessoa. A radiação transmitida refere-se à quantidade de energia que passa através de um material ou meio sem sofrer alteração no seu comprimento de onda. Esses processos são assim abordados por Rivero

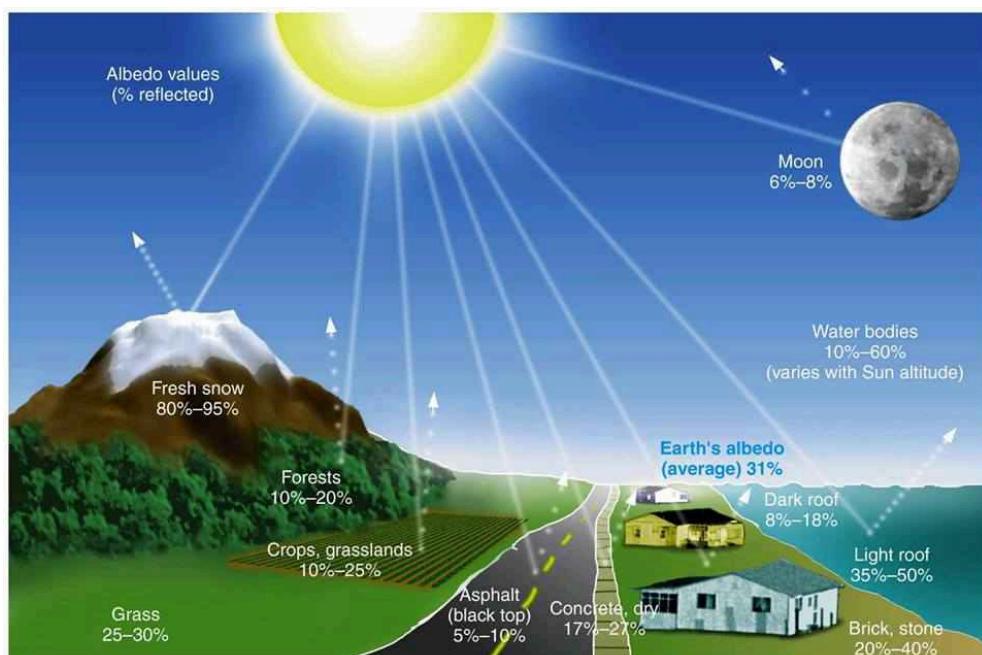
quando a energia radiante incide sobre um corpo ela é absorvida, refletida ou transmitida. Digamos, para evitar confusões, que quando nesses casos falamos de energia transmitida queremos dizer energia que atravessa o corpo por transparência, como ocorre no ar ou no vidro. Dissemos repetidas vezes que a energia radiante absorvida se transforma em energia térmica ou calor. No entanto, a radiação refletida e transmitida não sofre modificações alguma; se mantém os mesmos tipos de comprimento de ondas (Rivero, 1986, p.25).

A diferenciação de conceitos é importante para que não possamos incorrer sobre o senso comum e considerá-los como sendo a mesma coisa. Seguindo por essa seara pode-se apresentar o conceito de Albedo¹³.

¹³ **Albedo** é uma medida da reflexão da luz solar por uma superfície. É uma quantidade adimensional que varia de 0% a 100%. Um albedo de 0% significa que a superfície absorve toda a luz solar incidente, enquanto um albedo de 100% significa que a superfície reflete toda a luz incidente (Ayoade, 1996). Portanto é possível afirmar que nem toda reflexão é albedo, mas todo albedo é reflexão.

O albedo é um conceito importante na ciência climática que se refere à capacidade de uma superfície refletir a luz solar. Em outras palavras, ele mede a quantidade de energia solar que é refletida de volta para o espaço em comparação com a quantidade de energia que é absorvida. Superfícies com albedo alto, como neve e gelo, tendem a refletir a maior parte da luz solar que recebe. Por outro lado, superfícies com albedo baixo, como asfalto e áreas urbanas, absorvem mais calor (Ayoade, 1996).

O albedo da superfície desempenha um papel crucial no entendimento do balanço de radiação à superfície¹⁴. À medida que as superfícies de baixo albedo se expandem devido ao desenvolvimento urbano, a quantidade de calor absorvido aumenta, levando ao aumento das temperaturas. A figura 07 mostra como o Albedo sofre variação em diferentes corpos.



Tradução: Valores de Albedo (% refletidos)	
Lua	6%-8%
Neve fresca	80%-95%
Corpos de água (varia com a altitude do Sol)	10%-60%
Florestas	10%-20%
Culturas, pastagens	10%-25%
Grama	25-30%
Albedo da Terra (média)	31%
Telhado escuro	8%-18%
Telhado leve	35%-50%

¹⁴ O balanço de radiação à superfície é uma medida das trocas de energia que ocorrem entre a superfície da Terra e o ambiente circundante, em termos de radiação solar incidente, radiação térmica emitida pela superfície e radiação refletida ou dispersa. É uma parte fundamental do estudo do clima e da meteorologia, pois ajuda a entender como a energia solar é absorvida, refletida e emitida pela Terra (Ayoade, 1996).

Asfalto (parte superior preta)	5%-10%
Concreto seco	17%-2%
Tijolo, pedra	20%-40%

Figura 07: Albedo de vários tipos de superfícies

Fonte: Christopherson, 2012, p.30.

De acordo com Oke *et al.*

Albedo e emissividade são ferramentas poderosas para arquitetos e urbanistas. A aparência exterior das cidades em climas quentes é uma evidência da eficácia de escolhas simples, como pintar paredes com cal ou telhados com telhas de cor clara. Tais escolhas também afetam a rua, o bairro ou todo o orçamento de radiação urbana (Oke *et al.*, 2017, p. 130).

Entender e monitorar o albedo da superfície é fundamental para a pesquisa climática e a tomada de decisões relacionadas ao meio ambiente. A exemplo disso temos, em uma escala mais ampla como os estudos sobre efeito estufa. O efeito estufa é o aquecimento da Terra devido a retenção do calor na atmosfera. O balanço de radiação (equilíbrio entre a energia solar recebida e a energia emitida pela Terra) só vai ocorrer se considerarmos, dentre outros fatores, o albedo dos corpos (Ruddiman, 2008).

Estratégias de mitigação das mudanças climáticas frequentemente consideram a importância de preservar superfícies de alto albedo e promover a utilização de materiais de albedo mais elevado em ambientes urbanos para ajudar a reduzir o impacto climáticos. Conforme Gamarra (2012, p.17) “Alguns exemplos de tais materiais e técnicas são o recobrimento de paredes exteriores com materiais brancos, e o revestimento do telhado dos edifícios e residências com cascalhos, azulejos ou membranas brancas.”

Nas análises desenvolvidas por Oke *et al.* (2017) sobre as propriedades de radiação do dossel urbano o autor considerou os efeitos do albedo e emissividade¹⁵ do tecido urbano em dois momentos. No primeiro foi analisado as trocas de radiação nas facetas de um edifício cúbico, depois as interações entre edifícios para se obter a resposta da 'superficie' urbana que caracteriza a Urban Canopy Layer.

O autor chama atenção para um edifício cúbico isolado (sem interferência de outras construções próximas) em uma latitude de 42°N em um dia de solstício de inverno no hemisfério Norte (figura 08). O movimento aparente do Sol permite a configuração da sombra deste mesmo edifício conforme a figura. Oke *et al.* (2017, p. 132) afirma que “garantir um bom acesso solar para a parede voltada para o equador de um edifício em um local de alta latitude com um clima frio, é um importante princípio de projeto”. O que se coloca é que as paredes voltadas para Leste, Sul e Oeste (no hemisfério norte) são mais irradiadas ao longo do dia e por esta razão suas sombras e suas reflexões podem interferir em análises climáticas urbanas.

¹⁵ Esse conceito será melhor abordado mais adiante.

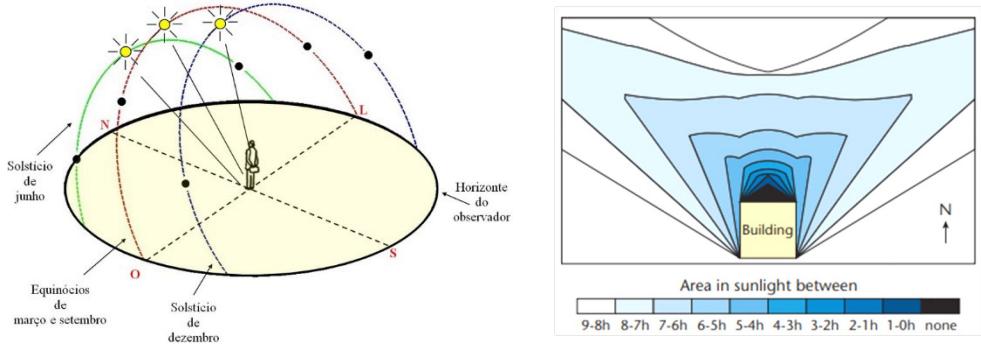


Figura 08: Variação da posição do plano da trajetória do Sol no céu ao longo do ano para um observador no hemisfério sul e a configuração de sombra de um edifício isolado

Fonte: Costa, 2018, p. 02 e Oke *et al.*, 2017, p.132.

Ainda de acordo com o material desenvolvido por Oke *et al.* (2017) um cânion urbano pode ser considerado um desfiladeiro bidimensional onde há impactos de radiação de ondas curtas. A reflexão e a absorção da radiação no interior deste desfiladeiro podem ocorrer como um processo que se repete indefinidamente. A figura 09 ilustra o que se está descrevendo.

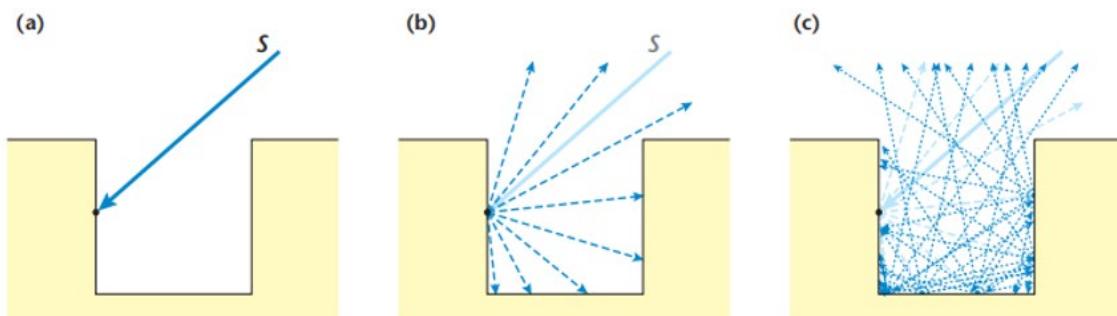


Figura 09: Impacto da configuração geométrica de um cânion urbano nas trocas de radiação

Fonte: Oke *et al.*, 2017, p. 135.

As trocas de energia entre as construções diminuem progressivamente, pois cada unidade absorve uma fração da radiação que recebe, no entanto o calor tende a ser gerado e aprisionado nesse ambiente.

A transmissão de calor é um fenômeno fundamental da física que desempenha um papel importante na meteorologia e na climatologia. A transferência de calor ocorre por três mecanismos principais: condução, convecção e irradiação¹⁶ (Rivero, 1986). Tal processo é

¹⁶ **Condução:** A condução térmica é um processo de transferência de calor que ocorre quando duas substâncias a diferentes temperaturas entram em contato direto. A energia térmica flui do corpo mais quente para o mais frio por meio das colisões entre as partículas dos materiais envolvidos (Grimm, 2023). Materiais condutores, como metais, geralmente têm uma boa capacidade de condução de calor. De acordo com Grimm (2023, p.30) “à condução só é importante entre a superfície da Terra e o ar diretamente em contato com a superfície. Como meio de transferência de calor para a atmosfera como um todo a condução é o menos significativo e pode ser omitido na maioria dos fenômenos meteorológicos.”

Convecção: A convecção é um processo de transferência de calor que ocorre em fluidos, como líquidos e gases. A transferência de calor ocorre quando as partículas quentes se deslocam para cima e as partículas frias se deslocam para baixo, criando uma corrente de convecção (Aguilar, 2017).

Irradiação: Nesse momento convém chamar a atenção para o detalhe em que a **radiação é um fenômeno, enquanto irradiação é um processo** (Rivero, 1986).

importante porque afeta a temperatura da atmosfera, da superfície terrestre e dos oceanos. A temperatura, por sua vez, é outro fator relevante que determina os padrões de tempo e clima (Gamarra, 2012; Rivero, 1986; Varejão-Silva, 2006).

Em meteorologia, a convecção descreve o movimento vertical do ar devido ao aquecimento da superfície da Terra. Isso é fundamental para a formação de nuvens, trovoadas e padrões climáticos. Na atmosfera, o aquecimento envolve os três processos, radiação, condução e convecção, que ocorrem simultaneamente. O calor transportado pelos processos combinados de condução e convecção é denominado calor sensível (Varejão-Silva, 2006).

Dando continuidade as análises de conceitos físicos que contribuem para o entendimento climatológico, valem ressaltar a importância da emissividade. A emissividade é uma propriedade de um material que descreve sua eficiência em emitir radiação térmica. Pode-se considerar que “os valores de emissividade estão compreendidos entre 0 e 1; eles dependem tanto da natureza do corpo quanto de sua temperatura [...]” (Rivero, 1986, p. 24), onde 0 indica uma superfície perfeita refletora e 1 indica uma superfície perfeita emissora. Materiais com alta emissividade tendem a absorver e irradiar bem a energia térmica. A emissividade é uma consideração importante ao interpretar imagens termais, pois ajuda a determinar a quantidade de radiação térmica emitida por diferentes objetos.

O conceito em tela é importante na física pois descreve a capacidade de um objeto emissor de radiação térmica emitir energia na forma de radiação eletromagnética, especialmente radiação infravermelha (Rivero, 1986).

Diante do exposto, pode-se considerar que a emissividade de um objeto depende de vários fatores, incluindo sua composição, textura, temperatura e comprimento de onda da radiação em questão. Superfícies ásperas e opacas geralmente possuem emissividades mais próximas de 1, enquanto superfícies lisas e metálicas podem ter emissividades mais baixas (Silva, 2007).

Compreender tal parâmetro é importante pois pode-se aplicar em múltiplas áreas, como na engenharia térmica, no projeto de sistemas de aquecimento e resfriamento, na detecção remota de temperatura por infravermelho, e em outras áreas da geografia física que envolva a transferência de calor e a radiação térmica. Ela desempenha um papel crucial no cálculo da radiação térmica emitida por um corpo negro, que é um corpo idealizado que absorve toda a radiação incidente e emite radiação de acordo com a lei de Planck¹⁷ (Vianna, 2018). A figura 10 a seguir auxilia no entendimento do que se pretende.

¹⁷ A lei de Planck é uma lei da física que descreve a distribuição de energia da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro. Um corpo negro é um objeto que absorve toda a radiação eletromagnética que incide sobre ele e não reflete ou transmite nenhuma radiação (Rivero, 1986; Silva, 2007).

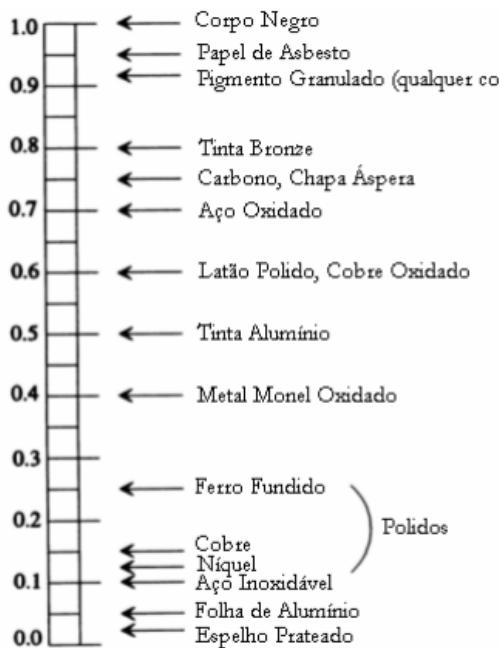


Figura 10: Valor da emissividade para alguns materiais
Fonte: Silva, 2007, p.17.

Ao interpretar imagens térmicas, deve-se levar em conta esses princípios para compreender como o calor está sendo transferido e como os objetos estão interagindo com a radiação térmica, levando em consideração a emissividade dos materiais envolvidos (Menezes, 2022).

O autor Menezes afirma que

No que se refere a radiação infravermelha, quanto mais quente está o objeto, maior a radiação para uma mesma emissividade. A captação das imagens de calor (termogramas), não visíveis pelo olho humano, é desenvolvida através da câmera termográfica que é o aparelho essencial para a realização do ensaio, tornando mais ágil a inspeção e a detecção das manifestações patológicas de forma não destrutiva (Menezes, 2022, p.5).

É possível haver confusão na análise de imagens térmicas quando se trata de corpos com baixa emissividade, como o aço. Corpos com baixa emissividade tendem a refletir mais a radiação térmica ao seu redor, em vez de emitir uma quantidade significativa de radiação térmica própria (Menezes, 2022).

Silva chama atenção de como a emissividade deve ser considerada nas análises

Frequentemente a emissividade da maioria dos materiais é fornecida como apenas um simples número, e raras vezes como uma função do comprimento de onda ou da temperatura, a não ser que seja um material bem caracterizado. Para substâncias não-metálicas, tipicamente a emissividade é maior que 0,8 à temperatura ambiente e diminui com o aumento da temperatura. Já para substâncias metálicas, sem a superfície oxidada, a emissividade é muito baixa à temperatura ambiente, menor do que 0,3 mas aumenta com o aumento da temperatura (Silva, 2007, p. 17).

Na análise de imagens térmicas, a emissividade é uma variável importante a ser considerada, pois afeta diretamente as temperaturas aparentes registradas pela câmera térmica. Se a emissividade de um objeto não for corretamente ajustada na configuração da câmera, a

imensa imagem térmica pode mostrar temperaturas incorretas, levando a confusões na interpretação dos dados (Barbosa, 2014). A autora supracitada explica que “se nenhuma correção para atenuação for aplicada, o erro associado à temperatura medida por termografia é proporcional à distância entre termovisor e objeto” (Barbosa, 2014, p. 60)

Para evitar confusões na análise de imagens térmicas de objetos com baixa emissividade, é importante conhecer e ajustar a emissividade correta do material sendo observado na configuração da câmera. Isso garantirá que as leituras de temperatura sejam mais precisas e confiáveis. Além disso, é importante considerar outros fatores, como a emissividade variável com a temperatura e a influência de reflexos e emissões de outros objetos próximos (Barbosa, 2014).

Em aplicações práticas, entender a baixa emissividade de um objeto é importante em várias situações, como na termografia, onde a detecção de temperatura por meio de câmeras infravermelhas é usada para identificar pontos quentes ou frios em equipamentos elétricos, edifícios ou pavimentos urbanos. Em objetos com baixa emissividade, a medição da temperatura pode ser mais desafiadora, uma vez que eles não emitem radiação infravermelha de forma eficaz, e correções podem ser necessárias para obter leituras precisas (Menezes *et al.*, 2022).

De acordo com Oke e Voogt *apud* Callejas *et al.*, 2011, p. 209, “a emissividade urbana pode variar entre 0,87 a 0,97, com maior ocorrência na faixa de 0,92 a 0,95”. Tomando como referência tais valores, foi considera a emissividade de 0,95 para a generalização na construção do imageamento térmico dos ortomosaicos que seguem no capítulo IV desta dissertação.

1.3 Riscos climáticos e o processo climatologia - organização do clima - produção do clima

A contemporaneidade impõe desafios inegáveis à compreensão e gestão do espaço geográfico, demandando cada vez mais atenção às mudanças climáticas e seus correlatos riscos. O ambiente terrestre, palco de intensas transformações, tornou-se um campo de estudo crucial para a Geografia, que busca, cada vez mais, aprofundar sua compreensão sobre as complexas interações entre as atividades antrópicas e os fenômenos climáticos. Nesse contexto, a presente dissertação se propõe a mergulhar na intricada teia de relações entre o processo de formação das ilhas de calor na cidade de Nova Iguaçu e os riscos associados, sob a perspectiva de uma abordagem quantitativa (sob a ótica da climatologia geográfica) valendo-se de um recente equipamento que pode contribuir para o avanço dos estudos geográficos.

Em meio a eventos extremos cada vez mais intensos e num período cada vez mais curto, escassez hídrica, e fenômenos meteorológicos intensificados, formações de ilhas de calor faz-se imperativo não apenas compreender as dinâmicas geofísicas, mas também, e principalmente, as consequências para a sociedade desses processos (Mendonça, 2008; Sant’Anna Netto, 2011). A dimensão humana desse desafio revela-se não apenas nos impactos imediatos sobre as comunidades, mas também nas diferentes capacidades de adaptação e resiliência diante das adversidades climáticas (Nações Unidas, 2022). As mudanças nos padrões climáticos afetam de maneira desigual distintos grupos sociais, destacando a necessidade de uma abordagem sensível e inclusiva. Comunidades vulneráveis, muitas vezes dependentes de recursos naturais para subsistência, encontram-se diante de ameaças mais agudas, evidenciando a complexidade intrínseca às interações entre geografia, clima e sociedade (Sultana, 2014).

A análise dessas inter-relações, embasada em uma perspectiva humanizada, não apenas enriquece o campo de estudo geográfico, mas também oferece subsídios fundamentais para políticas públicas mais efetivas e direcionadas à mitigação e adaptação diante dos riscos

emergentes. Para exemplificar o que se está discutindo temos as obras de Mendes, Tommasselli (2019)¹⁸.

Para avançar na temática *risco* se faz necessário ancorar a conceituação. O conceito de risco está associado a acontecimentos futuros. Enchentes, deslizamentos, explosões em unidades fabris, novos vírus...¹⁹ Decerto, não podemos vê-los de forma concreta e materializada, entretanto é nossa tarefa, como cientistas, estabelecer cenários, previsões e medidas de mitigação e controle, ações de fundamental importância para aqueles que se interessam pelo planejamento ambiental, urbano, pelos riscos associados à economia, à biologia, dentre diversas outras áreas (Castro, 2021).

Castro argumenta que

quando pensamos em lidar com riscos, na origem, qual é a nossa preocupação? A preocupação já fornece-nos a resposta e adianta-nos o seu significado mais radical: a consciência da existência de ameaças. Estamos, portanto, preocupados com o futuro (Castro, 2021, p. 511).

Sobre esse tema Beck (1986 p. 40) afirma que “os riscos indicam um futuro que precisa ser evitado”, ou seja, orientado para que se permita um presente com mais segurança, pois só existe risco se tem uma população que pode ser afetada.

Incorrer pelos caminhos do risco zero, da eliminação de toda e qualquer incerteza para que se tenha um mundo sem riscos também não parece viável e aceitável para se manter um equilíbrio social. Tal fato é uma ficção e pode levar a uma vida enfadonha colocando inclusive a liberdade e a individualidade (Beck, 1986). O que se pretende é o gerenciamento do risco, é a sua redução e para isso deve-se considerá-lo como um fenômeno interativo que “torna os eventos individuais inherentemente incertos” (Beck, 1986 p. 60). A incerteza elimina padrões, pressupõe dúvidas, não permite quantificação. De acordo ainda com o autor “a incerteza não está no terreno do cálculo, mas do julgamento (...) se você não sabe ao certo o que acontecerá, mas conhece as probabilidades, isso é risco.”

A antecipação dos riscos se amplia com mais informações sobre os eventos e dinâmicas presentes em dada sociedade, mesmo considerando que os riscos não sejam apenas locais ou regionais. Pode-se estar distante fisicamente de situações que fogem ao controle como por exemplo os riscos climáticos (que ultrapassam fronteiras), mas é possível estar preparado para tal enfrentamento.

Nessa perspectiva de se compreender o conceito de risco a partir daquilo que se pode antever, se faz necessário definir os conceitos de confiança e segurança para que suas aplicações contribuam com esta dissertação.

Para Giddens (1991, p. 44 e 46) “confiança pode ser definida como crença na credibilidade de uma pessoa ou sistema, tendo em vista um dado conjunto de resultados ou eventos (...) ou na correção de princípios abstratos (conhecimento técnico)”. O mesmo autor discorre sobre segurança afirmando que esta é “uma situação na qual um conjunto específico de perigos está neutralizado ou minimizado”.

¹⁸ O autor destaca em seu artigo a pesquisa qualitativa com as margaridas (nome popularmente atribuído às varredoras de rua). Este trabalho traz as varredoras como centro das discussões e apresenta os riscos a que elas estão sujeitas. Mendes, Tommaselli (2019, p.29) apontam “o exemplo das margaridas e suas rotinas laborais. Nossas aproximações com uma varredora resultaram em discursos muito marcados pela ideologia defensiva. O que nos levou a concluir que esta tolera o fator de risco, no caso insalubridade térmica, devido ao temor ao desemprego, doenças ou acidentes de trabalho, o que se traduz como uma tragédia para aqueles(as) que dispõe apenas de sua força de trabalho para assegurar sua sobrevivência”

¹⁹ De todos os possíveis esta dissertação aponta para os riscos climáticos cujas análises se desdobrarão nas próximas linhas.

Desse modo depreende-se que só há risco quando há percepção do risco (portanto, onde há gente/sociedade) e esta mesma percepção se dá quando o conhecimento se faz presente e a confiança se instala, nas palavras de Giddens (1991, p. 41) “a confiança pressupõe consciência das circunstâncias de risco”.

Para as discussões geográficas, os conceitos em tela levantam possibilidades de análises ainda mais profundas sobre vários temas, dentre eles o processo de globalização. As articulações em torno das incertezas e dos cenários futuros para o planeta fazem crer que os riscos são cada vez mais globais, porém o enfrentamento dependerá de cada sociedade levando em consideração princípios como a capacidade técnica e financeira para amortecer os impactos (Veyret, 2007).

Diante do desafio contemporâneo de lidar com os riscos ambientais, a capacidade técnica e financeira emerge como um fator preponderante na equação que determina a resiliência de cada sociedade. Nesse contexto, é inegável que as disparidades socioeconômicas entre nações e comunidades exercem um papel crucial na formulação de estratégias eficazes de enfrentamento. Ainda que o discurso global destaque a necessidade de cooperação e solidariedade como nos aponta Santos (2000), a realidade revela que as abordagens adotadas, diante das dificuldades, por diferentes sociedades são permeadas por suas próprias condições materiais e culturais (Gottschalk-Druschke *et al.*, 2022).

A complexidade dessa dinâmica se revela nas experiências variadas de países em desenvolvimento, nos quais a carência de recursos técnicos e financeiros impõe limitações significativas às ações de mitigação e adaptação. Nesse sentido, a abordagem humanizada do problema requer não apenas uma consideração pragmática das necessidades específicas de cada contexto, mas também a promoção de uma consciência coletiva (memória coletiva) acerca dos fatos ocorridos (Veyret, 2007).

O enfrentamento dos riscos ambientais transcende a esfera técnica e econômica; exige solidariedade (em diversas escalas, do local ao internacional) e a partilha de conhecimento e recursos, para que a resiliência seja construída de forma mais equitativa, respeitando as diversas realidades que compõem o mosaico das sociedades contemporâneas. Segundo Castro (2021, p.514) “A tarefa de investigar os riscos e seus rebatimentos político territoriais coloca em evidência as ameaças à sociedade com toda a sua complexidade e contradições históricas”.

Nesse sentido Mendonça chama a atenção para as dimensões dos riscos e o espaço geográfico

Uma das principais dimensões dos riscos, e de interesse das sociedades, é sua expressão espacial, ou seja, os riscos são espacial e temporalmente datados, o que os torna um dos temas de maior interesse da geografia atual. Neste aspecto não se trata de abordá-los de um ponto de vista apenas natural ou social, ainda que se possa fazê-lo, mas de buscar evidenciar sua expressão geográfica tendo por base a imbricação direta dos diferentes elementos componentes do espaço geográfico (Mendonça, 2011, p.114).

Nas análises que avançam nessa dissertação, a compreensão dos riscos ambientais, com um enfoque específico nos riscos climáticos, assume um papel central na análise da interação dinâmica entre o homem e o ambiente (Castro, 2021). O conceito de risco ambiental se desdobra como uma lente analítica que nos permite vislumbrar as complexas teias de conexões entre atividades humanas e as transformações no ambiente, inclusive no sistema climático. Castro pontua que

o surgimento de condições de risco e, por extensão, de territórios ameaçados, tem por base não somente eventos e processos de cunho natural, ou seja, da dinâmica de processos da natureza (como terremotos, vulcanismo, tsunamis, chuvas torrenciais, dentre outros), mas, sobretudo, de uma construção da vulnerabilidade, com base em condições sociais, econômicas e políticas (Castro, 2012, p.26).

Ao explorarmos o risco climático como uma faceta crucial dos riscos ambientais, é essencial considerar as implicações desses fenômenos nas comunidades mais vulneráveis²⁰. As mudanças climáticas não são apenas um conjunto de variáveis meteorológicas abstratas; são eventos que impactam diretamente as vidas de pessoas ao redor do mundo (Veyret, 2007). Os riscos climáticos, como chuvas concentradas, secas prolongadas, vendavais, entre outros, têm o potencial de desencadear uma cascata de efeitos (tais como enchentes, alagamentos, inundações, movimentos de massa, incêndios, problemas de saúde, ondas de calor e frio, entre outros), exacerbando as disparidades sociais e econômicas já existentes. A humanização dessa discussão nos permite enxergar para além dos gráficos e estatísticas, focando nas narrativas individuais e coletivas que delineiam a resiliência, as lutas e as aspirações das comunidades diante dos desafios ambientais/climáticos (Castro, 2021). Este estudo, ancorado na compreensão dos riscos climáticos, busca contribuir para a construção de uma base teórica que não apenas descreva, mas também interprete, de maneira empática e informada, as interações complexas entre a geografia humana e os desafios climáticos contemporâneos em especial aos riscos associados às ilhas de calor e a possível contribuição para o conceito de ilha de calor e não apenas na implantação de mais uma técnica que vise mitigar o desconforto térmico nas cidades (Fialho *et al.*, 2019).

Ampliando a discussão teórica e admitindo que os riscos se desnudam para o pesquisador que se propõe a compreender algumas partes da dinâmica climática em ambientes urbanos, fica evidente a necessidade de ir além dos dados quantitativos e de simples localizações dos fenômenos. Obviamente, a quantificação e o mapeamento dos dados obtidos são de fundamental importância, porém as análises dos dados atrelados à preocupação com as questões sociais são de ampla relevância para se processar um estudo com uma visão mais crítica.

No encerramento deste capítulo, emergem perspectivas promissoras para o debate, entendimento e discussões sobre a visão clássica dos fenômenos atmosféricos (analisados pela climatologia geográfica) e as abordagens trazidas pela geografia do clima²¹, defendidas e divulgadas por autores como Sant'Anna Neto (2001) e Armond (2018).

Como ponte para os próximos capítulos, a integração entre as ciências servirá como alicerce para uma investigação mais aprofundada das implicações práticas, estratégias de aferição e as relações potenciais com outras situações urbanas. A abordagem quantitativa fornece dados para a compreensão do fenômeno da ilha de calor, porém é necessário enfatizar a importância da complexidade das relações sociais especificações urbanas em futuras pesquisas e ações práticas na esfera urbana.

²⁰ Apesar de reconhecer tal fato não aprofundarei nesta temática para não desviar demais dos fundamentos que fecham esta pesquisa.

²¹ De acordo com os autores Sant'Anna Neto (2001) e Armond (2018) é um campo da geografia que considera a dimensão social na interpretação do clima na perspectiva da análise geográfica (produção do espaço). Procura compreender e explicar como e em quais circunstâncias o território foi (e tem sido) produzido e como esta ação afeta de forma diferenciada os diversos agentes sociais.

CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS: TERMOGRAFIA AÉREA COM RPAS PARA O ESTUDO DE ILHAS DE CALOR DE SUPERFÍCIE

Esta parte da dissertação tem por finalidade apresentar a metodologia desenvolvida nesta pesquisa, destacando seus métodos (técnicas e procedimentos) utilizados para alcançar os objetivos propostos. A metodologia representa a rota do pensamento e a execução prática na condução da pesquisa. Dessa forma, engloba as teorias de abordagem, juntamente com um conjunto de técnicas que viabilizam a construção da realidade (Pires, 2021).

Em termos gerais, pode-se considerar a metodologia como o conjunto de princípios, conceitos e abordagens teóricas que guiam a pesquisa acadêmica. Ela representa o plano ou o caminho que o pesquisador segue para realizar sua investigação. Isso inclui a seleção e justificativa dos métodos específicos a serem empregados. Por outro lado, o método refere-se às técnicas e procedimentos específicos utilizados para coletar dados, analisar informações e chegar a conclusões na pesquisa. Ele constitui a parte prática da pesquisa (Severino, 2013).

Para cumprir o primeiro dos objetivos²² propostos para esta pesquisa, optou-se por embasá-la em uma pesquisa bibliográfica. Os outros dois objetivos se estruturaram na quantificação dos dados obtidos em pesquisa exploratória²³ e empírica. A abordagem aqui apresentada, portanto, busca ao seu final servir de instrumental para o levantamento de informações nas abordagens quantitativas.

De acordo com Severino

A pesquisa exploratória busca apenas levantar informações sobre um determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto. Na verdade, ela é uma preparação para a pesquisa explicativa. A pesquisa explicativa é aquela que, além de registrar e analisar os fenômenos estudados, busca identificar suas causas, seja através da aplicação do método experimental/matemático, seja através da interpretação possibilitada pelos métodos qualitativos (Severino, 2013, p.107).

Ao direcionar a atenção para as ferramentas utilizadas - cuja apresentação ocorrerá ao longo desta seção do estudo - é importante salientar um ponto adicional discutido por Sant'Anna Neto (2001). Ele enfatiza a importância do domínio do instrumental tecnológico, argumentando que sem ele não é possível explorar novas oportunidades de análise.

Em suas considerações de sobre avanço tecnológico nas demais ciências e na Geografia Sant'Anna Neto declara que

Obviamente não cabe à Geografia um importante papel neste nível de pesquisa, uma vez que seus objetivos e propósitos vão em outra direção, a de trazer para o seu escopo o conhecimento climatológico necessário para as diferentes categorias de análise de nossa ciência. Entretanto, não podemos ficar à deriva do conhecimento produzido

²² Sendo ele: 01 – Estabelecer relações conceituais entre a climatologia urbana, a física térmica, meteorologia e a geografia para compreender melhor as dinâmicas térmicas de superfície e atmosférica em ambientes urbanos;

²³ 02 – Verificar se a utilização de RPAS, equipado com câmera térmica, permite o imageamento térmico de uma ilha de calor de superfície na cidade de Nova Iguaçu;

03 – Comparar os dados das estações meteorológicas presentes na cidade de Nova Iguaçu (no Campus da UFRRJ e na Escola Estadual Mestre Hiran) com os dados coletados por RPAS;

04 – Caracterizar o clima da cidade de Nova Iguaçu.

pelos meteorologistas, engenheiros e agrônomos sob pena de entrarmos em processo de estagnação (Sant'Anna Neto, 2001, p. 57).

A utilização de novas tecnologias na ciência geográfica possibilita a abertura de novos campos de estudo ou mesmo a ampliação de temas tradicionais já consolidados na academia. Nesta dissertação a abordagem para realização do imageamento nos ambientes selecionados é feito com *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) ou Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada com posterior comparação dos dados obtidos em estações meteorológicas. Essa tarefa se mostrou relevante, uma vez que é recente a abordagem de temas com esse equipamento na ciência geográfica.

A metodologia desta pesquisa desenvolveu-se em três etapas distintas (ver figura 11 a seguir), não tendo cada uma delas um momento específico, porém essenciais para a construção dos resultados da dissertação.

- | |
|--|
| 01. Revisão da literatura – Contextualização do estudo |
| Fundamentação teórica |
| Conceitos |
| Procedimentos metodológicos |
| Métodos e técnicas utilizadas |
| 02. Processo de mapeamento |
| Localização da área de estudo |
| Processo de ocupação e atual verticalização da cidade |
| Clima iguaçuano |
| 03. Termografia aérea |
| RPAS |
| Trabalho de campo |
| Geração de ortomosaico |
| Avaliação dos resultados |

Figura11: Organização para a prática metodológica

Fonte: Elaborado pelo autor

1. Revisão da literatura: Esta parcela da pesquisa abarca a contextualização da temática e a sua fundamentação com conceitos pertinentes as ciências abordadas. Esta primeira parte compõe essencialmente o Capítulo I desta dissertação. A revisão da literatura dos procedimentos metodológicos aqui abordados não consideram somente os caminhos percorridos pelo trabalhado, mas também faz uma breve argumentação dos conteúdos destas metodologias consideradas essenciais para esta pesquisa. As palavras chave da pesquisa que nortearam a revisão da literatura são: Clima Urbano; Ilha de Calor; Termografia Aérea; RPAS; Estação Meteorológica; Clima Iguaçuano.

2. Processo de mapeamento: O processo de mapeamento de que trata o capítulo III desta dissertação envolveu a aquisição e o processamento de imagens de satélite, baseado na obra de Menezes e Mendes (2017) para classificação supervisionada da cobertura e uso da terra no município iguaçuano, identificação e análise do atual processo de horizontalização e verticalização da cidade e seu possível impacto na ilha de calor e, por último, localização das estações meteorológicas em Nova Iguaçu e análise do clima iguaçuano.

3. Termografia aérea: Elaboração do imageamento térmico se deu a partir da captura de imagens através de sobrevoos com RPAS na área de estudo (cujos materiais e métodos são expostos no capítulo II). As imagens termográficas adquiridas após voos em trabalho de campo passam por um pré-processamento para correção de distorções e melhoria da qualidade,

garantindo a precisão dos dados termográficos. Para tanto utiliza-se o software WebOpenDroneMap.

2.1 A utilização de RPAS em estudos de clima urbano

Adotando o método de pesquisa utilizado pelo Estado da Arte²⁴ para identificar temas relevantes, emergentes, recorrentes e que conversem com a proposta desta pesquisa foram utilizados os seguintes bancos de dados: Google acadêmico, Portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES²⁵.

A proposta de se utilizar RPAS como ferramenta não é nova, porém foram poucas vezes utilizadas nos estudos de clima urbano já que o investimento inicial é mais caro do que outros métodos²⁶, no entanto é necessário destacar a versatilidade desses sistemas aéreos. As vantagens em seguir por este caminho são melhor apresentadas nas palavras de Bourscheidt

Dentre as principais vantagens dos VANTs para as áreas urbanas, pode-se mencionar a capacidade de obter imagens com grande detalhamento (resolução espacial da ordem de centímetros); a capacidade de obter dados sob demanda, sempre que houver necessidade; e a possibilidade de embarcar os mais variados instrumentos (Bourscheidt, 2019, p. 113)

As pesquisas realizadas nos portais selecionados mostraram que os estudos sobre a formação de Ilha de Calor Urbano (ICU) que se utilizam de RPAS normalmente embarcam sensores que aferem temperatura e/ou umidade em pontos ao longo de um trajeto para que se façam medições verticais das Urban Canopy Layer (UCL) até as Urban Boundary Layer (UBL). Excelente contribuição na realização de pesquisa adotando esta metodologia vem da Engenharia Urbana (Programa de pós-graduação da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar) com a tese de doutorado de Megda (2020) e da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo – (USP) com a pesquisa desenvolvida por Brüssolo (2018).

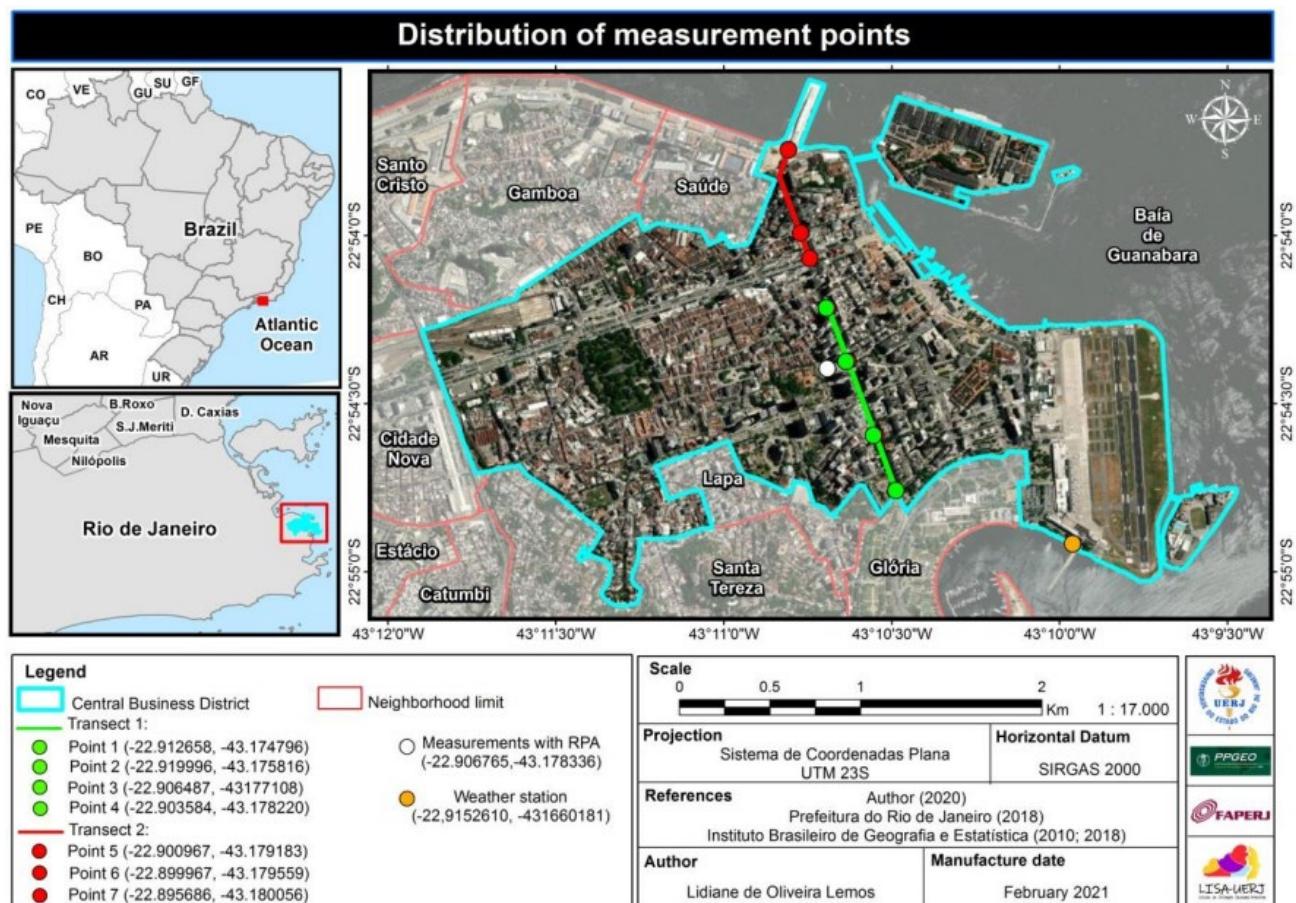
A metodologia utilizando sensor termohigrométrico com RPAS vem se consolidando em diversas ciências, na geografia trabalhos desenvolvidos na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), sob orientação dos profs. Antônio Carlos da Silva Oscar Júnior e Francisco de Assis Mendonça também se mostram na vanguarda dessa proposta acadêmica conforme o trabalho de Lemos (2021). A autora supracitada utiliza RPAS em um ponto de medição vertical no Largo da Carioca para medir as características térmicas da Camada de Dossel Urbano do cânion urbano da Rio de Janeiro durante o verão (Lemos, 2021). O mapa abaixo ajuda a ilustrar e resumir como estes equipamentos estão sendo empregados.

²⁴ Ao longo do curso alguns questionamentos sobre a temática abordada foram sendo feitos e a dificuldade para respondê-los baseados em trabalhos acadêmicos na ciência geográfica se confirmou na disciplina de “seminário de Geografia” ministrada pelos professores Dr. Cleber Marques de Castro, Dr. Andre Santos da Rocha e Dr. Raphael Vianna Mannarino Bezerra. Ao solicitarem a pesquisa sobre o Estado da Arte da pesquisa que já estava em andamento foi constatado o baixo referencial teórico disponível nos principais portais acadêmicos disponíveis online.

²⁵ Segue em Apêndice V a tabela contendo as palavras-chave que serviram de busca nos portais selecionados assim como o recorte temporal da pesquisa. A opção por digitar “câmera térmica” e “câmera termográfica” na busca se justifica pois há diferenciação entre elas.

²⁶ Atualmente uma enorme quantidade de imagens de satélites estão disponíveis gratuitamente na internet o que facilita a aquisição dos dados pelos pesquisadores.

Mapa 01: Mapa de distribuição de pontos de medição sendo um realizado com RPAS embarcado com sensor termohigrométrico.



Fonte: Lemos, 2021, p.3.

Com relação aos RPAS com câmera de sensor térmico embarcado, dois trabalhos foram selecionados para mostrar que é possível dotar-se desta ferramenta para se complementar os estudos sobre ICU.

O estudo desenvolvido por Rodríguez (2022) na Universidade de Huelva (Espanha) no Programa de Doutorado em Ciência e Tecnologia Industrial e Ambiental, seguiu a proposta do conforto térmico em espaços urbanos. Para alcançar os objetivos de sua pesquisa a autora avaliou a radiação térmica nos materiais e as características de concepção de uma praça urbana localizada na cidade de Huelva, em Espanha - combinando as temperaturas de superfícies individuais com a Temperatura Radiante Média (TRM)²⁷. Abaixo, figuras 12, 13 e 14, segue uma sequência de imagens, extraídas do trabalho da autora Rodríguez (2022) que foram dispostas de forma a simplificar a proposta do referido trabalho em discussão.

²⁷ “A TRM é uma variável-chave que simplifica transferência de calor radiante na realização de cálculos térmicos para o corpo humano (Guo *et al.*, 2020). Os métodos mais comumente utilizados de avaliação *in situ* da TMRT baseiam-se no uso de termômetros globo, radiômetros líquidos ou termografia.” (Rodríguez, 2022, p. 02)



Figura 12: Praça San Pedro. Modelo 3D de imagens RGB de UAV
Fonte: Rodríguez, 2022, p.9.

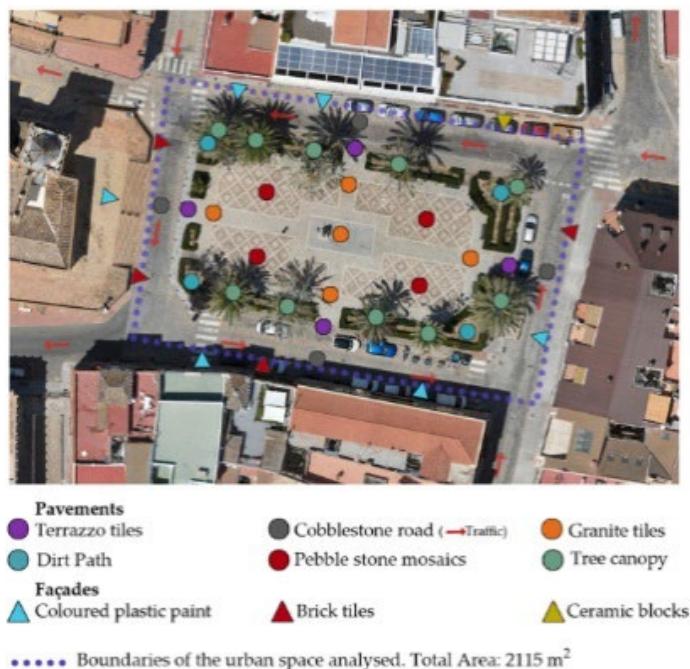


Figura 13: Ortofoto de imagens RGB de UAV com pontos codificados por cores por tipo de cobertura de solo/fachada.
Fonte: Rodriguez, 2022, p.9.



Figura 14: Ortofotos de RGB e imagens térmicas de UAV.

Fonte: Rodríguez, 2022, p.9.

Outro trabalho selecionado foi desenvolvido pelo Departamento de Geografia Universidade do Chile onde um estudo sobre o microclima urbano foi realizado pela pesquisadora Smith (2021) utilizando RPAS com uma câmera termográfica radiométrica de alta resolução embarcada.

A proposta do trabalho teve como objetivo o estudo do comportamento da temperatura superficial em duas escalas de climatologia urbana, a mesoescala e a microescala, seguido da utilização sensores de imagem multiespectral no ar montados em RPAS e de ferramentas de estatística espacial para relacionar seus resultados.

Com a intenção de lidar adequadamente com os desafios relacionados às mudanças climáticas e à adaptação do ambiente urbano, a autora Smith (2021) propõe a integração de informações microclimáticas e propriedades físicas dos materiais no projeto urbano. Estas propriedades das características térmicas dos materiais e da distribuição da temperatura da superfície foram recolhidas utilizando sensores de imagem multiespectral.

O processo de coleta de informação em microescala do trabalho em tela, foi realizada com o drone duplo Mavic pro 2 Enterprise. Abaixo segue o plano de voo e o resultado obtido pela pesquisa desenvolvida na cidade de Curicó, Chile.



Figura 15: Imagem obtida do aplicativo Dji Pilot de acordo com o plano de voo do drone Mavic pro 2, Cidade de Curico, 2020.

Fonte: Smith, 2021, p. 05.

Esta sequência curta apresentando resumidamente alguns trabalhos acadêmicos que utilizam RPAS para coletar dados em ambientes urbanos demonstra que tal ferramenta ganha cada vez utilidade e campo dentro das diversas ciências. Na geografia, os estudos sobre o fenômeno da ICU já são bem consolidados, porém a utilização desta ferramenta nas suas coletas de dados carece de uma maior bibliografia.

Essa carência de trabalhos acadêmicos utilizando RPAS com câmera térmica embarcada nos estudos sobre ICU trazem a necessidade de se discutir ainda mais sobre as recentes metodologias empregadas. Saber o que, onde e quando medir com essa ferramenta, assim como a identificação do melhor equipamento, das regras e normas de sobrevoo além da capacitação do pesquisador para operar são os desafios encontrados.

No ano de 2023, a tese de doutorado²⁸ de Perussi (2023) na Universidade de São Paulo foi apresentada e aqui cabe algumas linhas pois suas palavras-chave se aproximam desta dissertação: São elas “clima urbano, ilha de calor urbana, temperatura superficial, termografia, VANT”. A área do conhecimento, no entanto, é a Engenharia Ambiental (Escola de Engenharia

²⁸ PERUSSI. R. Análise do comportamento térmico superficial horizontal em ambiente urbano: um experimento utilizando veículo aéreo não-tripulado (VANT). 54p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2023.

de São Carlos-USP). Os procedimentos metodológicos apresentados nessa tese sugerem uma melhor análise das temperaturas superficiais da cidade valendo-se da composição de um ortomosaico.

As buscas por um modelo que se enquadrasse nessa perspectiva levaram a uma pesquisa desenvolvida no Japão que propõe um mosaico térmico denominada Structure from Motion e Multi-View Stereo (SfM-MVS) para compor um painel de imagens ortogonais de temperatura da superfície terrestre para verificar a Ilha de Calor em Tóquio (Honjo *et al.*, 2017). Sobre os produtos que podem ser obtidos com RPAS, Bourscheidt argumenta que

De forma simplificada, dois grandes produtos podem ser obtidos com VANTs, que são os ortomosaicos de imagens e os Modelos Digitais de Superfície (MDS). Um MDS pode ser obtido de duas formas: utilizando-se instrumentos embarcados com a tecnologia LiDAR, ou então, para o caso de equipamentos mais simples que apenas obtenham imagens, por meio da técnica conhecida como Structure from Motion (SfM) (HONJO, TSUNEMATSU, YOKOYAMA, YAMASAKI e UMEKI, 2017; MANDANICI, CONTE e GIRELLI, 2016). O SfM, que, primeiramente, visa à criação de modelos tridimensionais, é a que permite criar os mosaicos ortorretificados (o que depende de uma série de condições, como a quantidade de imagens, a existência de informações de geometria de aquisição das mesmas, entre outros aspectos), superando a principal limitação dos drones, nesse caso, que é o tempo de voo e a área de abrangência de aquisição das imagens. (Bourscheidt, 2019, p. 114)

Portanto, esta mesma metodologia que se vale do SfM-MVS para composição do ortomosaico RGB serve de suporte básico para a coleta de dados na presente pesquisa.

2.2 Structure from Motion – Multi View Stereo habilitado para RPAS

O SfM-MVS é uma técnica que permite criar modelos tridimensionais de superfícies e objetos a partir de um conjunto de imagens e que de acordo com Smith, Carrivick e Quincey (2016) ele combina dois algoritmos principais:

- Structure from Motion (SfM): Este algoritmo analisa as imagens para determinar a posição da câmera em cada foto e a geometria da cena. Ele identifica pontos correspondentes em várias imagens e usa esses pontos para reconstruir a estrutura 3D da cena e a posição da câmera. O resultado é uma nuvem de pontos esparsa, que representa a superfície em 3D, mas com poucos pontos.
- Multi-View Stereo (MVS): Este algoritmo usa a informação da posição da câmera, determinada pelo SfM, para densificar a nuvem de pontos. Ele analisa os pixels das imagens para encontrar correspondências e determinar a profundidade de cada ponto na cena. O resultado é uma nuvem de pontos densa, que representa a superfície com muito mais detalhes.

Os avanços tecnológicos, computacionais e científicos contribuíram para o desenvolvimento da SfM-MVS habilitada por RPAS. Quando tais avanços são analisados com mais detalhes, temos que dois foram fundamentais para permitir que esta estrutura seja possível: a ampla disponibilidade de pequenos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e um avanço científico, os métodos computacionais fotogramétricos Structure-from-Motion (SfM). Sobre os RPAS o item a seguir se encarrega do fornecimento de informações e sobre SfM-MVS.

A metodologia de Structure from Motion e Multi View Stereo, empregada tanto em visão computacional quanto em fotogrametria, permite a reconstrução da estrutura tridimensional de um objeto ou cena a partir de uma série de imagens bidimensionais, dispensando a necessidade de conhecimento prévio sobre a geometria envolvida (Pitombeira, 2020).

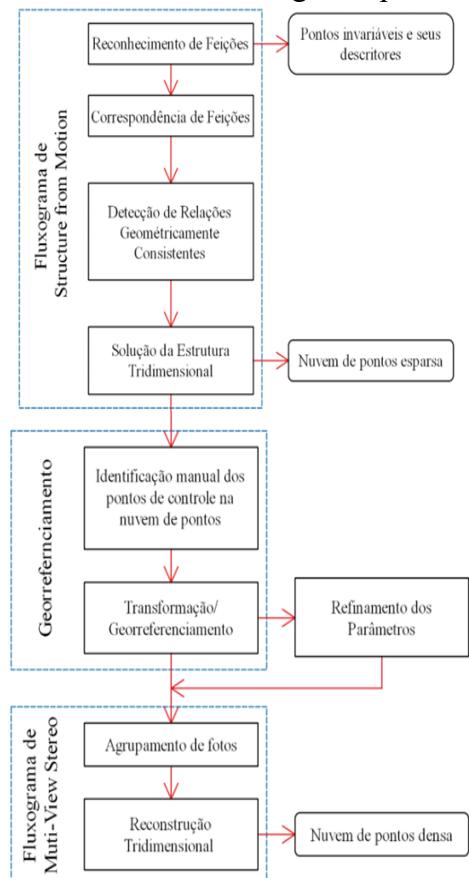
A fotogrametria, um método computacional de imagem, baseia-se nos princípios fundamentais da estereofotogrametria, também conhecida como estereoscopia. Neste método,

as posições tridimensionais das características da imagem são determinadas pela análise de fotos de diferentes ângulos que possuem uma sobreposição significativa entre si. Enquanto nos métodos tradicionais, a posição e orientação do sensor da câmera são conhecidas e usadas para reconstruir a geometria tridimensional do objeto, no SfM-MVS, esses elementos não são previamente conhecidos. Aqui, a posição e orientação do sensor são calculadas simultaneamente por meio de um procedimento computacional iterativo e altamente redundante, ajustando feixes usando um conjunto de recursos identificados em várias imagens sobrepostas (Zekkos *et al.*, 2018).

Embora a SfM seja uma metodologia ampla para reconstrução 3D, quando implementada com imagens coletadas por RPAS podem também compor uma mosaico ortorretificado em 2D²⁹ que serve de suporte para geração de ortomosaicos térmicos.

O Mosaico Térmico de SfM-MVS habilitado para RPA emerge como uma abordagem promissora para a criação de painéis de imagens ortogonais de temperatura da superfície terrestre, sem a necessidade de modelagem 3D. O método de fotogrametria que faz uso do processamento das imagens por algoritmos de SfM-MVS para se realizar a pesquisa foram organizados de acordo com o trabalho desenvolvido por Pitombeira (2020) conforme esquema 01.

Esquema 01: Configuração de ortomosaico: Fluxograma padrão do SfM-MVS



Fonte: Pitombeira (2020)

29 O método proposto por Kapil *et al.* (2023) não utiliza a técnica SfM diretamente nas imagens termais para compor o ortomosaico termal. Em vez disso, ele aproveita as saídas intermediárias do processo de ortomosaico Red Green and Blue (RGB) para contornar as dificuldades inerentes ao uso exclusivo de imagens termais. O SfM é empregado como parte do processo de ortomosaico RGB, que serve como a base para a criação do ortomosaico termal.

Nesse sentido, podemos dividir a geração de modelos de elevação do terreno através de imagens interpretadas por meio deste método em sete passos principais: identificação de feições, correspondência de pontos de interesse reconhecidos em múltiplas fotografias, detecção de relações geometricamente consistentes, execução dos algoritmos de Structure from Motion para a solução da estrutura tridimensional, georreferenciamento e escala do modelo, refinamento dos parâmetros e utilização dos algoritmos de Multi-View Stereo para densificação da nuvem de pontos (Smith; Carrivick; Quincey, 2016).

2.3 Aquisição das imagens

Para que o processo de reconstrução das imagens ocorra de forma adequada, é necessário ter cuidado no momento da aquisição das fotografias, tanto nos procedimentos de campo quanto na escolha da metodologia e dos equipamentos que serão utilizados para a realização do levantamento fotogramétrico. Devido aos avanços nos algoritmos de SfM-MVS existentes atualmente, uma grande variedade de modelos de câmeras não-métricas pode ser empregada para a aquisição das imagens.

É necessário que os pontos de exposição estejam bem distribuídos na área a ser representada tridimensionalmente, de modo a garantir que haja uma sobreposição adequada e que cada feição esteja presente em pelo menos três fotos. Recomenda-se que as imagens sejam adquiridas com diferentes escalas e angulações variadas, especialmente em locais onde a superfície é parcialmente encoberta por outros objetos ou por outra porção do próprio relevo³⁰. Há a importância de observar a quantidade de sobreposição entre as imagens, que influencia diretamente na qualidade da reconstrução tridimensional da superfície e no tempo que será acrescido no processamento. Rauguste e Olsen discutem assim o tema da sobreposição

Provavelmente o fator mais importante que afeta os resultados do SfM é a quantidade de sobreposição em imagens adjacentes. É importante obter o máximo de sobreposição possível, tendo em mente que quanto maior a sobreposição (ou seja, conjuntos de imagens maiores), significa mais tempo de computação. Quando resultados com precisão decimétrica são desejados, algo entre 70-90% de sobreposição é preferível. Menos de 70% não descreve a cena com precisão, enquanto mais de 90% incorre na lei dos retornos decrescentes para tempo de computação e detecção de características. (Rauguste e Olsen, 2013, p.3).

Provavelmente o fator mais importante que afeta os resultados do SfM é a quantidade de sobreposição em imagens adjacentes. É importante obter o máximo de sobreposição possível, tendo em mente que quanto maior a sobreposição (ou seja, conjuntos de imagens maiores), significa mais tempo de computação. Quando resultados com precisão decimétrica são desejados, algo entre 70-90% de sobreposição é preferível. Menos de 70% não descreve a cena com precisão, enquanto mais de 90% incorre na lei dos retornos decrescentes para tempo de computação e detecção de características Rauguste e Olsen (2013, p.3). É necessário levar em consideração também se a superfície possui textura apropriada para ser reconstituída com base nos algoritmos de SfM-MVS. É preciso considerar que a diferença de angulação entre imagens sobrepostas, se for muito grande, irá impedir que as feições sejam correlacionadas porque a textura irá ser distorcida de modo que não pareça a mesma.

Adicionalmente à captura sistemática de imagens para a criação dos ortomosaicos, foram realizados voos estáticos sobre pontos específicos (as estações meteorológicas) em

³⁰ Cabe ressaltar, porém, que nesta pesquisa não foi necessário tal variação de escala pois trata-se de imageamento térmico e não uma construção em 3D.

altitudes variadas (20m, 40m, 60m, 80m, 100m)³¹. O objetivo dessa coleta em diferentes altitudes foi obter imagens termais com diferentes resoluções espaciais para analisar a distribuição da temperatura da superfície em escalas menores e comparar com as médias obtidas em áreas maiores nos ortomosaicos. A escolha dessas altitudes específicas permitiu analisar a influência da distância e da área imageada na leitura da temperatura termal diretamente sobre os sensores das estações meteorológicas, buscando identificar possíveis variações de temperatura em diferentes níveis da camada limite superficial e possibilitando uma comparação com os dados pontuais das estações.

2.4 As imagens térmicas: Definição e aerolevantamento

No âmbito desta dissertação, a atenção é direcionada à exploração das imagens térmicas, uma modalidade singular de representação visual que desvela a emissão de radiação infravermelha proveniente de objetos e organismos. Este item da pesquisa aborda as definições sobre radiação infravermelha, as imagens térmicas assim como o processo de formação de um ortomosaico a partir da técnica SfM. A compreensão das características intrínsecas dessas imagens revela-se crucial para uma avaliação rigorosa de sua aplicação.

A investigação a ser conduzida não apenas se concentra na definição e nos princípios fundamentais das imagens térmicas conforme analisado no Capítulo I, mas também explora os intrincados processos envolvidos em sua obtenção com RPAS lançando mão da composição em ortomosaico. Desde a escolha criteriosa dos dispositivos e sensores até a consideração das variáveis ambientais, este percurso visa lançar luz sobre a complexidade do procedimento de captura de dados térmicos. Adicionalmente, ao abordar a interpretação dessas imagens na discussão dos resultados (parte final da dissertação), busca-se estabelecer um arcabouço analítico que permita o avanço do entendimento e aplicação eficaz dessa valiosa ferramenta de sensoriamento remoto.

Uma imagem térmica, também conhecida como imagem termográfica, é um tipo de imagem que mostra a distribuição da temperatura de superfície em uma cena ou objeto. Ela é criada usando uma câmera termográfica, que é capaz de capturar a radiação infravermelha emitida pelos objetos de acordo com sua temperatura (Pereira, 2016; Viana *et al.*, 2018).

A radiação infravermelha é um tipo de radiação eletromagnética que se encontra na região do espectro eletromagnético entre a luz visível e as micro-ondas. Ela possui comprimentos de onda mais longos do que a luz visível, tornando-a invisível ao olho humano, mas pode ser sentida na forma de calor. A radiação infravermelha desempenha um papel significativo em várias aplicações e é uma parte essencial do espectro eletromagnético, desempenhando um papel importante em campos como a ciência, tecnologia e até mesmo na natureza (Silva, 2007).

A escolha entre imagens térmicas de RPAS e de satélites depende das necessidades específicas do projeto e dos recursos disponíveis. A obtenção de dados ambientais em ambientes urbanos tem sido historicamente desafiadora para estudos mais detalhados. Embora o sensoriamento remoto seja uma fonte crucial de informações ambientais, suas limitações, especialmente em termos de custo-benefício em áreas urbanas, persistem³².

³¹ Essas altitudes foram determinadas pelo pesquisador para se verificar o resultado entre o distanciamento do equipamento e a superfície imageada para com isso extrair informações sobre a relação altitude e temperatura de superfície.

³² Quando se trata dos desafios e restrições no uso de RPAS em áreas urbanas, há limitações, já que eles operam apenas com autorização de voo quando há contato visual entre o controle e a aeronave. As regulamentações da Agência Nacional de Aviação Civil são atualmente bastante restritivas nesse contexto. Em áreas urbanas, a regra estipula uma distância mínima de 30 metros horizontais entre a aeronave não tripulada e pessoas não envolvidas na operação. A exigência de Visual Line of Sight (VLOS), muitas vezes, limita levantamentos detalhados da superfície. No Brasil, órgãos públicos podem usar RPAS para monitoramento de doenças, fiscalização e

Esta pesquisa utilizou-se da captura das imagens para a formação de mosaicos ortorretificado das áreas selecionadas na cidade de Nova Iguaçu. Conforme mencionado anteriormente, uma pesquisa japonesa realizada no ano 2017 validou uma proposta metodológica de captura de tais imagens da temperatura da superfície terrestre para verificar a formação de ilhas de calor em Tóquio (Honjo *et al.*, 2017).

Para maiores detalhes sobre o processo de formação de um ortomosaico é preciso considerar que são imagens obtidas através de aerolevantamentos e que passam por uma correção geométrica, chamada ortorretificação, para garantir uma escala final uniforme. Portanto, são imagens bidimensionais e escalonáveis em visão ortogonal à superfície. Isso permite medições diretas de suas dimensões (Zekkos *et al.*, 2018).

Para assegurar a qualidade final dos produtos fotogramétricos durante uma operação de aerolevantamento deve-se considerar alguns parâmetros relevantes, tais como sobreposição de imagens e estereoscopia, além de resolução espacial e altura de voo, para executar a operação de maneira apropriada.

A sobreposição de imagens, que pode ser lateral ou longitudinal, ocorre entre fotos capturadas em linhas de voo pré-definidas, garantindo o recobrimento das cenas entre imagens vizinhas. Essa sobreposição tem como objetivo promover a observação estereoscópica, definida como a percepção tridimensional dos objetos a partir de imagens planas da mesma cena, tomadas em diferentes posições (Mello, 2020). A figura 16 representa as aquisições de imagens e as sobreposições que irão compor o ortomosaico RGB após voo de um aerolevantamento fotogramétrico.

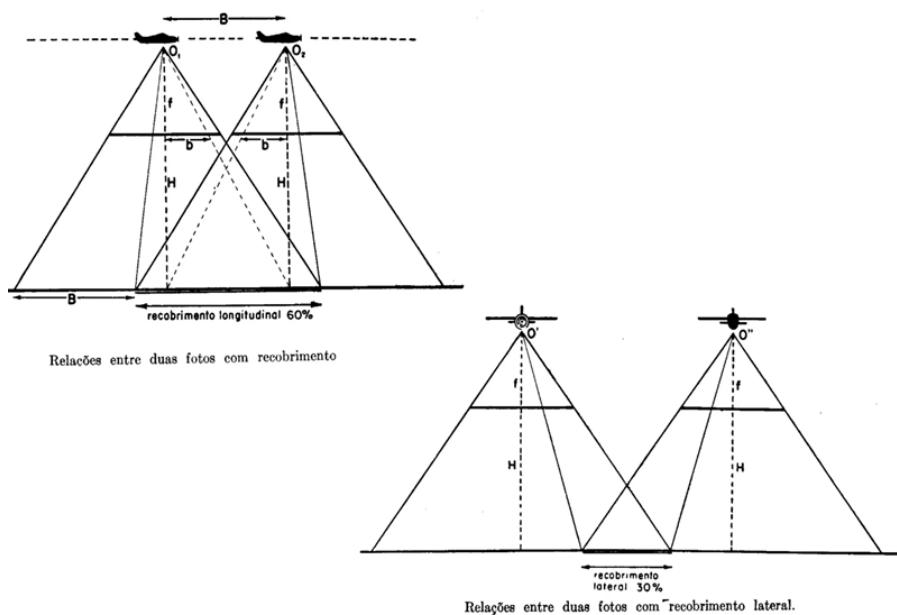


Figura 16: Geometria e superposição de duas fotografias aéreas verticais.

Fonte: Almeida; Oliveira, 2010, p. 19.

Na figura 04 temos indicados a Fotobase (b) como a linha formada pela ligação dos pontos principais de duas fotos de uma mesma faixa, Altitude de Voo (H), a Aerobase (B) que

policimento, mediante regras específicas. Da mesma forma, autorizações para pesquisa podem ser obtidas diretamente da ANAC Bourscheidt (2019).

corresponde a distância absoluta e real entre estações de tomada ou de exposição de fotografias aéreas. Distância Focal (f) refere-se à distância entre o ponto principal da lente de uma câmera aérea e o plano de imagem ou o centro do sensor de imagem (Almeida e Oliveira, 2010). As imagens e as sobreposições que são levantadas na linha de voo de um aeraerolevantamento fotogramétrico pode ser mais bem entendido na figura 17.

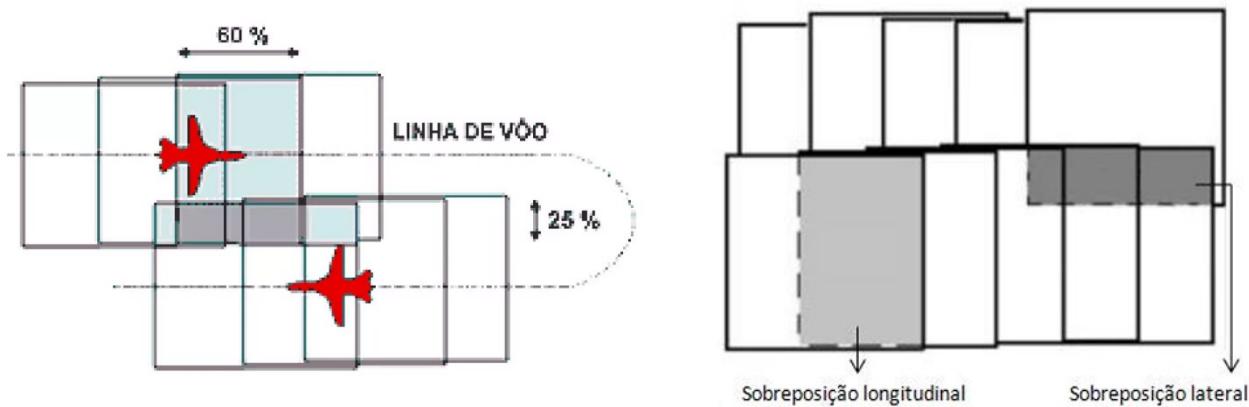


Figura 17: Reprodução da sobreposição lateral e longitudinal durante realização de aerofotogrametria.

Fonte: Adaptado de Mello, 2020, p. 27.

Com a utilização de aeronaves de pequeno porte, remotamente pilotadas e equipadas com sensores de alta resolução, como os RPAS, há um aumento na operacionalidade e na versatilidade, o que permite alcançar valores de sobreposição mais altos, começando em 70% e podendo chegar a mais de 90%, com a aeronave voando mais próxima à área alvo. Além disso, com computadores mais sofisticados tem-se a ampliação da capacidade de processamento de imagens digitais o que contribui para aumentar a sobreposição de imagens (Mello, 2020).

A resolução espacial de uma cena é determinada pelo nível de detalhamento da fotografia capturada, sendo expressa em pixels, que constituem a menor unidade de uma imagem digital. Essa resolução varia de acordo com as características do sistema sensor utilizado, como a câmera fotográfica, e a altura de voo durante a operação.

A quantidade de pixels registrados em uma cena é uma constante determinada pelas configurações da câmera. Por outro lado, a distância entre a câmera e a superfície (altura de voo) influencia a quantidade de terreno capturado em uma única imagem.

De acordo com Mello

Convencionalmente a resolução espacial de produtos fotogramétricos é apresentada como GSD (sigla em inglês para Ground Sample Distance), que traduz a extensão do terreno registrada em um pixel da imagem, ou ainda, a dimensão da menor feição da superfície mapeada que está distinguível (nítida) na imagem registrada. Assim, o tamanho do GSD é inversamente proporcional ao nível de detalhamento do mapeamento (Mello, 2020, p. 29).

De acordo com o autor supracitado, as alturas de voo mais baixas resultam em um GSD menor, com maior detalhamento e menor extensão da cena representada, enquanto o oposto acontece em alturas de voo mais elevadas

Desta forma, a exploração das imagens térmicas, enquanto modalidade singular de representação visual que desvela a emissão de radiação infravermelha proveniente de objetos e organismos, assume papel central nesta pesquisa. A compreensão das características intrínsecas dessas imagens revela-se crucial para uma avaliação rigorosa de sua aplicação. Para se verificar

se a utilização de RPAS equipados com câmera termal acoplada pode servir ao estudo das ilhas de calor em Nova Iguaçu, optou-se pela criação de mosaicos ortorretificados das áreas selecionadas. Esse processo demanda uma correção geométrica, chamada ortorretificação, para garantir uma escala final uniforme, resultando em imagens bidimensionais e escalonáveis em visão ortogonal à superfície. Especificamente, a criação dos ortomosaicos termais a 100m de altitude teve como objetivo a análise da temperatura de superfície em áreas mais extensas (1 hectare para Mestre Hiram e 8/1.5 hectares para IM UFRRJ).

2.5 RPAS: fundamentação para operação com segurança

A abordagem utilizando-se de RPAS com câmera térmica embarcada guiará essencialmente os procedimentos aplicados na coleta de dados. Diante disso, é importante considerar que os voos sobre prédios e edificações nas áreas centrais das cidades para aferição de temperatura deixam expressas duas possíveis relações com os riscos associados (Zekkos *et al.*, 2018). A primeira refere-se ao uso puro e simples do equipamento, ou seja, aos procedimentos adotados pelo piloto/pesquisador que pode pôr em risco os habitantes/frequentadores da cidade caso não sejam respeitados os procedimentos estabelecidos. A segunda é a identificação de áreas urbanas que podem expor a população a situações de riscos, posto que nestas existem áreas que são suscetíveis a mais ou menos aquecimento (ilhas de calor e frescor respectivamente).

Os resultados dos dados deste equipamento estão associados a temperatura de superfície, calor emitido pelas construções da cidade. Esta forma de coleta de dados foi poucas vezes utilizada nos estudos ICU, porém são grandes as vantagens em seguir por este caminho pois a qualidade dos dados coletados e a velocidade de um possível mapeamento com este equipamento torna a pesquisa mais dinâmica (Rodríguez, 2022).

Popularmente conhecidas como “drones” (cuja tradução para o português seria algo próximo a “zangão” ou “zumbido”) as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) estão em constante evolução tecnológica em novos tipos de aeronaves. É importante, no entanto, distinguir as terminologias para não incorrermos no campo do senso comum. No Brasil o termo “drone” é usado de forma mercadológica, ou seja, é mais associado às plataformas menores e usadas para fins de lazer e filmagens aéreas de aeronave remotamente pilotada, ou que segue um padrão de voo programado, sem interferência de um piloto a bordo.

Os termo VANT (tradução do termo UAV – Unmanned Aerial Vehicle) e RPA/ARP (Remotely Piloted Aircraft - Aeronave Remotamente Pilotada) têm respaldo legal, ou seja, é encontrado em documentos reguladores de transporte aéreo brasileiro como por exemplo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e distingue-se de “drone” por ser de caráter não recreativo e possuir carga útil embarcada (BRASIL, 2018).

Importante frisar que sendo a ANAC e a ANATEL órgãos reguladores e o DECEA um órgão controlador do espaço aéreo brasileiro são neles que pautou as terminologias empregadas. Estes órgãos utilizam os termos Aeromodelos e drones para se referir à forma mercadológica de recreação e RPA para o uso profissional dos equipamentos.

Existem dois tipos de VANT: O RPA/ARP (Remotely Piloted Aircraft - Aeronave Remotamente Pilotada), que não possui piloto a bordo, mas é controlada a partir de uma estação remota de pilotagem e as Aeronaves Autônomas (que no Brasil tem o seu uso proibido) que voa segundo um padrão pré-programado e não permite interferências de controle externo (DECEA, 2015). A tabela 01 foi construída para facilitar e organizar o que se processa em relação as terminologias.

Tabela 01: Organização das terminologias empregadas.

DRONE AEROMODELO	USO RECREATIVO		
VANT	ANAC DECEA ANATEL	TIPOS	RPAS/ARP AUTÔNOMA
			USO PROFISSIONAL USO PROIDO

Fonte: Elaborada pelo autor. Baseado em DECEA; ANAC; ANATEL, 2015, 2017, 2023.

Os VANTs podem ser empregados em diversas funções, como vigilância de áreas, sensoriamento remoto, fotografia e cinematografia aérea, lazer e diversas aplicações militares, porém o emprego indevido ou descuido dos “drones”, podem trazer sérios riscos à aviação civil ou a qualquer outra área onde o equipamento esteja sendo utilizado. A escolha do modelo está de acordo com a atividade desenvolvida pelo profissional. A figura 18 representa a classificação do RPAS quanto ao modelo de asa que pode servir a aplicação do trabalho proposto em um planejamento prévio.



Figura 18: Classificação dos RPAS quanto ao modelo de asa.

Fonte: Oliveira *et al.*, 2022, p. 3.

Cada um dos modelos (Asa Rotativa/ Rotor Único, Asa Rotativa/Multirotor, Asa Fixa) possui certa especificidade na sua utilização profissional, assim alguns aspectos positivos e negativos devem ser levados em conta para a seleção do trabalho/pesquisa. Abaixo segue uma tabela 02 para nortear esse e futuros trabalhos que venham a utilizar os equipamentos como ferramenta de pesquisa.

Tabela 02: Vantagens de desvantagens de RPAS com asas rotativas e fixas

ASA ROTATIVA
VANTAGENS
Possibilita diversos tipos de movimentos (flexibilidade de manobra)
Voo com alta estabilidade mesmo com reduzido tempo de treinamento operacional
Realiza decolagem e aterrissagem na vertical
Pode pairar estático no meio do voo
Suporta maior capacidade de carga útil
São compactos e dobráveis/Fáceis de transportar

Apresentam menor custo operacional
DESVANTAGENS
Limitação de área mapeada (uma bateria)
Vulnerável a ventos fortes
ASA FIXA
VANTAGENS
Estrutura estática de asas, o que permite sua sustentação a partir do fluxo de ar
Maior área mapeada em um único ciclo de bateria
Maior estabilidade em regiões com ventos fortes
DESVANTAGENS
Maior custo para aquisição
É mais difícil de operar/Movimentos limitados
Necessidade de maior área de pouso e decolagem
É mais complexo para transportar/ Requer maior tempo de montagem

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.*, 2022, p. 3.

Existe uma quantidade grande de empresas, modelos, tamanhos variados de RPAS, portanto deve-se buscar as especificações técnicas no manual da aeronave que se deseja utilizar para atender as necessidades do usuário (daí a importância de um bom planejamento e conhecimento dos objetivos que a pesquisa em desenvolvimento pretende alcançar).

Os equipamentos acoplados em RPAS são essenciais para ampliar suas funcionalidades e permitir que eles sejam usados em aplicações cada vez mais sofisticadas. Esses equipamentos podem ser classificados de acordo com sua função, podendo ser usados para captura de imagens e vídeos, coleta de dados ambientais, lançamento de cargas dentre outras. A escolha dos equipamentos acoplados a um RPAS deve ser feita de acordo com a aplicação específica desejada³³. Por exemplo, um RPAS usado para monitoramento de áreas remotas deve ser equipado com câmeras de alta qualidade e sensores para coleta de dados³⁴. Já um RPAS usado para fins militares deve ser equipado com armas adequadas à missão (Neto, 2019).

³³ Existem vários tipos de sensores disponíveis para a aquisição de imagens com RPAS, cada um com suas próprias aplicações e vantagens. Alguns dos sensores existentes, conforme Neto (2019), disponíveis no mercado são:

1. **Câmeras RGB:** São câmeras convencionais que capturam imagens coloridas de alta resolução. São usadas para mapeamento, monitoramento e inspeções visuais.
2. **Câmeras Multiespectrais:** Essas câmeras capturam imagens em várias faixas espectrais, incluindo o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho de onda curta (SWIR). São utilizadas em agricultura de precisão, detecção de estresse vegetal e classificação de culturas.
3. **LiDAR (Light Detection and Ranging):** Essa tecnologia utiliza pulsos de laser para medir a distância entre o drone e os objetos na superfície, criando nuvens de pontos em 3D. É utilizado em topografia, modelagem de terreno e mapeamento 3D.
4. **Câmeras Termográficas:** Também conhecidas como câmeras infravermelhas, são usadas para medir a temperatura de objetos e áreas (muito empregada em ambientes internos). São aplicadas em inspeções de infraestrutura, detecção de vazamentos de calor e busca e resgate.
5. **Câmera térmica:** são utilizadas para o monitoramento de alterações de temperatura em locais externos, com maior limite de alcance, identificando, por exemplo, um ser vivo se movimentando em um grande perímetro em horário noturno, mas sem a capacidade de detectar suspeita de febre efetivamente.

³⁴ Excelente pesquisa utilizando tecnologia LiDAR pode ser consultada em

<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42926214>

A escolha do sensor depende das necessidades específicas do projeto e dos resultados desejados. É importante considerar fatores como resolução, faixa espectral, custo e condições ambientais ao selecionar o sensor mais adequado para a aquisição de imagens com RPAS. A qualidade das aeronaves tem ampliado bastante (mesmo os menores modelos conhecidos como mini) e seus usos estão cada vez mais diversificados. Segundo Oliveira (2022, p.5) “essas pequenas aeronaves não tripuladas têm revolucionado inúmeros segmentos, proporcionado ganhos de produtividade, segurança e até mesmo redução dos custos operacionais”. A realização de um voo com um RPAS envolve várias etapas importantes e para garantir a segurança e conformidade com as regulamentações estão apresentadas as principais etapas a serem cumpridas por profissionais envolvidos com planejamento e execução do levantamento.

A etapa de planejamento do voo com RPAS desempenha um papel crucial na utilização segura e eficaz dessa tecnologia em diversas aplicações. Em primeiro lugar, o planejamento do voo permite que os operadores definam com precisão a área de cobertura e os pontos de interesse, garantindo que o equipamento colete os dados de interesse do pesquisador de forma eficiente. Isso é especialmente relevante em atividades como mapeamento, inspeções agrícolas e monitoramento ambiental, onde a precisão dos dados é fundamental para tomar decisões informadas (Breunig, 2019).

Além disso, o planejamento do voo ajuda a garantir a segurança operacional. Ao considerar antecipadamente os obstáculos, as restrições de espaço aéreo e as condições meteorológicas, os operadores podem evitar acidentes e minimizar riscos. Isso é essencial para proteger a integridade dos envolvidos por estarem sujeitos a aproximação do RPAS e das propriedades próximas por onde ocorrerá o voo (ANAC, 2017).

A etapa de planejamento também contribui para a conformidade regulatória. Sendo feito de forma adequada ajuda os operadores a cumprirem essas normas, evitando infrações e potenciais penalidades. A seguir, na tabela 04 estão os principais aspectos a serem determinados para se alcançar os objetivos pré-voo. Vale destacar que a apresentação em itens não deve, de forma alguma, ser vista como enfadonha quando se trata do planejamento de voo. Pelo contrário, ela é uma ferramenta essencial que pode transformar um processo complexo em algo acessível e de rápida consulta. De acordo com a ANAC

a partir de agora, as operações de aeronaves não tripuladas (de uso recreativo, corporativo, comercial ou experimental) devem seguir as novas regras da ANAC, que são complementares aos normativos de outros órgãos públicos como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (ANAC, 2017, p. 01).

A aplicação é descrita objetivando a prática responsável da coleta de dados pode servir de suporte interessados em seguir utilizando esta metodologia em futuras pesquisas.

Tabela 03: Planejamento do Voo

Escolha do equipamento: Existem softwares específicos para tipo e marca de aeronave a ser utilizada.
Objetivo da Missão: Determinação do propósito da missão do seu equipamento. Isso pode variar de fotografia aérea e mapeamento aéreo a inspeções industriais.
Área a ser coberta/localização: Escolha do local onde você pretende operar o drone. A certificação de que é legal voar no local escolhido e que se tem todas as permissões necessárias, se aplicável.
Meteorologia: Verificação das condições meteorológicas para o dia da missão. Ventos fortes, chuva ou nevoeiro podem afetar a segurança do voo.

Plano de Voo: Criação de um plano de voo que inclua a rota que o drone seguirá, pontos de interesse, altitudes e velocidades desejadas.
Check de Bateria: Certifique-se de que a(s) bateria(s) do equipamento esteja carregada o suficiente para a duração da missão e retorno com segurança.
Teste do Equipamento: Verifique se o drone está funcionando corretamente antes de decolar. Isso inclui câmeras, sensores e Global Positioning System (GPS).
Plano de Emergência: Tenha um plano de emergência em caso de problemas durante o voo, como perda de sinal ou falha na bateria.
Comunique-se: Informe outras pessoas próximas sobre sua operação de drone e mantenha contato visual com o drone durante o voo.
Autorizações: Se necessário, obtenha todas as autorizações ou permissões para voar em áreas restritas ou sensíveis.

Fonte: Adaptado de DJI Mini - SE, 2021, p. 36.

Ao organizar informações em itens concisos e estruturados, os operadores de RPAS podem acessar de maneira eficiente os dados cruciais necessários para planejar voos com segurança e precisão. Para voar com um drone no Brasil, você precisa seguir as regulamentações estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Abaixo estão os documentos e autorizações necessários para portarem durante as operações em campo, conforme Alencar (2020):

04. **Cadastro na ANAC:** Antes de tudo, você deve se cadastrar como operador de VANT no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) no site da ANAC para que possa ser emitido um certificado de registro de piloto recreativo ou de piloto profissional. Para isso, você precisa ser maior de 18 anos e possuir Cadastro de Pessoa Física (CPF).
05. **Identificação do Drone:** Seu drone deve ter uma identificação única, geralmente na forma de um número de registro, que deve ser visível na aeronave. A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é responsável pela regulamentação e certificação de drones no Brasil.
06. **Certificado de Aeronavegabilidade Especial (CAE):** Dependendo do tamanho e uso do seu drone, pode ser necessário obter um CAE no site da ANAC (<https://www.anac.gov.br/>). Drones pequenos para uso recreativo geralmente não precisam disso, mas drones maiores ou usados para fins comerciais podem exigir um.
07. **Autorização de voo:** Antes de cada voo, é necessário solicitar uma autorização de voo junto ao DECEA, que controla o espaço aéreo brasileiro. Isso pode ser feito por meio do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SARPAS) no site do DECEA. Os equipamentos Classe 3 (abaixo ou igual a 25kg) podem operar até 400 pés (120m)³⁵.
08. **Seguro:** O seguro de Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo (RETA) para drones é um tipo de seguro obrigatório, também conhecido como Responsabilidade Civil do Explorador ou Proprietário de Aeronaves Não Tripuladas (RPAS), que foi estabelecido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil. Este seguro é obrigatório para todas as aeronaves não tripuladas que tenham peso

³⁵ Esta informação é bastante relevante frente a metodologia aplicada nesta pesquisa, pois nos estudos de Kapil *et al.* (2023) a construção dos ortomosaicos foram baseados em voo a 120m acima do nível do solo e aqui optamos por não seguir tal parâmetro. Mais detalhes encontram-se na seção 2.8 Comparação entre dados coletados.

máximo de decolagem igual ou superior a 250g e é regulamentado pela ANAC por meio da Resolução nº 400, de 13 de dezembro de 2016.

09. **Avaliação de Risco Operacional (ARO)** para drones refere-se a uma avaliação sistemática dos riscos associados à operação de drones ou sistemas de aeronaves não tripuladas (VANTs) em ambientes diversos. Essa análise é fundamental para garantir a segurança das operações com drones e para identificar potenciais situações de risco que podem afetar as operações ou causar danos a terceiros.

As regulamentações podem mudar com o tempo, portanto, é importante verificar as informações mais atualizadas nos sites da ANAC e do DECEA antes de iniciar a operação do equipamento.

Não há, por parte desta obra, o interesse em desenvolver um manual completo capaz de colocar o pesquisador em condições de manuseio, operação e seleção dos equipamentos. A intenção é trazer para o campo da ciência geográfica a ferramenta que pode ser utilizada em outros temas e com isso possibilitar ganhos nas discussões da geografia do clima por exemplo. A utilização do RPAS envolve riscos e estes são analisados e coerentemente enfrentados através das normas e regulamentações disponíveis, como apresentado até aqui.

2.6 Materiais utilizados

Para a obtenção das imagens, foi utilizado RPA da DJI Mavic 2 Enterprise Advanced (M2EA) cujas configurações, de acordo com o manual do fabricante, foram organizadas na figura 19 abaixo:

ESPECIFICAÇÕES

- Peso de decolagem (sem acessórios): 909 g;
- Peso máx. de decolagem: 1100 g;
- Dimensões (C×L×A) Dobrada: 214×91×84 mm;
- Tempo máx. de voo: 31 min. (medido durante o voo a 25 km/h em condições sem vento);
- Resistência máx. ao vento: 10 m/s (escala 5);
- GNSS: GPS+GLONASS;
- Armazenamento interno: 24 GB.

CÂMERA TERMOGRÁFICA M2EA

- Sensor: Microbolômetro VOx sem ventilação;
- Distância focal: Aprox. 9 mm;
- Resolução do sensor: 640×480 a 30 Hz;
- Zoom digital: 16×;
- Distância entre píxeis: 12 μm.

CÂMERA VISUAL M2EA

- Sensor: CMOS de 1/2"; Píxeis efetivos: 48 M;
 - Formato equivalente a 35 mm: 24 mm;
 - Foto: 100-1600 (automático);
 - Zoom digital: 32×.
- Dimensões máx. da imagem: 8000×6000.
Estabilizador Triaxial (inclinação, rotação, giro).

Figura 19: Especificações do RPA utilizado para coleta dos dados
Fonte: DJI (2021)

A partir dos dados específicos da câmera, foi possível extrair a resolução das imagens (GSD) obtidas nas altitudes planejadas utilizando-se uma calculadora GSD da Pix4d, onde ao se inserirem as informações como a largura do sensor da câmera: 12,7mm, a distância focal da câmera: 9mm, a altura do voo: Variável em 20, 40, 60, 80 e 100m, a largura da imagem: 8000 pixels, a altura da imagem: 6000 pixels obteve-se os seguintes resultados: 20m (0,35cm/px); 40m (0,71cm/px); 60m (1,06cm/px); 80m (1,41cm/px); 100m (1,76cm/px) (PIX4D, 2025).

Abaixo segue as imagens (figura 01) do equipamento que foram utilizadas em campo para a coleta dos dados termais.

Fotografia 01: Equipamento utilizado: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a realização da prática de campo no que se refere ao deslocamento foi empregado no apoio logístico o veículo do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) apresentado na figura 02, assim como três funcionários desta mesma instituição (Carlos Renato Rangel Meirelles, Helio Antiqueira Bulhões e Leonardo Martins Gomes) e todo o planejamento do sobrevoo.

Fotografia 02: Suporte logístico fornecido pelo ICMBio – Campus da UFRRJ e na Escola Estadual Mestre Hiram (EEMH)



Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com ICMBio

Os dados atmosféricos foram coletados em duas estações meteorológicas pertencentes ao laboratório ClimaEnGeo. O modelo da estação é o Plugstation WS22³⁶. Ela apresenta os sensores de Temperatura, Umidade, Precipitação, Intensidade Luminosa, Intensidade UV, Pressão Atmosférica e Rajada, Velocidade e Direção do Vento. possui comunicação via WI-FI, alimenta as baterias pelo painel solar. A obtenção dos dados é via Portal Web ou Aplicativo Plugfield. Ela fornece também uma previsão do tempo para um período de até 16 dias. Seus dados são fornecidos pela OpenWeatherMap (que utiliza como fonte de dados Estações Meteorológicas pessoais, dados de estações meteorológicas aeroportuárias, dados de estações de radar e de outras estações oficiais) ClimaEnGeo (2022).

As estações utilizadas estão localizadas, nas coordenadas Latitude: -22.742782 e Longitude: -43.459793 (estação IM/UFRRJ ver fotografia 03) e a estação Escola Estadual Mestre Hiram, Latitude: -22.75693 e Longitude: -43.459793. Importante observação a ser considerada na pesquisa é que as estações estão na parte superior de edifícios. Apesar de considerar que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) oferece diretrizes gerais e recomendações para altura da instalação do sensor de temperatura e umidade relativa do ar (termohigrômetro) em uma estação meteorológica que deve ser entre 1,25 e 2,0 metros acima do terreno, e que a implementação dessas normas pode variar dependendo de diversos fatores, como o tipo de estação, a localização geográfica e os objetivos da rede de observação (OMM, 2008) tal variação não sofre efeito para a realização desta pesquisa por que ambas encontram-se nas mesmas condições de ambientes circundantes para fins de comparação dos dados.

³⁶ As especificações das estações meteorológicas seguem no Anexo 1.

Fotografia 03: Estação meteorológica IM UFRRJ



Fonte: Laboratório ClimaEnGeo

Os dados das estações foram coletados dos no site <https://plugfield.com.br/report/index> onde são divulgadas as informações de cinco estações meteorológicas sendo quatro delas na cidade de Nova Iguaçu (interessando apenas as estações EEMH e IM UFRRJ) e uma em Paty de Alferes.

Os horários escolhidos e o intervalo de tempo de 5h se justifica porque a hora do dia exerce um papel fundamental na variação da temperatura. A radiação solar que incide na superfície terrestre varia ao longo do dia, atingindo o valor máximo ao meio-dia solar (maior altitude do Sol) (Barry e Chorley, 2013; Bedaque e Bretones, 2020). Essa variação na radiação solar impacta diretamente a temperatura da superfície e do ar. A temperatura do ar atinge seu valor máximo algumas horas após o pico de radiação solar, devido ao tempo necessário para que o calor seja transferido da superfície para o ar (Ayoade, 1996; Wallace e Hobbs, 2006), daí então se escolher o intervalo das 11:00h até 16:00h. Foram selecionadas temperaturas atmosféricas (com meia hora ou 15 minutos de intervalo) para cada análise comparativa. Para fins de utilização de um único valor de temperatura foi aplicado a média aritmética simples entre os dois valores quando necessário.

Ademais, também foi utilizado o computador do ICMBio para processar em no software WebODM as imagens obtidas, resultando na criação de um ortomosaico termal. O site do OpenDroneMap recomenda uma configuração mínima de software e hardware para o funcionamento adequado do programa que processa as imagens e as transforma em ortomosaico, sendo para o Windows 11 ou mais recente, CPU de 64 bits com suporte ao conjunto de instruções MMX, SSE, SSE2, SSE3 e SSSE3 ou superior, 100 GB de espaço livre em disco e 16 GB ou mais de memória RAM (Opendronemap, 2025)

2.7 Procedimentos de campo

2.7.1 – Pré – campo

O pré-campo é fundamental para o sucesso e segurança das operações com RPAS, especialmente em pesquisas científicas, como a do estudo de ilhas térmicas. Ele garante um planejamento detalhado, minimizando riscos e otimizando a coleta de dados.

Inicialmente, é crucial estabelecer que os dados de temperatura da superfície coletados pelo RPAS foram intencionalmente comparados com os dados de temperatura atmosférica obtidos pelas estações meteorológicas. O agendamento da atividade de campo envolveu a programação de dois blocos de voos em diferentes períodos do dia (final da manhã e meio da tarde). O motivo para essa estratégia reside na intenção de observar as variações térmicas da superfície e da atmosfera em diferentes condições de radiação solar.

A programação dos voos, incluído na descrição do agendamento, pautou-se na previsão das condições meteorológicas tomando-se por base os dados da estação IM UFRRJ. As informações meteorológicas do dia 04 de setembro de 2024 confirmaram as condições ideais para a coleta de dados: céu limpo, vento a 0,5 Km/h e temperatura média diária de 25,3°C. A operação em campo foi organizada com voos pela manhã (11:00h-11:30h na EEMH e 12:00h-12:30h no Campus da UFRRJ) e à tarde (14:30h-15:00h na EEMH e 15:30h-16:00h no Campus da UFRRJ). Para a captura das imagens, utilizou-se o aplicativo DJI Pilot, com voo em grade a 100m de altitude e GSD de 1,76cm/px, parâmetros mantidos para o processamento termal.

A seguir tem-se a tabela 04 que foi organizada com a finalidade de facilitar a consulta no momento da pesquisa.

Tabela 04: Planejamento do voo

Escolha do equipamento: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced
Objetivo da Missão: Imageamento térmico das áreas sobre a EEMH e o Campus da UFRRJ-IM e comparação com dados das estações meteorológicas
Áreas a serem cobertas/localizações: Ver figuras 20 e 21.
Meteorologia: Ver tabela 05.
Plano de Voo: - Tomada de imagens termais do ponto de interesse específico (acima das estações meteorológicas) a cada 20m, 40m, 60m, 80m, 100m de altitude; - Foto 360º a 100m de altitude do ponto de interesse específico (acima das estações meteorológicas); - Captura sistemática de imagens aéreas, respeitando a sobreposição frontal e lateral de no mínimo 70% a uma altitude de 100m, conforme os padrões técnicos recomendados; - Velocidade da aeronave: 6m/s.
Check de Bateria: Suporte com outras 5 baterias reservas e carregadas.
Rota para deslocamento e plano de emergência: Suporte logístico para deslocamento entre as áreas a serem estudadas e em caso de perda de sinal do RPAS: Utilização do veículo e agentes de ICMBio.
Comunique-se: Operação realizada após contato com Heliporto Carcará. Contato visual com o drone durante o voo não precisou da utilização de binóculos.
Autorizações: Ver apêndice III e IV.

Fonte: Elaborado pelo autor

O agendamento para atividade de campo pautou-se na previsão das condições meteorológicas tomando-se por base os dados da Estação IM-UFRRJ. Estas informações se confirmaram e foi possível realizar os voos nas áreas determinadas no dia 04 de setembro 2024. No dia do voo a atmosfera apresentava as características ideais para a realização da coleta dos dados: Céu limpo, com vento a 0,5 Km/h e temperatura média diária de 25,3°C (conforme os dados divulgados na tabela 05). Optou-se pelos dados desta estação pois esta encontra-se em operação a mais tempo.

Tabela 05: Condições meteorológica no dia do voo - Estação meteorológica do IM UFRRJ

Estação - IM UFRRJ	
Data	04/09/2024
Latitude	-22,742782
Longitude	-43,459793
Temperatura Méd.	25,3°C
Temperatura Mín.	19,7°C
Temperatura Máx.	31,2°C
Chuva Acum.	0 mm
Vento	0,5 Km/h
Rajada	36 Km/h
Umidade	75%
Luminosidade	14889 lux

Fonte: ClimaEnGeo, estação IM (2025 b.)

A respeito da organização dos horários e sequencia dos locais estabelecidos para que fossem realizados os voos, ficou assim determinado a operação em campo:

Voos programados para ocorrerem no final da manhã:

- Voo1 - EEMH: Início as 11:00h
Término: 11:30h

Deslocamento e preparação entre a EEMH e o Campus da UFRRJ: Tempo aproximado de 30 min.

- Voo1 - Campus da UFRRJ: Início as 12:00h
Término: 12:30h

Voo programado para ocorrer no meio da tarde:

- Voo2 - EEMH: Início as 14:30h
Término: 15:00h

Deslocamento e preparação entre a EEMH e o Campus da UFRRJ: Tempo aproximado de 30 min.

- Voo2 - Campus da UFRRJ: Início as 15:30h
Término: 16:00h

Para a captura e demais definições do voo foi utilizado o aplicativo nativo da DJI denominado Pilot. Foi determinado o voo em grade (Grid Mission), a uma altitude de 100m e com GSD de 1,76cm/px que foram mantidos intencionalmente porque atendem ao input necessário para o processamento termal. As áreas selecionadas podem aqui serem visualizadas para se tenha um maior entendimento do trajeto percorrido pela aeronave sobre as áreas de

interesse e as informações da que serviram para o processamento das imagens conforme figuras 20 e 21 respectivamente.

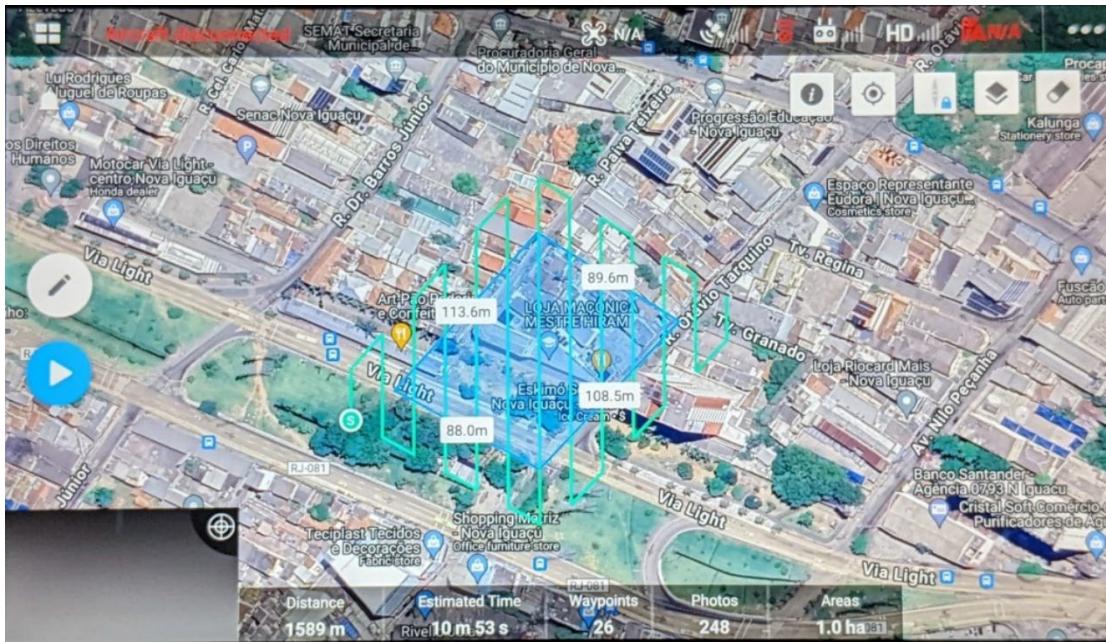


Figura 20: Voo em grade (Grid Mission) sobre as estações Mestre Hiram
Fonte: O autor em parceria com ICMBio

O tamanho das áreas selecionadas obedeceu ao critério do pesquisador procurando abranger a maior presença de características/estruturas típicas urbanas. A pesquisa em tela marca o início de uma metodologia para estudos de Ilha Térmica, portanto considerou-se 01ha no bairro Centro onde está contido a infraestrutura típica de um centro urbano com arruamento cuja pavimentação é asfáltica, prédios, telhados com diversos formatos e materiais por exemplo, além da presença da estação meteorológica na EEMH.

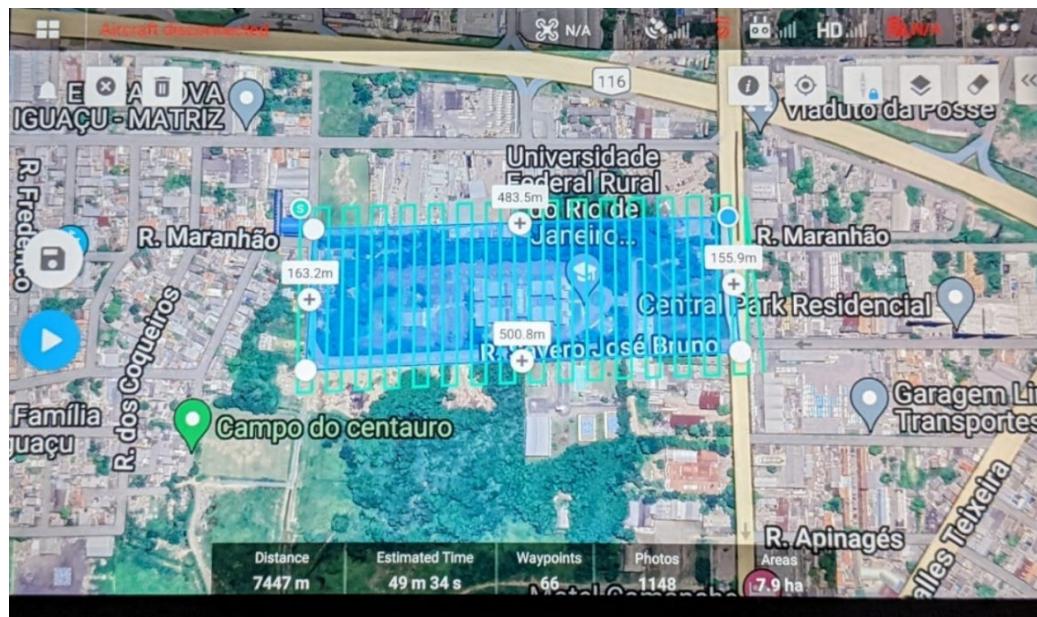


Figura 21: Voo em grade sobre a estação IM UFRRJ
Fonte: O autor em parceria com ICMBio

No Campus da UFRRJ (bairro Moquetá) a área selecionada possui aproximadamente 08ha e 1,5ha. A opção por ter uma área de interesse maior se deve ao fato de que nela ocorre maior presença de área verde. Neste espaço também se encontra uma estação meteorológica.

As informações que abasteceram todo planejamento estabelecido para se concretizar esta etapa da pesquisa foram necessárias para, além de evitarem os riscos e cumprirem as normas e regulamentações disponíveis, servirem de parâmetros para demais pesquisas.

2.7.2 – Campo: A coleta dos dados

Após definição dos critérios, inserção dos comandos no software para se iniciar os voos e estabelecimento de rotas a serem percorridas deu-se início ao trabalho de campo. Em termos de praticidade e velocidade a utilização do equipamento se mostrou por demais eficiente. Em poucos minutos o equipamento foi montado e rapidamente estava no ar coletando informações. Segue abaixo (fotografia 04) a preparação para a decolagem. As imagens adquiridas no levantamento foram para a elaboração de ortomosaico termal para obtenção da média térmica das superfícies selecionadas, ortomosaico RGB e imagens 360° a 100m de altitude exatamente acima das estações meteorológicas selecionadas.

Fotografia 04: Início do voo para coleta de dados – Estação Mestre Hiram e IM UFRRJ respectivamente



Fonte: Elaborado pelo autor

O transporte feito com o veículo cedido pelo ICMBio minimizou a influência marcada pela distância entre os alvos das medições. O intervalo de 20 min. no deslocamento entre a EEMH e o Campus da UFRRJ somado ao tempo de preparo do equipamento entre as coletas de dados marca um desnível nas capturas dos dados que eram previstas³⁷.

2.7.3 Processamento das imagens: pós-campo

Antes de apresentar os passos para se realizar a construção dos ortomosaicos é importante dedicar algumas linhas para justificar a escolha pelo software OpenDroneMap (ODM). Trata-se uma plataforma de software de código aberto dedicada ao processamento de dados geoespaciais capturados por RPAS, transformando-os em produtos como ortomosaicos, modelos digitais de elevação, nuvens de pontos 3D e mapas texturizados. Sua principal proposta é democratizar o acesso a ferramentas avançadas de análise geoespacial, restritas a soluções

³⁷ O quantitativo de imagens geradas para a configuração de cada ortomosaico encontra-se nos mapas 11, 12, 13 e 14 no capítulo IV.

privadas com “pacotes de software comercial como Photomodeler e Agisoft Photoscan também estão disponíveis por preços relativamente baixos; variando de US\$1.150 US\$3.500 e US\$180 US\$3.500, respectivamente” Rauguste e Olsen (2013). Como software de código aberto, o ODM permite que qualquer usuário ou organização utilize, modifique e redistribua o sistema de acordo com suas necessidades específicas, fomentando a inovação e a autonomia tecnológica.

A relevância do ODM está intrinsecamente ligada à sua natureza colaborativa. Projetos de código aberto como este contam com contribuições de uma comunidade global de desenvolvedores e usuários, que aprimoram continuamente o software e soluções inovadoras. No caso do ODM, a colaboração é enriquecida pela participação de instituições renomadas, como a Universidade de São Paulo (USP), que contribui para o desenvolvimento e a aplicação prática da ferramenta em projetos acadêmicos, sociais e ambientais.

Especificamente sobre o ortomosaico termal considera-se que este é gerado através de um fluxo de trabalho integrado de processamento RGB e termal, que se baseia num algoritmo de ortomosaico baseado em mapeamento de textura. O mapeamento de textura é uma etapa crucial na implementação do ortomosaico. Em vez de ortoretificar e juntar as fotos individuais do RPA, uma malha 2.5D³⁸ representando o envelope externo da nuvem de pontos densa é criada. Em seguida, a malha é texturizada projetando em cada pequena superfície triangular da malha um patch (uma pequena região de uma imagem) específico de uma foto de RPAS da qual ela é melhor observada, desta forma ortomosaico é então simplesmente a projeção ortográfica dessa malha texturizada (Kapil *et al.*, 2023).

O uso do mapeamento de textura no fluxo de trabalho proposto nesta dissertação permite a geração de ortomosaicos térmicos de alta qualidade, aproveitando as informações geométricas das imagens RGB. De acordo com Kapil *et al.* (2023) o ortomosaico térmico gerado, a partir das etapas que seguem abaixo, preserva as informações radiométricas, ou seja, os valores absolutos de temperatura permanecem inalterados pelo processo de ortomosaico uma vez que as imagens térmicas são convertidas em leituras de temperatura de superfície absoluta em graus Celsius. Ainda de acordo Kapil *et al.* (2023, p. 04) “um ligeiro atraso nos tempos de captura dos dois sensores não causa nenhum problema, desde que o atraso seja sistemático e haja um número igual de imagens RGB e térmicas tiradas durante o voo”.

Este processo utiliza o WebODM, que considera fatores como emissividade, distância ao alvo, umidade relativa e temperatura refletida.

Seguem abaixo (de forma pontuada) as etapas para a configuração de um ortomosaico termal que permita a extração de valores como a mínima, a máxima e média temperatura da cena final baseado em Kapil *et al.* (2023).

1. Geração de Ortomosaico RGB: O software Open Drone Map (ODM) é usado para criar o ortomosaico RGB, reconstruindo a estrutura 3D da área de interesse através da técnica SfM. O SfM extrai pontos de amarração das imagens e os localiza no espaço 3D. A orientação da câmera é refinada e uma malha texturizada é produzida.
2. Conversão de Imagem Térmica: As imagens R.JPEG são convertidas em leituras de temperatura de superfície absoluta em graus Celsius através do plugin "ODM-Thermal" do software WebODM. Fatores como emissividade (0,95), distância (100m), umidade (75%) e temperatura refletida são considerados.
3. Co-registro de Imagens RGB-Térmicas: O objetivo principal desta etapa é alinhar com precisão a geometria dos pares de imagens RGB e térmicas, de modo que os objetos apareçam nos mesmos locais de pixel em ambas as imagens. Os parâmetros da matriz de transformação são aprendidos durante a otimização da função de perda Normalized Gradient Fields ou Campos

38 A malha 2.5D é uma superfície deformada, tipicamente feita de pequenos triângulos (Kapil *et al.*, 2023).

de Gradiante Normalizados (NGF) que é baseada no princípio de que duas imagens estão bem registradas se as mudanças de intensidade ocorrem nos mesmos locais. Segundo Kapil *et al.*

Na terceira etapa, calculamos a matriz de transformação que co-registra cada imagem térmica pré-processada com sua imagem RGB não distorcida correspondente, de modo que ambas estejam geometricamente alinhadas e os objetos apareçam nos mesmos locais de pixel em ambas. Observe que este alinhamento geométrico (isto é, co-registro) é diferente do 'alinhamento' durante o SfM, que produz as orientações externas das câmeras (Kapil *et al.*, 2023, p. 07).

4. Geração de Ortomosaico Térmico: As imagens RGB não distorcidas no projeto duplicado do ortomosaico RGB são substituídas pelas imagens térmicas co-registradas. O processo no software é reiniciado a partir da etapa de texturização. As imagens térmicas co-registradas são usadas para texturizar a malha de superfície previamente obtida a partir das imagens RGB. Ainda de acordo com Kapil *et al.*

Desta forma, evitamos usar quaisquer imagens térmicas para SfM. Em vez disso, usamos apenas as imagens térmicas co-registradas para texturizar a malha de superfície derivada anteriormente das imagens RGB durante a primeira etapa. Esta etapa produz um ortomosaico térmico de alta qualidade que é geometricamente alinhado com o ortomosaico RGB (Kapil *et al.*, 2023, p. 07).

Como resultado, o WebODM produz um ortomosaico térmico alinhado geometricamente com o ortomosaico RGB. Este processo também garante a preservação das informações radiométricas, ou seja, os valores absolutos de temperatura permanecem inalterados. A escolha do software WebODM e a metodologia baseada em Kapil *et al.* (2023) foi selecionada para mitigar as limitações do sensoriamento remoto tradicional, como a heterogeneidade da superfície e a resolução espacial, conforme discutido por Fialho (2012).

Uma vez de posse dos produtos gerados há a extração dos dados de interesse da pesquisa. O processamento no ODM gera um arquivo .TIFF que tem duas bandas, uma com valores de emissividade e umidade a outra chamada Banda Alfa (que foi desconsiderada³⁹). Após o processamento os arquivos foram enviados para outro software (QGIS desktop 3.34.11) onde foram inseridos para se conseguir a mínima, máxima e média temperatura de cada arquivo⁴⁰.TIFF (Tagged Image File Format - formato de imagem digital amplamente utilizado para armazenar fotos e imagens gráficas). A extração gera arquivos .CSV (que armazena dados em formato de tabela) com os valores sendo mostrados no Microsoft Excel.

2.8 Comparação entre dados coletados

Após aquisição das imagens termais a 20, 40, 60, 80 e 100m de altitude sobre as estações meteorológicas em destaque e considerando em cada uma delas as variáveis emissividade de 0,95, a umidade do ar em 75% (conforme previsão meteorológica para o dia do campo), a composição dos 4 ortomosaicos que foram imageados a 100m de altitude, também com as variáveis corrigidas, sobre os locais selecionados (onde 2 possuem áreas iguais - EEMH - e dois apresentam tamanho de superfície diferentes – estação IM UFRRJ) e a coleta das informações

³⁹ 39 As câmeras termográficas operam na faixa de radiação infravermelha, geralmente entre 8 a 14 µm. A banda Alfa possui faixa espectral diferente da infravermelha, que gerou incompatibilidade com a faixa de radiação térmica, portanto ela não é relevante para a detecção de radiação térmica (Menezes, 2022).

⁴⁰ 40 Esses valores foram utilizados para comparar a temperatura da superfície em diferentes áreas e altitudes, bem como com os dados atmosféricos.

sobre a temperatura atmosférica adquiridas das respectivas estações foi possível tabelar, transformar em gráficos e concluir se o objetivo 2 proposto para esta pesquisa (verificar se a utilização de RPAS, equipado com câmera térmica, permite o imageamento térmico de uma ilha de calor na cidade de Nova Iguaçu) pode ser confirmado positivamente.

A opção adotada de 120m de altitude acima do nível do solo por Kapil *et al.*, (2023) não foi seguida por esta pesquisa por considerar que este valor é o limite estabelecido na norma brasileira, portanto evitamos os riscos de voar no teto estabelecido e valores abaixo de 100m representam uma problemática em relação as construções urbanas, principalmente sobre a estação Mestre Hiram, localizada no centro da cidade. A altitude de 100m tornou-se a opção viável, pois considerando o voo com a cota 20m abaixo do voo obtidos com trabalho original não perderíamos resolução (GSD) e trilhariam a metodologia abordada sem comprometer os resultados obtidos.

As comparações dos dados, que versam no terceiro objetivo específico desta pesquisa, foram processadas da seguinte forma:

- 1º Comparação dos valores de dados atmosféricos das estações EEMH e IM UFRRJ no intervalo entre o final da manhã (11:00h) e meio da tarde (16:00h) do dia 04/09/2024;
- 2º Comparação entre as médias térmicas das imagens termais em diferentes altitudes e as temperaturas atmosféricas nos momentos dos voos 1 e 2;
- 3º Comparação entre as médias térmicas dos ortomosaicos e as temperaturas atmosféricas nos momentos dos voos 1 e 2.

As comparações se processam em condições que devem ser registradas para que os dados não fiquem sujeitos a incoerência ou questionamentos posteriores. Diante desta situação, foi considerado um intervalo de 30 minutos entre os sobrevoos 1 e 2 na parte da manhã e à tarde. Foi também considerada uma área maior no ortomosaico 1 produzido na parte da manhã na estação IM UFRRJ para verificar o tempo de processamento de uma quantidade maior de imagens que compõem um ortomosaico RGB e termal.

CAPÍTULO III: ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS, ASPECTOS URBANOS E CLIMÁTICOS DE NOVA IGUAÇU

Este capítulo analisa o processo de urbanização de Nova Iguaçu, iniciado na primeira metade do século XX e seus impactos socioambientais e espaciais. A urbanização transformou significativamente o espaço geográfico e a Geografia Física do município, influenciando dinâmicas climáticas e suas consequências para população. A análise dessas transformações justifica a escolha do recorte espacial da pesquisa e fundamenta os argumentos para os levantamentos de dados no centro urbano de Nova Iguaçu.

3.1 O município de Nova Iguaçu e o recorte espacial das áreas de análise

O município de Nova Iguaçu está situado na Baixada Fluminense, uma área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e encontra-se a 35 km da capital do estado, Rio de Janeiro. Com uma área de 520,581 km², Nova Iguaçu destaca-se como o maior município em extensão territorial desta fração do espaço em destaque (IBGE, 2022). Sua localização, na porção oeste da Baía de Guanabara, coloca Nova Iguaçu em uma área que foi significativamente impactada pela expansão urbana da metrópole carioca (Soares, 1960).

Isto posto, o "município mãe"⁴¹ da Baixada Fluminense⁴², tem um papel relevante na formação dos municípios que compõem esta região. Historicamente, a área foi marcada por representações negativas relacionadas a violência, miséria e pobreza, especialmente nas décadas de 1970 e 1980, cujas divulgações repercutiam amplamente na imprensa do Rio (Rocha, 2019).

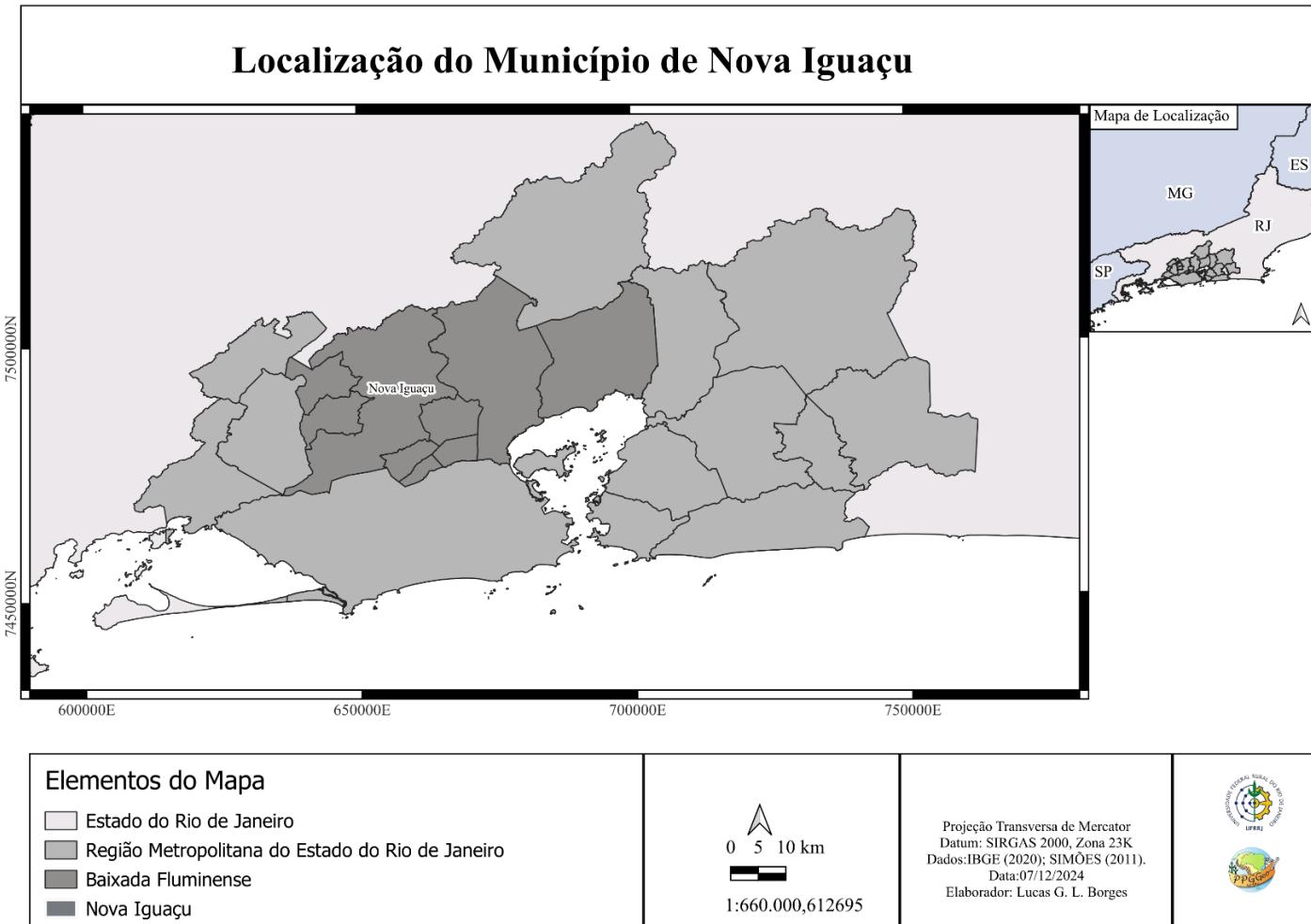
O município de Nova Iguaçu (a atual configuração do município de Nova Iguaçu e seu entorno encontra-se no mapa 01 foi analisado inicialmente como um "subúrbio dormitório"⁴³, passou por significativas alterações econômicas, sociais e ambientais, impulsionadas, principalmente, por novos empreendimentos imobiliários e investimentos em infraestrutura, que se intensificam após a década de 1980 (Simões, 2011).

⁴¹ Em *A cidade estilhaçada: reestruturação econômica e emancipações municipais na Baixada Fluminense*, o autor Manuel R. Simões analisa a transformação socioeconômica da Baixada Fluminense, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, através da análise da reestruturação econômica e das emancipações municipais. Nova Iguaçu é considerada a "cidade mãe" da Baixada Fluminense devido ao processo de emancipações municipais que fragmentaram o território. A obra, aprofunda a discussão sobre os impactos da reestruturação econômica na dinâmica urbana e nas relações sociais da região, bem como os desafios e as implicações das novas configurações político-administrativas.

⁴² Nesta dissertação a discussão sobre o que vem a ser ou mesmo as delimitações dos territórios em relação a Baixada Fluminense não necessita de destaque, pois assim como Silveira, Ribeiro (2014) concordamos que esse é um conceito fluido. A classificação aqui considerada, portanto, coaduna com os propostos por Simões (2011) sobre Baixada Núcleo.

⁴³ O subúrbio, no contexto do Rio de Janeiro, vai além de uma simples definição geográfica, configurando-se como um espaço carregado de significado social e ideológico. A partir do século XX, a expansão da cidade do Rio se deu de forma desigual, com investimentos e apoio estatal direcionados às zonas Sul e Norte, ocupadas pelas elites, enquanto os subúrbios, habitados pela classe trabalhadora, foram negligenciados, sofrendo com a falta de infraestrutura e serviços básicos. A remoção de favelas e a ausência de políticas habitacionais eficazes intensificaram a segregação espacial, empurrando a população de baixa renda para a periferia, consolidando a relação "trem-subúrbio-pobreza" (Ferreira, 2009). O conceito de "subúrbio carioca" passou por uma transformação, limitando-se aos bairros operários ao longo das linhas de trem, num processo que Fernandes (1995) denomina "rapto ideológico". Essa mudança reforçou a marginalização dos subúrbios, perpetuando a ideia de um espaço desprovido de história, cultura e poder político, legitimando a desigualdade e a exclusão social (Ferreira, 2009).

Mapa 01: Nova Iguaçu e Municípios do entorno



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

A urbanização em Nova Iguaçu reflete uma dinâmica complexa onde coexistem forças econômicas, sociais e políticas. Segundo Santos (2016), tal crescimento urbano se caracteriza pela coexistência de elementos modernos, como edifícios comerciais, *shopping centers* e *apart-hóteis*, com infraestrutura urbana precária (processo que o autor denomina de crescimento desurbanizado).

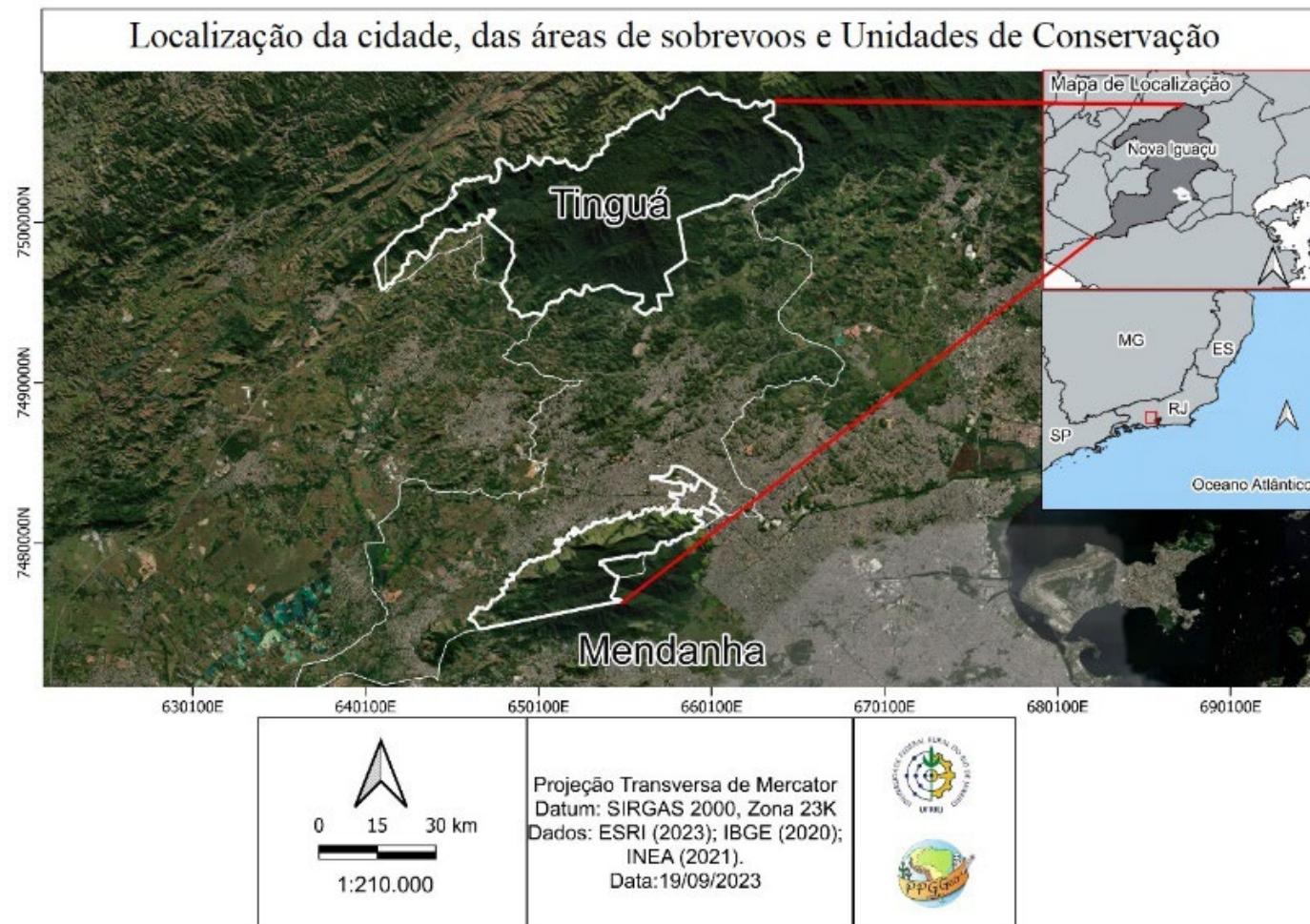
Esta precariedade se manifesta em ruas esburacadas, estreitas e sinuosas, herança do período da citricultura, além da falta de saneamento básico, abastecimento de água inadequado e enchentes, alagamentos e inundações frequentes que afetam o dia a dia da população e estão presentes, assimetricamente, em todas as frações do espaço iguaçuano.

As transformações do espaço resultaram do processo de industrialização e da terciarização da economia no período posterior aos anos 2000 com a expansão da rede hoteleira, restaurantes elegantes, *shoppings centers*, dentre outros, que coexistem com serviços menos qualificados. A aceleração deste processo, foi impulsionada em decorrência do crescimento populacional e também pela metropolização do espaço culminando na expansão imobiliária que fomenta novas dinâmicas à urbanização iguaçana onde emergem novos conteúdos socioeconômicos (Santos, 2016).

De acordo também com Frade (2016) a coexistência de novos empreendimentos, como condomínios de luxo e áreas comerciais, com a precariedade de infraestrutura em diversas partes da cidade, gera um cenário de urbanização desigualitária que marca hoje a paisagem urbana de Nova Iguaçu. A combinação destes processos não só alterou a paisagem física, mas também trouxe novas demandas sociais e desafios ambientais, como a formação da ilha de calor e a diminuição de áreas verdes na área central da cidade, evidenciando os impactos climáticos gerados pela expansão urbana (Menezes, Mendes, 2017).

A emergência destes empreendimentos imobiliários elegantes e a chegada de novos serviços e comércios, posterior aos anos de 1980, repercutiram na área social, econômica e na configuração física da cidade. Isto posto, busca-se explorar o processo dessas transformações, destacando a transição de uma economia agrícola da cidade para uma industrial e terciária a fim de que se possa explicar e justificar as temperaturas mais elevadas no interior das áreas selecionadas (ver mapa 02).

Mapa 02: Limites atuais de Nova Iguaçu com destaque para os bairros selecionados para a coleta de dados e as Unidades de Conservação presentes no Norte e Sul do município



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

Para a delimitação do Centro iguaçuano, tratado ao longo desta pesquisa, utiliza-se a Lei Municipal nº 2.952/1998, que divide o território iguaçuano em nove Unidades Regionais de Governo (URG). O Centro, correspondente ao município, obedece às delimitações da divisão administrativa “URG I - Centro” prevista na legislação municipal. Os locais escolhidos para a coleta dos dados correspondem aos bairros Centro e Moquetá que estão inseridos na URG I (conforme o mapa 03). Portanto, a referência *Centro*⁴⁴ ao longo desta pesquisa estará sempre fazendo correspondência ao bairro Centro.

A seleção dessas áreas está relacionada a presença de estações meteorológicas do ClimaEnGeo. Conforme apresentado na metodologia desta pesquisa, essas estações servirão para comparação dos dados termais de superfície obtidos com o RPA. Vale destacar que a distância entre as estações é de aproximadamente 2km e a apresentação em conjunto dos mapas que seguem (mapas 03, 04 e 05) permite uma visualização integrada das áreas selecionadas para a pesquisa, evidenciando a espacialização dos bairros Centro e Moquetá, os pontos de verificação da temperatura atmosférica assim como as áreas de sobrevoos onde foram coletadas as temperaturas de superfície. Busca-se com isso a compreensão da relação entre este elemento atmosférico (temperatura) e os dados de superfície na formação das ilhas de calor.

⁴⁴ Uma boa fonte de pesquisa para aprofundar as discussões sobre a temática Centro de Nova Iguaçu encontra-se na dissertação de Santos (2008) onde este analisa o que vem a ser o **Centro Velho** (caracterizado por um comércio popular, voltado para a população de menor poder aquisitivo do município e seu entorno) e o **Centro Novo** (área localizada próxima à Serra de Madureira, caracterizada por um comércio e serviços mais sofisticados, voltados para a população de maior poder aquisitivo) não seguindo a classificação aqui estabelecida. Encontra-se também na obra de Rocha (2019) uma discussão que fomenta a análise sobre o Centro de Nova Iguaçu. O autor define "**o outro lado de Nova Iguaçu**" como a área central da cidade localizada entre a linha férrea e a Serra de Madureira, caracterizada pela maior valorização do solo e pela concentração de construções residenciais de alto padrão. Em contrapartida, o "**centro expandido**" refere-se à área urbana que se estende além do centro de serviços tradicionais, abrangendo a Via Light até as proximidades do Top Shopping e da Avenida Nilo Peçanha. Essa região tem experimentado um crescimento das atividades terciárias e de serviços, tornando-se uma área propícia para novos empreendimentos. Ambas as áreas refletem a dinâmica do "novo" mercado imobiliário em Nova Iguaçu, impulsionado pela reestruturação econômica da Baixada Fluminense.

Mapa 03: Identificação das áreas selecionadas para verificação da temperatura de superfície



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

Mapa 04: Identificação da área selecionadas para sobrevoo - IM UFRRJ



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

Mapa 05: Identificação da área selecionadas para sobrevoo - Estação Mestre Hiram



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

A proposta de pesquisa aqui apresentada não pretende enveredar para as discussões de conceitos e temas tão amplos da Geografia Urbana como por exemplo “centro-periferia” (o recorte da pesquisa está na Área Central, portanto uma nota sobre o que vem a ser o Centro da cidade e a periferia se faz pertinente). O Centro da cidade, nas palavras de Duarte pode ser assim relatado

(...) em toda grande cidade e, de modo particular, nas metrópoles existe uma área que se individualiza dentro do conjunto urbano, por ser o lugar de trabalho de uma elevada porcentagem da sua população terciária. Caracteriza-se pela presença de numerosas lojas varejistas, de bancos, de escritórios comerciais ou de profissões liberais... Enfim, apresenta uma multiplicidade de serviços complexos e altamente concentrados (Duarte, 1967, p. 13).

Com relação a periferia, corroboramos com a Santos (2016) no que diz respeito ao atual entendimento sobre a temática. A periferia esteve por muito tempo associada às carências diversas, porém na contemporaneidade tal área sofreu alterações rompendo com a estrutura dual: Centro - Periferia. A periferia metropolitana desempenha novas funções e conteúdos, portanto as análises devem ser retratadas em suas pluralidades diante da complexidade que marcam essas frações deste espaço urbano⁴⁵.

O bairro Centro de Nova Iguaçu tem vivenciado um intenso processo de valorização imobiliária, impulsionado pela chegada de *club-condomínios* e modernos edifícios de serviços. Tais construções de alto padrão estimulam a valorização do solo urbano e provocam uma intensa verticalização e adensamento em áreas do Centro e do seu entorno imediato (ver a fotografia 05 registrada a 100m de altitude da estação meteorológica localizada na Escola Estadual Mestre Hiran) fato que têm provocado um processo de segregação socioespacial⁴⁶ e ampliação das temperaturas urbanas (Menezes e Mello, 2022; Menezes e Mendes, 2017; Simões, 2011).

45 A relação centro-periferia em Nova Iguaçu se manifesta em duas escalas: na sua inserção na metrópole carioca e na dinâmica interna do município. Historicamente, Nova Iguaçu, como parte da Baixada Fluminense, é vista como uma área periférica em relação ao município do Rio de Janeiro (metrópole), no entanto, nas últimas décadas, a Baixada Fluminense, e em especial Nova Iguaçu, tem experimentado um aquecimento econômico e uma crescente heterogeneização social que resulta em redução da dependência em relação a metrópole. Internamente, Nova Iguaçu reproduz a lógica centro-periferia em seu sentido estrutural, com a área central aglutinando investimentos, comércio, serviços e empreendimentos imobiliários de alto padrão (Araujo, 2014).

46 O processo de mudanças na Área Central de Nova Iguaçu não se dá de maneira homogênea. O autor Simões (2011, p. 347) compartimenta esta fração do espaço em três subespaços, a saber: O “Calçadão” é uma área comercial entre a linha férrea e a Via Light, marcada por serviços básicos de caráter popular cuja área apresenta alto grau de consolidação o que inibe um processo de mudança mais profundo. Já O “Outro Lado” – localizado entre a via férrea e a Serra de Madureira – caracteriza-se pela intensa verticalização com a construção de novos edifícios (comerciais e residenciais no padrão “Barra da Tijuca”) sobre antigas residências unifamiliares ou refuncionalizando-as para implantação de negócios que atenda os segmentos de alta e média renda. O “Terceiro Centro” fica entre a Via Light e a Rodovia Presidente Dutra. É marcada por iniciativas imobiliárias comerciais que têm por objetivo expandir o Centro da cidade desafogando o saturado “Calçadão” em terrenos mais baratos que O “Outro Lado”. A consequência de todo esse processo se reflete na “redistribuição da população pelos segmentos da Área Central e suas adjacências, com a consolidação de um núcleo de alta renda e a migração da classe média para os bairros vizinhos mais próximos e a consequente expulsão dos mais pobres para bairros ainda mais distantes (Simões, 2011).

Fotografia 05: O Centro de Nova Iguaçu – Ao fundo a vertente Norte do Maciço Gericinó Madureira Mendanha (Serra de Madureira)⁴⁷

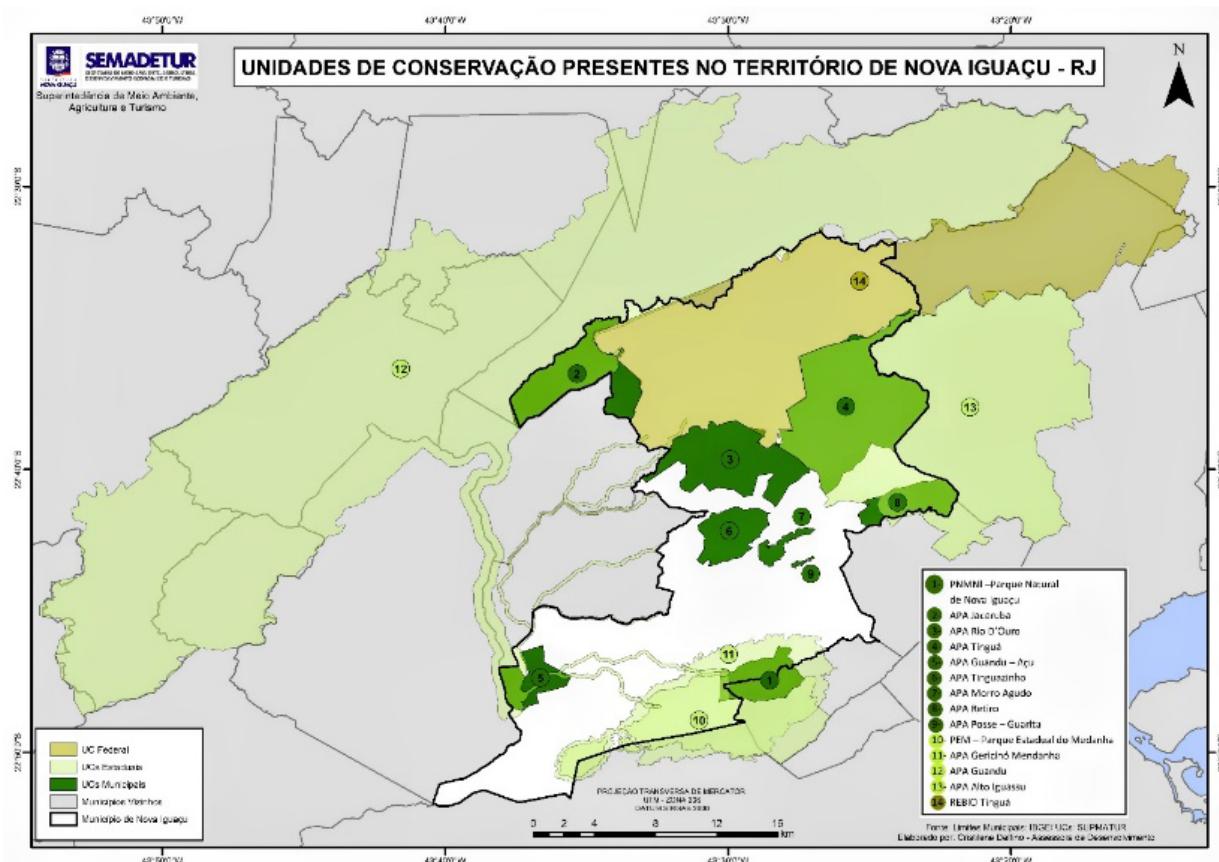


Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com ICMBio

Em relação ao crescimento horizontal, o espaço urbano de Nova Iguaçu encontra limitações ao norte e ao sul pois nestes localizam-se áreas que impossibilitam seu avanço: ao norte a Reserva Biológica do Tinguá (ReBio do Tinguá) e as Áreas de Preservação Ambiental Posse Guarita, Morro Agudo, Tinguazinho, Rio D’Ouro, Retiro e Tinguá) e ao Sul o Maciço Gericinó-Mandanha (mapa 06), onde se insere o Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (PNMNI). O eixo de expansão, portanto segue margeando a porção norte do Maciço Gericinó-Mandanha no sentido Leste-Oeste (Menezes e Mendes, 2017).

⁴⁷ Para visualização completa do Centro a partir de uma altitude de 100m exatamente acima da estação meteorológica localizada sobre a Escola Estadual Mestre Hiran ver imagem e QR Code em Apêndice I. Está contido no Apêndice II uma sugestão de aplicativo para visualização das fotografias que estão em formato 360°. Recomenda-se primeiro baixar a imagem e depois instalar o aplicativo.

Mapa 06: Localização de Áreas protegidas no Município Iguáuano



Fonte: PMNI (2024)

Na obra de Menezes e Mendes esse processo de expansão que adentra o município de Leste para Oeste a partir da cidade do Rio de Janeiro pode ser assim retratada

(...) Lucena (2012) já destacava que a classe “urbano” seguia em direção à zona oeste da capital do Estado e às primeiras cidades da Baixada Fluminense que fazem limite com a cidade do Rio de Janeiro, incluindo Nova Iguaçu. Mostra-se evidente que essa expansão urbana que adentra para o município de Nova Iguaçu se dá no numa direção leste-oeste no sopé da Serra de Madureira, que integra o Maciço do Marapicu-Gericinó-Mendanha, ao sul do município, até algumas áreas menos elevadas próximas ao Maciço do Tinguá, ao norte... (Menezes e Mendes, 2017, p. 441).

Este processo em Nova Iguaçu, no sentido leste-oeste, foi moldado por uma série de fatores interligados, com destaque para a influência da Estrada de Madureira (Avenida Augusto Abílio Távora)⁴⁸. Inicialmente, a ferrovia serviu como principal eixo de crescimento da cidade,

⁴⁸ Excelente artigo sobre a expansão da cidade em tela encontra-se em Rocha (2019). O autor argumenta que a verticalização em Nova Iguaçu é reflexo da reestruturação urbana e econômica da Região da Baixada Fluminense. A partir dos anos 2000, intensificando-se entre 2007 e 2014, houve um crescimento na construção de empreendimentos imobiliários, impulsionado pela especulação imobiliária e pela valorização do solo. Na obra observa-se que a Avenida Augusto Abílio Távora (antiga Estrada de Madureira) se tornou um importante eixo de expansão urbana e valorização imobiliária em Nova Iguaçu, impulsionado principalmente pela construção do Shopping Iguaçu. A sua localização, em uma antiga área de pedreira nos limites do Bairro da Luz, provocou um

estendendo-se de ambos os lados da linha férrea. Posteriormente, a abertura da Via Light (RJ-081) intensificou a integração de transportes e impulsionou a expansão, criando um "centro expandido" com a proliferação de atividades terciárias e de serviços. A Estrada de Madureira, nesse contexto, emerge como um eixo transversal, conectando o centro tradicional à Via Light e ao Shopping Iguaçu, inaugurado em 2016 (Rocha, 2019).

A instalação do Shopping Iguaçu, além de descentralizar as atividades comerciais, provocou um reordenamento territorial significativo ao longo da Estrada de Madureira. Esse processo, impulsionado pela especulação imobiliária e pela valorização do solo, resultou na construção de novos empreendimentos residenciais, alteração de fluxos de mobilidade e consolidação de uma nova centralidade urbana. A expansão urbana ao longo desta via, portanto, reflete a dinâmica da reestruturação urbana de Nova Iguaçu, marcada pela busca por novas áreas de investimento e pela elitização de espaços na periferia (Rocha, 2019).

Com relação as duas estações meteorológicas selecionadas para coleta de dados (nos bairros Centro e Moquetá) encontram-se uma na Escola Estadual Mestre Hiran e outra no Campus da UFRRJ – IM respectivamente⁴⁹. Nestes ambientes ocorreram os sobrevoos cujo recorte manteve em seu centro a estação meteorológica. Estas foram selecionadas pois, partiu-se da premissa de que teriam uma similaridade com a realidade do restante do espaço urbano iguaçuano além da possibilidade de validação dos dados a partir de tais estações.

A estação meteorológica do bairro Centro possui mais adensamento e fluxos em seu entorno se comparada a estação no bairro Moquetá que por estar em um *campus* universitário, dotado de uma área verde mais exuberante que a primeira estação, poderia fornecer resultados diferentes para os mesmos períodos de medição.

A seguir são tratados o processo histórico e um panorama atual do adensamento urbano experimentado pela cidade que passou a apresentar uma acelerada verticalização nas últimas décadas e consequentemente maior impacto na dinâmica climática. A análise do processo ajuda a compreender como a cidade está (em termos de ampliação dos canyons urbanos (Lemos *et al.*, 2021) com a intensa verticalização das últimas décadas do século XXI) para justificar a escolha dos ambientes para realização da pesquisa.

3.2 Do passado agroexportador às novas dinâmicas da urbanização iguaçana

Analisando o panorama histórico da cidade, temos que a citricultura teve um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, especialmente a partir do final do século XIX e a primeira metade do século XX.

Com o declínio da cafeicultura e a necessidade de encontrar novas culturas que sustentassem a economia local, a laranja emergiu como uma alternativa promissora à economia iguaçana. O clima favorável, a proximidade aos grandes mercados consumidores do Rio de Janeiro e São Paulo, fez do município um importante produtor citrícola⁵⁰ Simões (2007).

reordenamento territorial, com a projeção de novos empreendimentos residenciais nas proximidades e a intensificação do fluxo de pessoas e veículos na avenida. Essa dinâmica, segundo o autor, reflete a reestruturação urbana em curso em Nova Iguaçu, marcada pela desconcentração de atividades comerciais e de serviços do Centro tradicional para novas áreas da cidade. A Estrada de Madureira se torna, assim, um novo polo de centralidade, atraiendo investimentos imobiliários e alterando a paisagem urbana da Região. No entanto, a força e a pujança da Área Central ainda se fazem presente face às atividades terciárias que atraem e irradiam uma pluralidade de fluxos.

⁴⁹ Escola Estadual Mestre Hiran: R. Paiva Teixeira, 10 - Centro, Nova Iguaçu - RJ, 26210-325 e Campus da UFRRJ: Av. Governador Roberto Silveira s/nº Moquetá – Nova Iguaçu – RJ CEP: 26285-060.

⁵⁰ A cidade, devido à sua proximidade com a capital, beneficiou-se de uma infraestrutura de transporte em expansão, como a linha tronco da Central do Brasil, que foi eletrificada até a cidade em 1938 e estendida até Japeri em 1943 (Soares, 1960). A chegada do transporte ferroviário facilitou o escoamento da produção e o acesso ao

A citicultura não apenas substituiu o café, mas também revolucionou a estrutura social do município, criando uma classe de produtores que desempenharam um papel significativo na economia local (Pereira, 1977).

O desenvolvimento da citicultura promoveu a implementação de uma infraestrutura específica, que incluiu a fabricação de caixas, transporte eficiente e técnicas de acondicionamento adequadas, gerando empregos especializados e atraindo trabalhadores de diversas áreas (Rodrigues, 2012). Além disso, o apoio governamental à produção e exportação de laranjas contribuiu para a consolidação do município como um importante polo citrícola. A prosperidade econômica resultante deste cultivo transformou Nova Iguaçu em um verdadeiro "eldorado", promovendo o crescimento populacional e urbano, marcando um período de progresso significativo na história do município (Rodrigues, 2006).

Ao abordar esse rápido crescimento econômico pautado na exportação de laranja, mas que duraria um curto período Simões destaca que

(...) a Nova Iguaçu de hoje começa a nascer a partir de 1939, exatamente quando ocorre a maior produção de laranja de sua história. A partir deste momento o acanhado lugarejo inicia um processo de urbanização intenso que se espalhará por quase toda a área rural do então primeiro distrito (...) (Simões, 2007, p. 128)

O curto período de prosperidade pode ser, portanto, explicado por fatores que se desenrolam desde o século XIX e culminam com a Segunda Guerra Mundial. Antes do conflito, Nova Iguaçu já estava inserida em um contexto de transformação econômica que resultava tanto de crises anteriores, como a decadência da cafeicultura, quanto de novas oportunidades, especialmente com o crescimento da citicultura.

Esse cenário de prosperidade, contudo, já carregava as sementes de seu declínio, com os desafios do escoamento internacional da produção, a mosca do mediterrâneo e a competição crescente por terras devido ao processo de absorção da célula urbana pela metrópole carioca (Soares, 1960).

Diante do exposto, se inicia uma transição do capital fundiário em capital imobiliário face à crise da citicultura⁵¹ e explosão dos loteamentos que promoveram a revalorização das terras no município iguaçuano, sendo comercializadas para adquirirem novos usos – construção de atividades industriais, por exemplo, e principalmente, lotes residenciais (Santos, 1995).

Este desenvolvimento foi marcado por uma substituição da economia agrícola pela industrial. Silva (1976) argumenta que a industrialização resulta de uma dinâmica de contradições sociais que emergem de lutas econômicas, políticas e ideológicas. Essas transformações não apenas alteraram a base financeira da cidade, mas também reconfiguraram suas estruturas sociais e espaciais que refletem no processo de ocupação do sítio urbano⁵².

A ampliação da mancha urbana iguaçuana se dá pela fragmentação dos sítios e chácaras, conforme salienta Simões

O parcelamento da terra em Nova Iguaçu aumenta de intensidade a partir do final da década de 1940. Nesse período, o processo inicialmente se dá de forma individualizada e aleatória com a venda de partes, ou de toda a chácara, em geral localizadas próximas à estação. Há também a construção de casas individuais ou de vilas de casas, para alugar ou vender, nos terrenos em que os laranjas foram

mercado consumidor do Rio de Janeiro. Essa infraestrutura, junto com incentivos governamentais e o influxo de capitais, foi crucial para a instalação de novos empreendimentos na cidade.

⁵¹ A eclosão da Segunda Guerra Mundial, o surgimento da Mosca do Mediterrâneo e a expansão urbana do Rio de Janeiro se constituem como principais elementos que ocasionaram o declínio da citicultura (Soares; Pereira; Abreu, 1960, 1977, 1997).

⁵² O presente estudo segue o pressuposto de Ab'Saber (1957, p. 15) ao definir sítio urbano como “um pequeno quadro de relevo que efetivamente aloja um organismo urbano”.

erradicados. O crescimento da mancha urbana implica na ampliação sucessiva do perímetro urbano. (Simões, 2007, p.134)

Esse processo de fragmentação e urbanização em Nova Iguaçu é resultado da absorção de células urbanas pelo Grande Rio de Janeiro. Segundo Soares (1960), o crescimento da capital fluminense não apenas influenciou, mas também integrou áreas periféricas como Nova Iguaçu em sua dinâmica de expansão urbana.

Através da construção de infraestruturas de transporte, como a ferrovia, e a migração de populações em busca de moradia acessível, Nova Iguaçu passou a ser um espaço de transição, onde o rural cedeu lugar ao urbano. Assim, a cidade, outrora caracterizada por sua base agrícola, começa a vivenciar uma integração com a área metropolitana, configurando-se como um "subúrbio dormitório" (Simões, 2007).

Essa integração, descrita por Soares (1960), não foi apenas física, mas também econômica e social, e a fragmentação dos sítios e chácaras em pequenos loteamentos residenciais reflete essa absorção. O aumento populacional no entorno do Rio de Janeiro impulsionou o parcelamento de terras para acomodar novos moradores, alterando drasticamente o uso do solo e o perfil socioeconômico da cidade.

Com o crescimento da mancha urbana e a substituição da economia agrícola pela industrial e atividades comerciais, a infraestrutura não acompanhou as demandas da população, levando a um crescimento desurbanizado, conceito que também dialoga com a proposta de urbanização apontada por (Santos, 2016).

A transformação de Nova Iguaçu na segunda metade do século XX foi marcada por significativas mudanças no uso da terra e na produção do espaço urbano. Esse processo envolveu a introdução de novos atores⁵³ sociais e econômicos, que promoveram um rearranjo espacial e alteraram a estrutura local (Santos, 2016).

Assim sendo, diante da emergência de novas configurações territoriais, se agravam e intensificam os problemas de infraestrutura e ambientais – poluição dos rios, saneamento básico, depósitos de lixo irregulares, a crise hídrica, o desmatamento na Serra de Madureira⁵⁴, a retirada dos laranjais na Área Central dentre outros (Furlanetto *et al.*, 1987).

A década de 1970 marcou o auge da industrialização em Nova Iguaçu, com o número de trabalhadores no setor atingindo seu pico. A cidade se tornou um polo de atração regional, oferecendo empregos e serviços para os municípios vizinhos, consolidando sua centralidade na Baixada Fluminense (Rodrigues, 2006).

Neste período o Brasil enfrentou uma crise econômica que impactou negativamente a indústria iguaçuana. A desaceleração do crescimento industrial, em contraste com o dinamismo da década anterior, resultou na queda da renda média da população e no aumento do desemprego. A crise econômica expôs as fragilidades do modelo de desenvolvimento urbano de Nova Iguaçu, intensificando os problemas sociais e a desigualdade. A falta de investimentos em infraestrutura e a precariedade dos serviços básicos se tornaram mais evidentes, criando um cenário de desafios para a cidade nas décadas seguintes (Rodrigues, 2006).

A partir dos anos 1980, a cidade de Nova Iguaçu experimentou um período de transição econômica, com a indústria perdendo força⁵⁵ e o setor de serviços ganhando destaque. A crise do modelo de industrialização pesada no Brasil, em conjunto com a busca por uma desconcentração industrial, impactou a economia iguaçuana com a expansão do terciário

⁵³ Dentre estes atores destaca-se o Capital Fundiário, o Estado, Proprietários dos Meios de Produção, Grupos Sociais Excluídos e Segmento de Classe Média (Correa, 2011).

⁵⁴ Serra de Madureira localizada no Maciço Gericinó-Mendanha. Hoje tal área comporta a Área de Proteção Ambiental Estadual de Gericinó-Mendanha (APAGM) (Santos Junior, 2017).

⁵⁵ Segundo Santos (2016) trata-se de uma desindustrialização relativa devido à fragmentação territorial do município com a emancipação de Queimados (RJ) herdando o distrito industrial.

qualificado. Apesar da instalação de investimentos como o da indústria cosmética, a renda do trabalhador iguaçuano sofreu uma queda significativa, levando a uma intensificação da informalidade no mercado de trabalho (Rodrigues, 2006).

Esse cenário também foi marcado por um processo onde a periferia passou por um processo de heterogeneização, com a atuação de incorporadores imobiliários, impulsionando a verticalização e a renovação espacial da cidade (De Souza Frade e Silva, 2018).

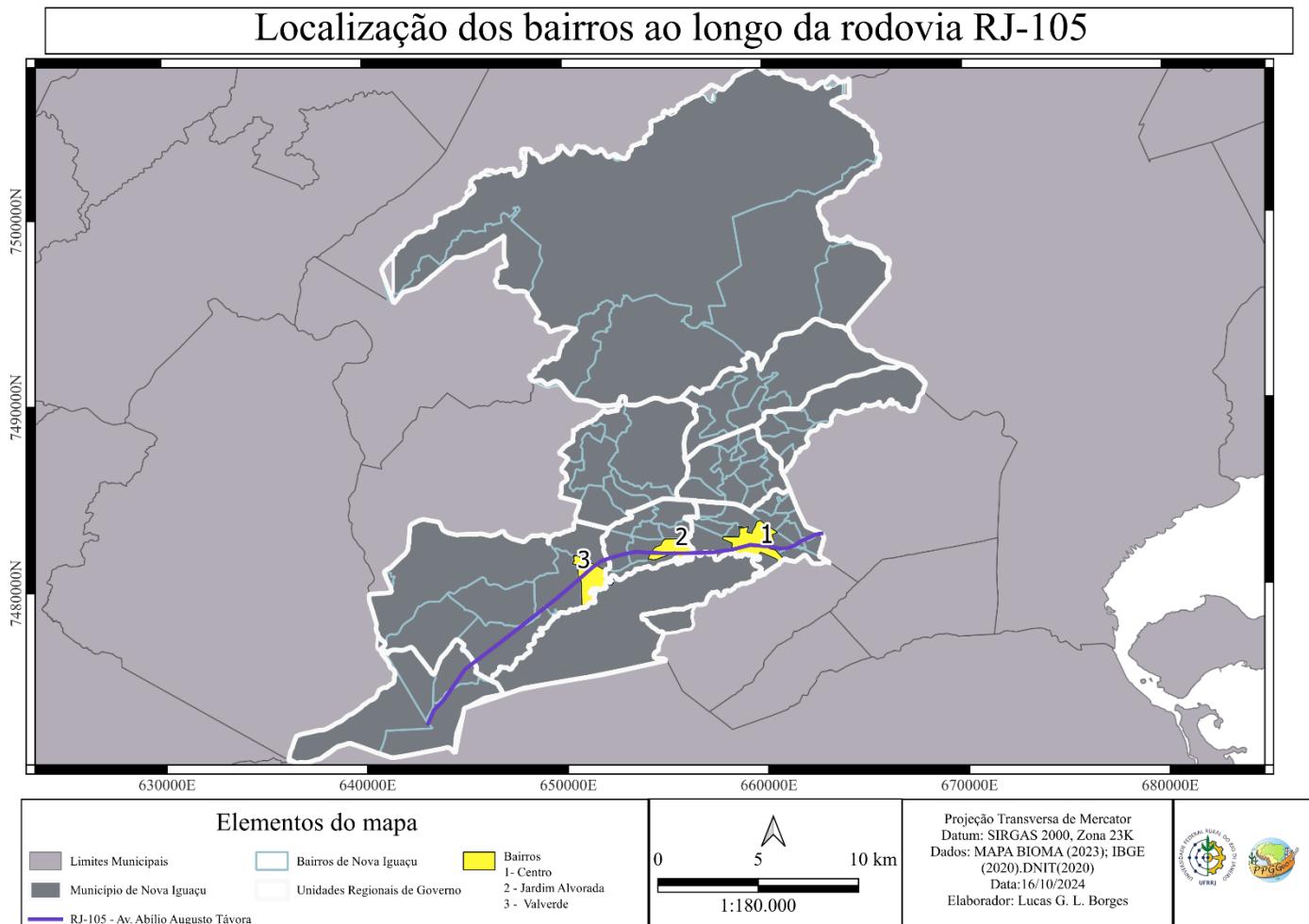
A ampliação do setor terciário na cidade trouxe consigo a expansão urbana em alguns eixos, como ao longo da antiga Estrada de Madureira, criando novos bairros para acomodar a crescente população de classe média⁵⁶: a construção do bairro Vila Valverde e o Condomínio Parque Residencial Lafaiete no bairro Jardim Alvorada. Nos exemplos tem-se as construções que neste momento (anos de 1980), para Furlanetto *et al.* (1987, p. 41), são verdadeiros “enclaves de classe média”.

O entorno desses conjuntos habitacionais apresentava áreas vazias (ou quase) que viriam a permitir, nas décadas posteriores, uma forte especulação imobiliária⁵⁷ das grandes construtoras (Menezes e Mello, 2022). Esses exemplos nos dão um panorama sobre o que vem se processando atualmente nesta parte da cidade. Para atingir a proposta aqui levantada, as considerações apenas com este recorte se fazem pertinente e suficiente pois é o adensamento e a verticalização do espaço urbano que implica nos impactos climáticos.

⁵⁶ Excelente obra que aborda o tema em tela encontra-se em (Furlanetto *et al.*, 1987).

⁵⁷ Segundo Carlos (2020) na obra “Henri Lefebvre: o espaço, a cidade e o “direto à cidade” a especulação imobiliária é um componente central da reprodução do capital no século XXI, particularmente no contexto da crise de acumulação. A cidade se transforma em mercadoria e o valor de troca suplanta o valor de uso, resultando na degradação das relações sociais e no aprofundamento da segregação espacial. O capital imobiliário funciona como um segundo setor da economia, absorvendo capitais em momentos de depressão e permitindo a realização de mais-valia através da especulação e da construção. As crises de acumulação do capital encontram resolução na reprodução do espaço, impulsionada pela especulação imobiliária. A especulação imobiliária fragmenta a cidade, com a venda de parcelas e até mesmo da cidade como um todo através do *marketing* urbano. Essa fragmentação leva à separação entre a cidade-obra e a cidade-produto, subordinando o uso dos espaços ao valor de troca e aprofundando a desigualdade. A propriedade privada do solo urbano, impulsionada pela especulação, limita o acesso à moradia e define as possibilidades de uso dos lugares, criando uma justaposição entre morfologia espacial e morfologia social.

Mapa 07: Localização das áreas destacadas ao longo da RJ-105 (Avenida Abílio Augusto Távora – antiga Estrada de Madureira)



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

A construção do bairro Vila Valverde, situado a 8 km do centro de Nova Iguaçu, e a construção do Condomínio Parque Residencial Lafaiete, um grande conjunto de edifícios residenciais no Jardim Alvorada, a 4,5 km do centro, exemplificam essa expansão da classe média para áreas um pouco mais afastadas do Centro da cidade. Esse processo foi impulsionado pela ação de incorporadoras imobiliárias, que visavam atender a uma demanda por moradias mais modernas e confortáveis, com melhor infraestrutura, a preços mais acessíveis do que os encontrados nos bairros tradicionais da classe média no Rio de Janeiro. A localização desses bairros ao longo das principais vias de acesso, como a atual Av. Abílio Augusto Távora, facilita o deslocamento para o centro da cidade e para o Rio de Janeiro, tornando a periferia de Nova Iguaçu uma alternativa atraente para a classe média (Furlanetto *et al.*, 1987).

Os exemplos anteriores servem de suporte para a análise⁵⁸ de um atual fenômeno urbano que se desdobra a partir do centro da cidade e percorre a mesma rodovia (RJ-105) localizada ao sopé da Serra de Madureira, que integra o Maciço do Marapicu-Gericinó-Mendanha. É possível considerar, nesse sentido, que o município iguaçuano passava, até o início do século XXI, por um espalhamento urbano assentado em construções de conjuntos habitacionais, em bairros próximos ao centro. A primeira década do século XXI, marca um processo significativo de reestruturação socioeconômica e social, impulsionado, principalmente, por investimentos imobiliários voltados para diferentes classes sociais (Rocha, 2019).

Essa reestruturação iguaçana se dá nos anos de 1990 e o setor terciário se tornou o principal motor da economia local, evidenciado pelo grande número de estabelecimentos comerciais e de serviços temos que esse processo foi impulsionado pela estratégia da municipalidade de transformar Nova Iguaçu na "capital comercial da Baixada Fluminense", visando compensar as perdas econômicas decorrentes das emancipações municipais (Simões, 2007). Apesar dos desafios, Nova Iguaçu se firmou como um importante centro regional na Baixada Fluminense, com um comércio e serviços diversificados atendendo à demanda da população local e dos municípios vizinhos.

Sobre essa temática Menezes e Mello consideram que

Até o início dos anos 2000, o mercado imobiliário local era restrito e dominado por pequenas empresas da região e iniciativas estatais de habitação. Silva (2015), afirma que embora os primeiros empreendimentos no município de Nova Iguaçu datem da década de 1970, durante a gestão do Banco Nacional de Habitação (BNH), o maior aporte de empreendimentos data da década de 1990, concentrados, sobretudo, nas áreas mais distantes da área central da cidade. Esses empreendimentos, formados em sua maioria por conjuntos habitacionais e loteamentos em setores periféricos teriam reforçado o espalhamento do município em regiões carentes de infraestrutura, na contramão do que hoje se considera o ideal em políticas habitacionais. (Menezes e Mello, 2022, p.11)

O processo de verticalização em Nova Iguaçu ganhou força após os anos 2000, intensificando-se entre 2007 e 2014. Impulsionado pelo crescimento econômico do município e da Baixada Fluminense, investimentos públicos em infraestrutura e um novo perfil de investimentos, o mercado imobiliário de Nova Iguaçu passou a oferecer, além das tradicionais atividades comerciais, uma nova dinâmica com a construção de prédios residenciais de alto padrão. A localização privilegiada desses condomínios, próximos a shoppings e áreas comerciais, contribuiu para a valorização imobiliária da região. A partir desse período, a verticalização em Nova Iguaçu passou a ser vista como um símbolo da reestruturação urbana, modernizando a paisagem da cidade e oferecendo um novo estilo de vida aos moradores (Rocha, 2019).

⁵⁸ A análise dessa evolução do espaço urbano iguaçano comparando os mapas aqui desenvolvidos e as três obras citadas encontram-se após os mapas 08 e 09.

O autor Santos (2008) localiza alguns exemplos de condomínios verticais surgidos no centro da cidade (alto padrão, como os "Condomínios-Clube"), destinados a uma camada social mais abastada e que a atual aproximação/aglomeração de tais construções configuram o processo inicial da formação do cânion urbano (Camada Limite do Dossel Urbano - CLD) que vai impactar diretamente no clima da cidade como se pode ver na Figura 22.

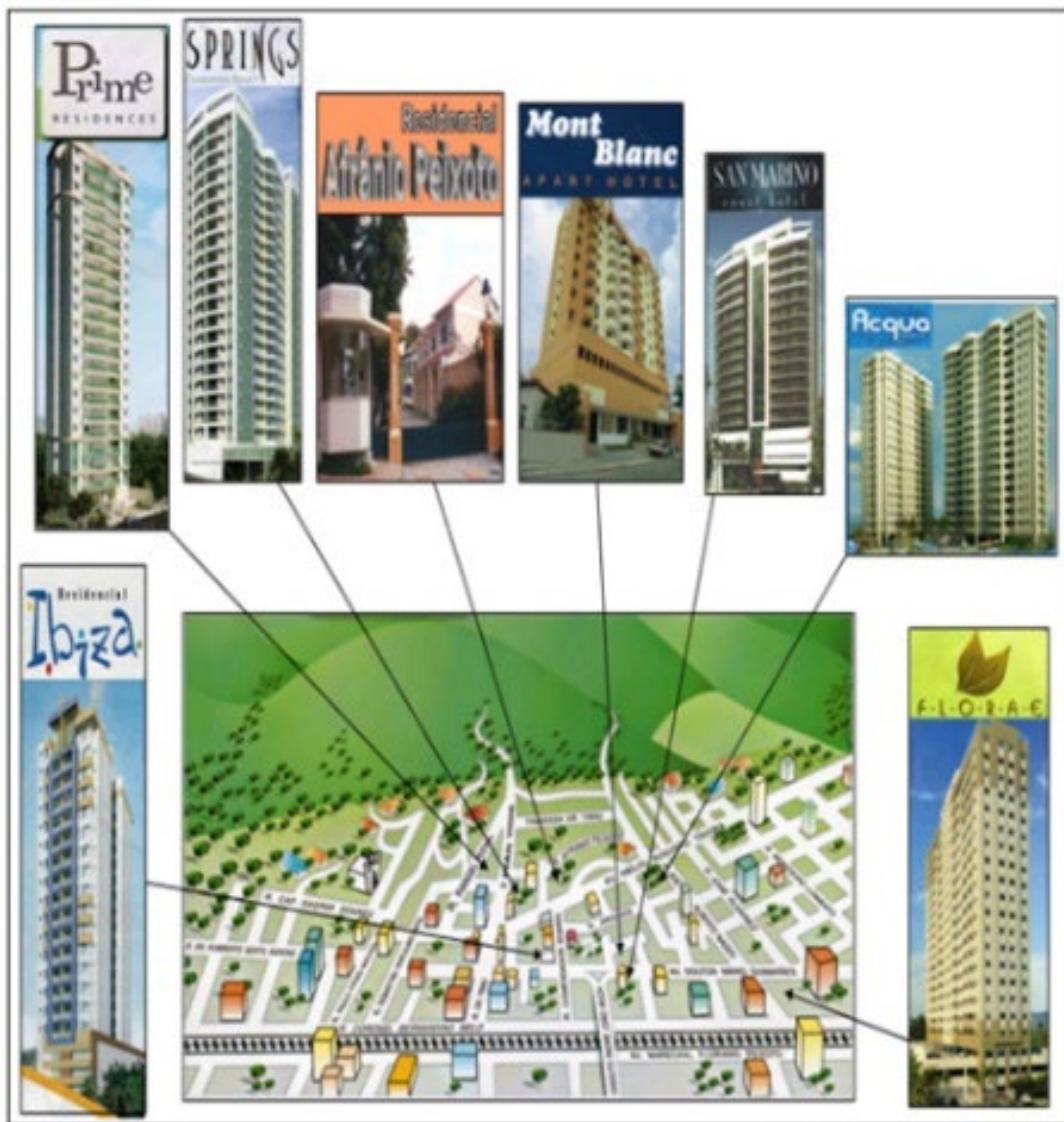


Figura 22: A verticalização do centro de Nova Iguaçu representada pela concentração espacial dos condomínios de luxo.

Fonte: Santos, 2008, p. 122.

A expansão da cidade de Nova Iguaçu em direção à Estrada de Madureira (Avenida Augusto Abílio Távora) pode ser compreendida como resultado da convergência de diversos fatores (alguns já expostos anteriormente), com destaque para a influência da construção do Shopping Iguaçu e a dinâmica da reestruturação urbana na região. A sua instalação, inaugurado em 2016, em uma área anteriormente ocupada por uma pedreira nos limites do Bairro da Luz, representou um marco no processo de expansão da cidade. O empreendimento, administrado pelo grupo Ancar Ivanhoé com capital misto brasileiro e canadense, impulsionou a valorização imobiliária da região, atraindo novos investimentos, especialmente em empreendimentos

residenciais. A Figura 06 do estudo ilustra claramente esse eixo de expansão em direção à Estrada de Madureira, destacando o Shopping Iguacu como um ponto crucial nesse processo (Rocha, 2019).

Fotografia 06: Eixo de expansão da valorização e especulação imobiliária (ao longo da RJ-105).



Fonte: Rocha, 2019, p.24.

Os bairros selecionados (Centro, Jardim Alvorada e Valverde) ao longo da Av. Abílio Augusto Távora são áreas de emergência de novos empreendimentos imobiliários na cidade e nos servem de suporte na atualidade, uma vez que as áreas não construídas próximas a esses antigos empreendimentos implantados nos anos de 1980 têm registrado um amplo adensamento urbano⁵⁹, cujo processo se dá de forma acelerada com envolvimentos de grupos empresariais como a construtora MRV (responsável pelo empreendimento Condomínio Tupinambás - um folder da divulgação na Figura 23 da venda de apartamentos neste condomínio nos dá um bom panorama do que se está discutindo). Para Menezes e Mello (2022, p. 12) tal processo de ocupação evita que construções “irregulares sejam construídas próximas ao centro”. A existência de terrenos ainda disponíveis no Centro ou próximo são, na verdade, terras estocadas. Essas raridades no espaço, por sua vez, atribui um valor diferenciado a esses espaços, tornando-os alvo de disputas e especulação imobiliária (Carlos, 2009).

Tendo o bairro Valverde como divisor na localização dos empreendimentos, constata-se que a partir dele, no sentido Centro, se desenvolvem condomínios verticalizados e no sentido oposto emergem os condomínios destinados aos segmentos de menor renda (também verticalizados).

⁵⁹ A análise aqui desenvolvida carece de maior sustentação de pesquisa de campo ou outra forma de levantamento. A experiência vivida do autor como morador da cidade e que possui como rota de deslocamento a Av. Abílio Augusto Távora permite afirmar que inúmeros condomínios verticais estão sendo implantados fato que corrobora com a sustentação de adensamento urbano.

A identificação do adensamento urbano ao longo da referida Avenida, com a ocupação de áreas próximas ao Centro da cidade por empreendimentos como o condomínio Tupinambás da construtora MRV, fornece um contexto espacial relevante para futuras pesquisas sobre ilhas de calor e frescor não sendo, portanto, necessário o aprofundamento desta pesquisa por este viés. A concentração de edifícios residenciais, intensifica a verticalização e altera o uso e cobertura do solo, criando um ambiente propício para a formação de ilhas de calor. A análise detalhada dessa área, contrastando com os espaços verdes remanescentes, permitirá investigar a interação entre o adensamento urbano, a vegetação e a temperatura da superfície, contribuindo para a compreensão da dinâmica das ilhas de calor e frescor em Nova Iguaçu. Essa compreensão, por sua vez, será crucial para o desenvolvimento de estratégias de planejamento urbano que visem a mitigação dos efeitos negativos do calor e a promoção de um ambiente urbano mais equilibrado e sustentável.



Figura 23: Folder promocional para venda de apartamentos em condomínio da empresa MRV

Fonte: Página da empresa Apto⁶⁰

Como pode ser observado, portanto, o Centro de Nova Iguaçu e seu entorno imediato estão passando por um intenso processo de adensamento e verticalização (a fotografia 07 traz uma perspectiva visual oblíqua que permite notar o que se processa neste estudo). Tal realidade colabora para a utilização de uma nova tecnologia em seu ambiente urbano de coleta de informações sobre temperatura de superfície com RPAS (não apenas para verificar a existência de uma possível formação de ilha térmica, mas para que esta ferramenta e metodologia possam servir, no futuro, para outros temas e levantamentos ambientais).

⁶⁰ Disponível em: <<https://apto.vc/br/rj/nova-iguacu/jardim-alvorada/residencial-tupinambas>> Acesso em set. 2024

Fotografia 07: Verticalização (Camada Limite do Dossel Urbano - CLD) da cidade de Nova Iguaçu com vista a partir do Campus da UFRRJ-IM⁶¹



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com ICMBio

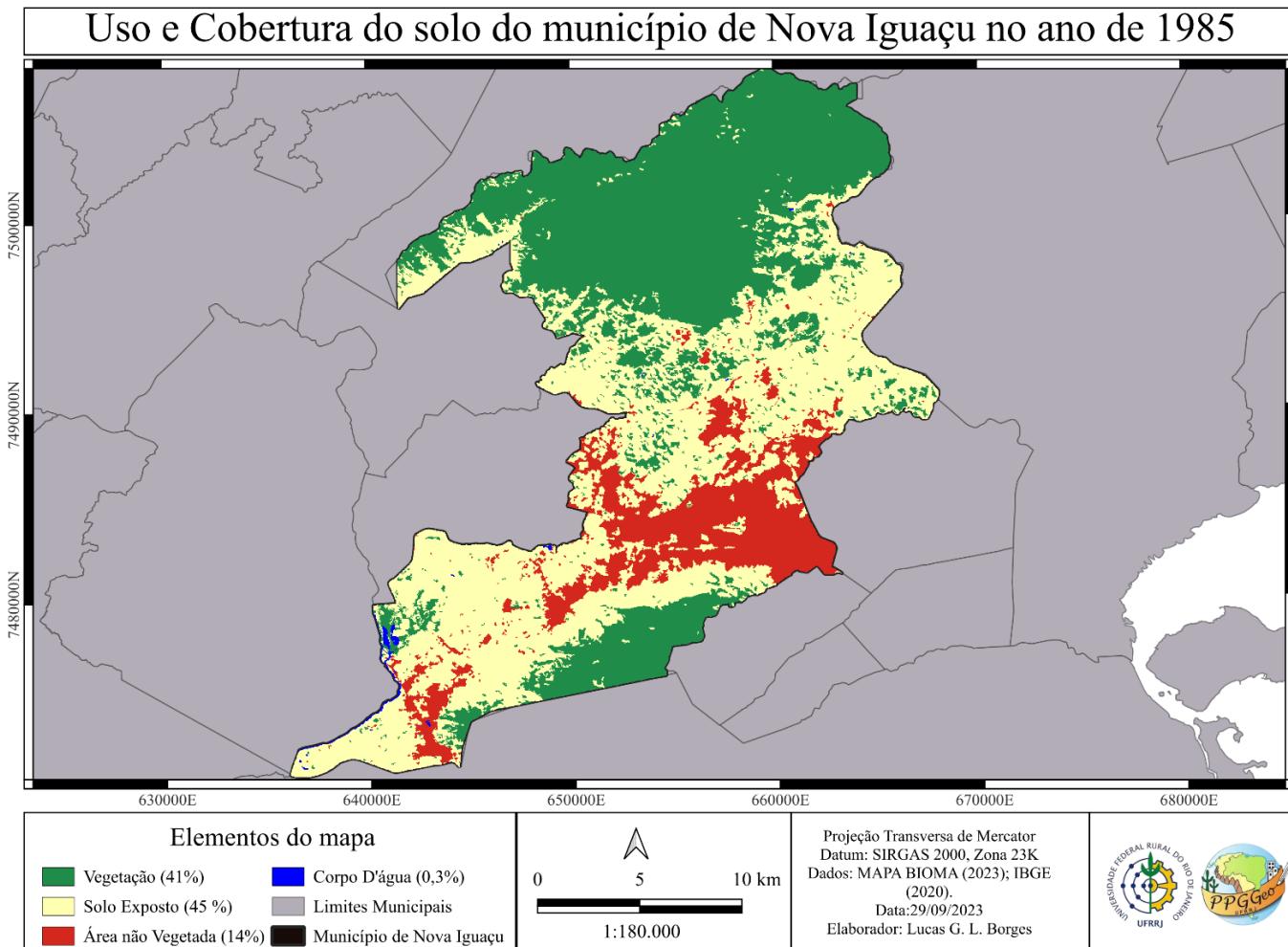
A fotografia 07, obtida a partir de uma altitude de 100m acima da estação meteorológica no Campus do IM UFRRJ, revela a intensificação da Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) em Nova Iguaçu. Essa camada, que se estende do solo até a altura média dos telhados, é onde ocorrem as trocas de calor entre as estruturas urbanas (Gamarra, 2012). O aumento da verticalização na cidade, evidenciado pela concentração de edifícios, intensifica a CLD e impacta diretamente na dinâmica climática local. Para compreender a evolução desse processo e seus efeitos na paisagem urbana da cidade, as próximas linhas apresentam uma série de mapas (5 mapas no total sendo dois expostos aqui e a reunião de todos eles reunidos em uma sequência em Formato de Intercâmbio de Gráficos – GIF).

A elaboração dos mapas sobre Uso e Cobertura do solo na cidade de Nova Iguaçu, abrangendo os anos de 1985 (mapa 08) e 2023 (mapa 09), justifica-se pela necessidade de visualizar e analisar a dinâmica de transformação espacial que a cidade experimentou nas últimas décadas. A análise permite compreender a evolução da mancha urbana, identificar as áreas de maior adensamento e correlacionar esses padrões com o processo de verticalização (Santos, 2016; Rocha, 2019). A partir dessa análise, será possível diagnosticar se essa verticalização, embora contribua para a contenção da expansão horizontal, intensifica o adensamento em áreas já consolidadas, pode impactar significativamente a dinâmica climática local, especialmente no que se refere à formação de ilhas de calor (Menezes e Mendes, 2017). Os mapas, portanto, servirão como base para a investigação da relação entre o processo de verticalização e seus efeitos no clima urbano, fornecendo subsídios para a compreensão das dinâmicas climáticas em Nova Iguaçu.

⁶¹ Para visualização em 360° da área a partir de uma altitude de 100m exatamente acima da estação meteorológica localizada no IM UFRRJ ver imagem e QR Code em Anexo II.

Os procedimentos aplicados para se produzir tais mapas a seguir não permitem a verificação do processo de verticalização da cidade, mas de acordo com a dinâmica urbana apresenta em trabalhos como Santos (2016) e Rocha (2019), por exemplo, é possível considerar que tal fato está dado, cabendo apenas uma possível análise dos resultados obtidos.

Mapa 08: Uso e Cobertura do solo Iguaçano – ano 1985



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

O mapa apresenta em sua legenda a identificação de uma Área Não Vegetada (cor vermelha) para reunir todo tipo de intervenção do homem no espaço selecionado, sem que necessariamente seja espaço urbano. Tal estratégia foi adotada para facilitar a compreensão da evolução do espraiamento que se processou na área destacada nas últimas décadas⁶².

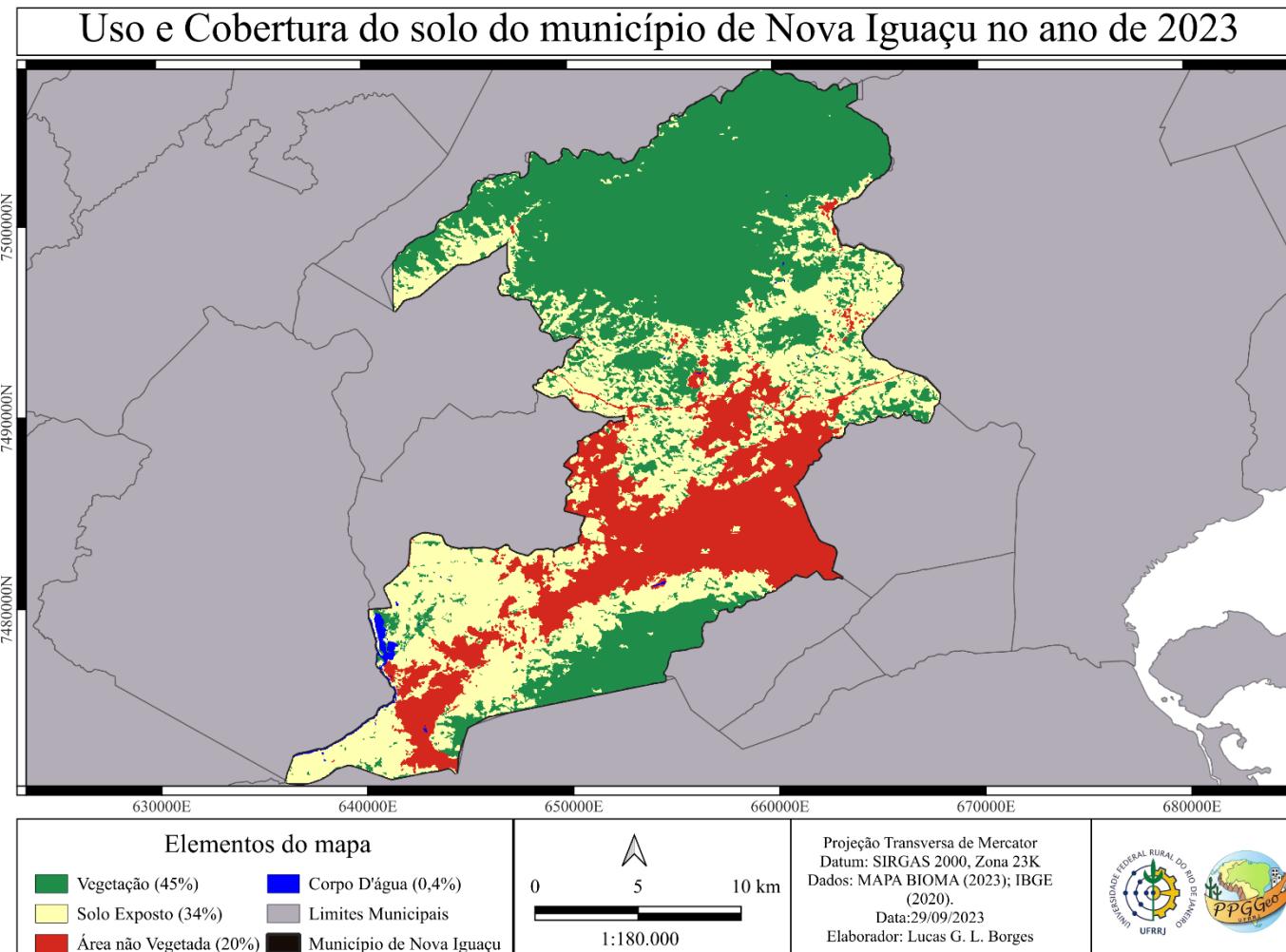
Como podemos observar no mapa de uso do solo de 1985, a vegetação cobria 41% do município de Nova Iguaçu, concentrando-se principalmente nas regiões norte e sul. Pequenos fragmentos verdes, próximos uns dos outros, eram observados entre o centro da cidade e a Reserva Biológica do Tinguá. Essa configuração espacial da vegetação, como ilustrada no Mapa 02, sugere um processo de urbanização que, naquele momento, ainda não havia avançado de forma significativa sobre as áreas naturais do município. A predominância da cobertura vegetal nas extremidades norte e sul pode estar relacionada à presença de Unidades de Conservação e áreas de relevo acidentado, que historicamente impõem barreiras à expansão urbana.

A análise da evolução da paisagem nas décadas seguintes revela um aumento na cobertura vegetal, indicando uma possível reversão da tendência de perda de áreas verdes. Esse fenômeno pode ser atribuído a diversos fatores, como a criação de Áreas de Proteção Ambiental (APAs) a partir de 1998, políticas de reflorestamento e a crescente divulgação sobre a importância da preservação ambiental⁶³. A ampliação da mancha verde, particularmente na porção norte do território onde novas APAs foram estabelecidas, demonstra o impacto positivo dessas medidas na conservação da biodiversidade e na mitigação dos efeitos da urbanização (Montezuma *et al.*, 2010). No entanto, apesar de não ser alvo direto desta pesquisa, é fundamental estimular o aumento da cobertura vegetal com vegetação nativa, que sejam capazes de garantir a conectividade entre os fragmentos florestais e a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para a população conforme analisado por Ferreira (2024) para que, de alguma maneira, haja uma possível influência no clima da cidade (auxiliando na diminuição da temperatura atmosférica e formação das ilhas de frescor).

⁶² A metodologia empregada para elaboração dos mapas baseou-se na obra de Menezes e Mendes (2017). A extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), disponível no programa Quantum GIS (QGIS), foi utilizada para realizar a classificação supervisionada das imagens onde foi possível agrupar pixels com características espectrais semelhantes em classes predefinidas.

⁶³ Em um artigo sobre a importância dos corredores ecológicos (faixa estreita que tem a função de interligar espaços) para a conservação da biodiversidade em áreas urbanas (Montezuma *et al.*, 2010) apresenta uma análise aprofundada da temática com foco no município de Nova Iguaçu. A proposta de criação de um corredor ecológico conectando a REBIO do Tinguá ao Parque Municipal de Nova Iguaçu, utilizando a arborização urbana como elo, representa uma solução inovadora para integrar a cidade à natureza, promovendo a sustentabilidade e a qualidade de vida da população.

Mapa 09: Uso e Cobertura do solo Iguaçuano – ano 2023



Fonte: Executado por Lucas G. L. Borges e organizado pelo autor

Para facilitar a análise dos processos em curso, expostos nos mapas, segue um Quick Response Code (QR Code), figura 24, contendo a compactação dos mapas, em GIF, que permite a exibição em movimento das transformações que se processaram no espaço da cidade.



Figura 24: QR Code para visualização dos mapas compreendidos entre os anos de 1985 a 2023 em formato de GIF⁶⁴

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados adquiridos nos mapas permitem algumas considerações significativas sobre o município. A sequência de mapas produzidos partindo do ano de 1985⁶⁵ até 2023, somados a levantamentos de artigos e outros trabalhos acadêmicos sobre construções/condomínios verticalizados no Centro da cidade e bairros do entorno comprovam a atual tendência urbana iguaçuana. A expansão urbana aqui mapeada estabelece uma concordância com os resultados apresentados nas obras de Menezes e Mendes (2017) sobre a formação de ilhas de calor na cidade⁶⁶, Menezes e Mello (2022) e Rocha (2019) sobre o processo de expansão da cidade.

A análise da sequência temporal, de 1985 a 2023, evidencia uma mudança na expansão urbana de Nova Iguaçu. A Tabela 06, apresentada a seguir, sintetiza a variação das áreas de vegetação densa, solo exposto, área não vegetada e corpo d'água ao longo dos 38 anos do estudo, fornecendo uma visão quantitativa das mudanças ocorridas na paisagem urbana de Nova Iguaçu.

Tabela 06: Variação das áreas selecionadas ao longo de 38 anos no município de Nova Iguaçu

CLASSES	ANOS					VARIAÇÃO
	1985	1995	2005	2015	2023	
VEGETAÇÃO DENSA	41%	42%	44%	44%	45%	4%
SOLO EXPOSTO	45%	42%	38%	36%	34%	-11%
ÁREA NÃO VEGETADA	14%	16%	18%	20%	20%	6%
CORPO D'ÁGUA	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,40%	0,10%

Fonte: Elaborada pelo autor

⁶⁴ Necessário realizar o download para completa visualização

⁶⁵ Apesar de ter um território diferente do atual nas datas selecionadas de 1985 e 1995, o recorte para o levantamento dos dados respeitou os limites atuais, ou seja, foi desconsiderado as áreas pertencentes atualmente a Belford Roxo (emancipado em 1990) e Mesquita (emancipado em 1999) (Simões, 2007).

⁶⁶ Em seu trabalho os autores investigam a relação entre a temperatura da superfície terrestre e a cobertura e o uso do solo no município de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, entre os anos de 1990 e 2015. São analisados os dados de sensoriamento remoto de satélites Landsat para mapear as mudanças na paisagem para correlacioná-las com as variações de temperatura, identificando o papel da urbanização na formação de ilhas de calor.

Sobre a ampliação em 4% da vegetação densa ao longo do período considerado, aborda-se a possibilidade de estar relacionada a criação de Áreas de Proteção Ambiental (APAs)⁶⁷ no município nos anos de 1998, 2004 e 2012 (ver tabela 07). A ampliação da mancha verde fica bem caracterizada na porção norte do território onde estas foram estabelecidas. Conforme analisado anteriormente, tal situação beneficia diretamente o ambiente, permitindo a formação de ilhas de frescor⁶⁸, uma vez que vão impactar diretamente sobre as temperaturas locais. Também abordado anteriormente, a criação destas APAS vai servir como espaços limitadores de uma possível expansão horizontal urbana para esta direção.

Tabela 07: Datas das criações das Unidades de Conservação municipais em Nova Iguaçu

Unidades de Conservação	Ano de criação
1. PNMNI	1998
2. APA Jaceruba	2004
3. APA Rio D’Ouro	2004
4. APA Tinguá	2004
5. APA Retiro	2004
6. APA Tinguazinho	2004
7. APA Morro Agudo	2004
8. APA Posse-Guarita	2012
9. APA Açu	2004

Fonte: Site da PMNI, acessado em out. 2024

Sobre a Área Não Vegetada presente em Nova Iguaçu a análise se amplia pois nas primeiras 3 décadas do período destacado houve um crescimento de 6% sendo 2% por década. Nos últimos 08 anos do espaço amostral não foi registrado ampliação dos valores podendo ser considerado, portanto, uma expansão urbana horizontal mais lenta que as décadas anteriores por estar ocorrendo de forma mais verticalizadas (Menezes e Mello, 2022), o que nos permite evidenciar que outros problemas podem aparecer como a circulação maior de carros, pessoas e outros serviços para atender essa ‘população que vem para essas áreas.

As análises realizadas até aqui neste capítulo evidenciaram a complexa dinâmica de transformação urbana experimentada por Nova Iguaçu nas últimas décadas, culminando em um processo de verticalização e adensamento, especialmente no Centro e em seu entorno. A transição de uma economia agrícola para uma baseada em serviços e indústria impulsionou o crescimento populacional e a demanda por moradia, levando à fragmentação dos antigos laranjais e sítios em lotamentos e condomínios verticais. Esse processo, embora tenha contribuído para a modernização da paisagem urbana e para a contenção da expansão horizontal, intensificou a ocupação de áreas já consolidadas, alterando significativamente o uso e cobertura do solo.

⁶⁷ A geógrafa Núbia Beray Armond afirma, em entrevista cedida ao Jornal O Globo, que não há estudos que analisem o impacto do reflorestamento no clima urbano. A pesquisadora afirma que “O dado de vegetação por si só não tem como nos dar essa resposta de forma linear, principalmente pensando na escala da cidade. Desconheço, hoje, estudos que façam essa relação para o Estado do Rio” (O Globo, 2024).

⁶⁸ Ilhas de frescor podem ser formadas a partir de áreas vegetadas e corpos d’água que ajudam a regular o microclima urbano (Junior *et al.*, 2024). Parques urbanos, por exemplo, geralmente contêm vegetação e corpos d’água, sendo mais frescos do que as áreas urbanizadas ao seu redor. Esse efeito de ilha de frescor é crucial para mitigar os efeitos adversos do clima nas cidades.

A substituição da vegetação por concreto, asfalto dentre outros materiais, intensificam um cenário propício para a formação de ilhas de calor, impactando diretamente o clima urbano. A intensificação do adensamento populacional e a concentração de atividades comerciais e industriais nessas áreas contribuem para o aumento da emissão de gases e partículas poluentes, agravando os efeitos da urbanização sobre o meio ambiente. Diante dessa realidade, torna-se crucial aprofundar a investigação dos impactos dessas alterações sobre o clima urbano de Nova Iguaçu.

Para tanto, o próximo capítulo explorará a aplicação de uma nova tecnologia para coleta de dados sobre temperatura de superfície: o uso de RPAS, popularmente conhecido como drone. A coleta de dados com RPAS sobre as estações meteorológicas localizadas nos bairros Centro e Moquetá permite uma análise detalhada da distribuição espacial da temperatura, evidenciando a influência da verticalização e do adensamento urbano na dinâmica climática local. A aplicação dessa metodologia inovadora visa dar início a criar de uma base de dados precisa e georreferenciada, capaz de subsidiar futuras pesquisas e ações de planejamento urbano voltadas à mitigação dos impactos da urbanização sobre o clima da cidade.

3.3 Caracterização do clima iguaçiano

A compreensão das dinâmicas climáticas de uma região é crucial para a análise de diversos fenômenos geográficos, socioambientais e urbanos. No caso de Nova Iguaçu, município inserido na Baixada Fluminense, a caracterização do clima local assume particular relevância, visto que suas características influenciam diretamente no alvo desta pesquisa que trata do clima urbano, a ilha de calor. A presente seção se propõe a delinear os aspectos climáticos de Nova Iguaçu, com base em trabalhos de referência que fornecem uma visão aprofundada sobre o tema.

A escolha dos trabalhos que sustentam essa análise se justifica por se tratarem de fontes amplamente reconhecidas e consultadas em estudos sobre o clima da Baixada Fluminense. Os sites Weather Spark (2025) e Climate-Data.org (2025) se destacam por fornecerem uma análise detalhada e quantitativa das variáveis climáticas, com base em dados históricos e modelos numéricos. As obras de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997), por sua vez, representam importantes contribuições para a compreensão da dinâmica climática da região, abordando a influência de fatores geográficos, históricos e atmosféricos na configuração do clima iguaçiano. A partir dessas fontes, busca-se construir uma base sólida para a análise dos aspectos climáticos de Nova Iguaçu e suas implicações para o estudo do clima urbano.

Os sites Weather Spark (2025) e Climate-Data.org (2025), embora apresentem dados climáticos de Nova Iguaçu, utilizam metodologias distintas para a obtenção e apresentação das informações. O Weather Spark (2025) se baseia em uma análise estatística de relatórios históricos e reconstruções de modelos, combinando dados de estações meteorológicas distantes da cidade iguaçana⁶⁹ (conforme figura 25 exibida em na plataforma online) e modelos globais da NASA. Este utiliza uma abordagem de modelagem complexa, considerando variáveis como altitude, posição do sol e dados de satélite para gerar uma estimativa precisa das condições climáticas. Essa metodologia permite uma análise mais detalhada e abrangente das variáveis climáticas ao longo do ano, incluindo temperatura, precipitação, umidade, ventos e sensação térmica.

⁶⁹ As estações meteorológicas que baseiam as informações contidas no site estão localizadas na Base Aérea do Campo dos Afonsos (SBAF) que fica distante 15 km a sudeste de Nova Iguaçu com uma mudança de altitude de -3m e no Aeroporto Bartolomeu de Gusmão (SBSC) situado a 34 km a sudoeste da referida cidade possuindo mudança de altitude de -33 m (Weather Spark, 2025).

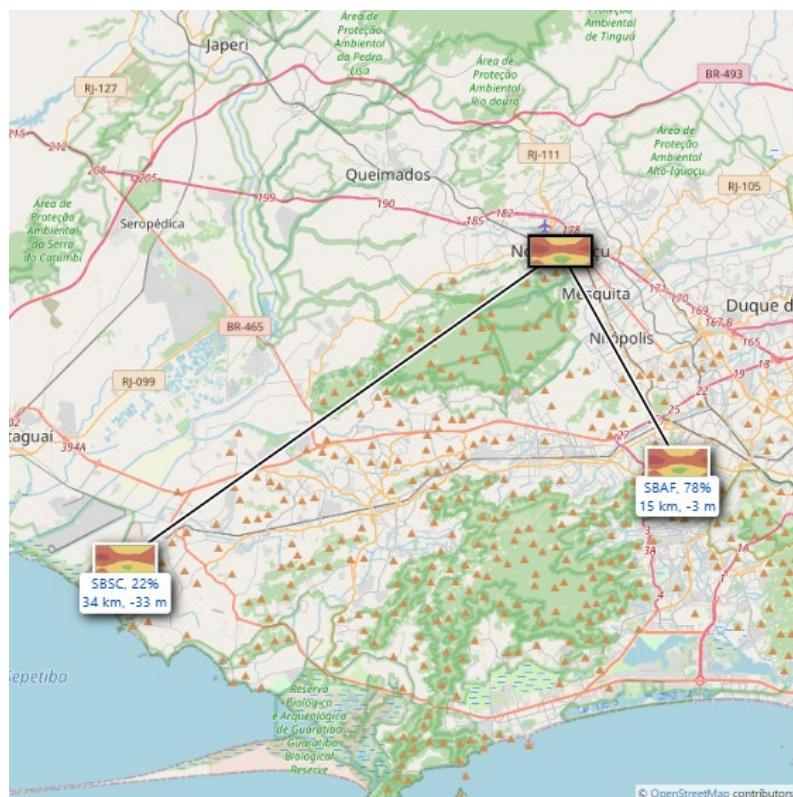


Figura 25: Localização das estações meteorológicas da plataforma WEATHER SPARK
Fonte: Weather Spark, 2025.

Já o Climate-Data.org (2025) utiliza dados do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), um modelo meteorológico global de alta resolução. O site apresenta médias climatológicas de longo prazo, com base em dados coletados entre 1991 e 2021. A ênfase está na apresentação de médias mensais e anuais de temperatura e precipitação, com gráficos e tabelas que facilitam a visualização dos padrões climáticos. Esta metodologia é mais concisa, focando nos principais elementos climáticos e oferecendo uma visão geral do clima de Nova Iguaçu.

Apesar das diferenças metodológicas, os sites convergem na definição e classificação do clima iguaçano, complementando-se na apresentação das informações. Ambos utilizam a classificação de Köppen, definindo o clima de Nova Iguaçu como Aw (Tropical com Chuvas de Verão). Essa convergência reforça a caracterização do clima da região como tropical, com verões úmidos e invernos secos. Enquanto o Weather Spark (2025) se aprofunda na análise detalhada das variáveis climáticas ao longo do ano, o Climate-Data.org (2025) fornece uma visão geral concisa e visualmente acessível dos padrões climáticos.

O site Weather Spark (2025) descreve o clima de Nova Iguaçu como tendo “variação sazonal extrema na sensação de umidade, ou seja, o mês com mais dias abafados em Nova Iguaçu é janeiro, com 29,5 dias abafados ou pior, enquanto que o mês com menos dias abafados é julho, com 5,6 dias abafados ou pior”. A temperatura média anual é de 22,8°C, com máxima média de 26,1°C em fevereiro tornando-o mais quente e mínima média de 19,3°C em julho. A precipitação média anual é de 1394 mm, com pico de 234 mm em janeiro e mínima de 36 mm em agosto. O verão é caracterizado por temperaturas elevadas e alta umidade, enquanto o inverno é ameno e seco, com menor incidência de chuvas, segundo o Climate-Data.org (2025). Os dados dos sites, portanto, demonstram a influência da dinâmica atmosférica na variabilidade climática de Nova Iguaçu ao longo do ano.

As informações dos sites corroboram a classificação de Köppen como Aw, evidenciando a sazonalidade marcante do clima iguaçano. A influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da massa Polar atlântica (mPa) na região, como apontado por Malvestio e Nery (2012) e Sant'Anna Neto (2005), contribui para a concentração de chuvas no verão e a ocorrência de frentes frias no inverno.

Em paralelo aos dados quantitativos dos sites, as obras de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997) contribuem para uma compreensão mais contextualizada do clima iguaçano. Nimer (1972, 1977), em seus estudos sobre a climatologia da Região Sudeste do Brasil, baseado principalmente no comportamento térmico para elaboração da sua classificação climática, destaca a influência da posição geográfica, maritimidade, circulação atmosférica e relevo na determinação dos tipos climáticos. O autor analisa a dinâmica das massas de ar, as frentes frias, as linhas de instabilidade e a influência da Serra do Mar na configuração do clima regional. Seus trabalhos fornecem uma base teórica robusta para a compreensão dos processos atmosféricos que influenciam o clima de Nova Iguaçu.

Amador *apud* Simões (2011), por sua vez, aborda a influência das mudanças climáticas do passado na configuração do clima atual da Baixada Fluminense. O autor destaca o período da última glaciação, há cerca de 20.000 anos, quando a região experimentava um clima mais frio e seco, com vegetação predominante de savana. A partir do Holoceno, houve um aumento da temperatura e da pluviosidade, levando à formação da Mata Atlântica. A obra de Amador (1997) evidencia a importância da perspectiva histórica na análise do clima iguaçano, mostrando como as mudanças climáticas do passado moldaram as características do clima atual.

As obras de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997) fornecem uma base conceitual para a interpretação dos dados quantitativos dos sites. Nimer (1972, p.37) destaca que o Sudeste do Brasil possui uma notável diversificação de clima devido à influência de "fatores como a orografia, o vasto litoral soprado quase constantemente pelos alísios de leste (E) e nordeste (NE); e sobretudo, por se tratar de um território de importantes variações de latitude e longitude". A Baixada Fluminense, por se localizar em uma área de transição entre diferentes zonas climáticas, experimenta essa diversidade em seu clima local. As altas temperaturas e a umidade elevada, características do clima tropical, são influenciadas pela proximidade com o oceano e pela intensa radiação solar.

Amador *apud* Simões (2011, p. 40), por sua vez, destaca que "o atual clima da Baixada Fluminense somente se consolidou a pouco mais de 8.000 anos". A mudança climática ocorrida no Holoceno, com o aumento da temperatura e da pluviosidade, contribuiu para a formação da Mata Atlântica e para a configuração do clima tropical úmido que predomina na região. A perspectiva histórica de Amador (1997) complementa a análise de Nimer (1972, 1977), mostrando como as mudanças climáticas do passado moldaram as características do clima atual de onde se localiza Nova Iguaçu.

As obras e sites destacados continuam fornecendo subsídios a trabalhos recentes. Como exemplo temos a pesquisa de Ferreira (2024), publicado recentemente pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), que utiliza dados dos sites Weather Spark (2025) e Climate-Data.org (2025) para contextualizar a análise do clima iguaçano. A dissertação, que investiga a influência das áreas verdes no conforto térmico em Nova Iguaçu, utiliza os dados dos sites para caracterizar o clima local e discutir as implicações das variáveis climáticas para o bem-estar da população. A pesquisa de Ferreira (2024) demonstra a relevância dos dados climáticos para a análise de questões urbanas e socioambientais, e a importância da utilização de fontes confiáveis e atualizadas para a obtenção de informações precisas sobre o clima de Nova Iguaçu.

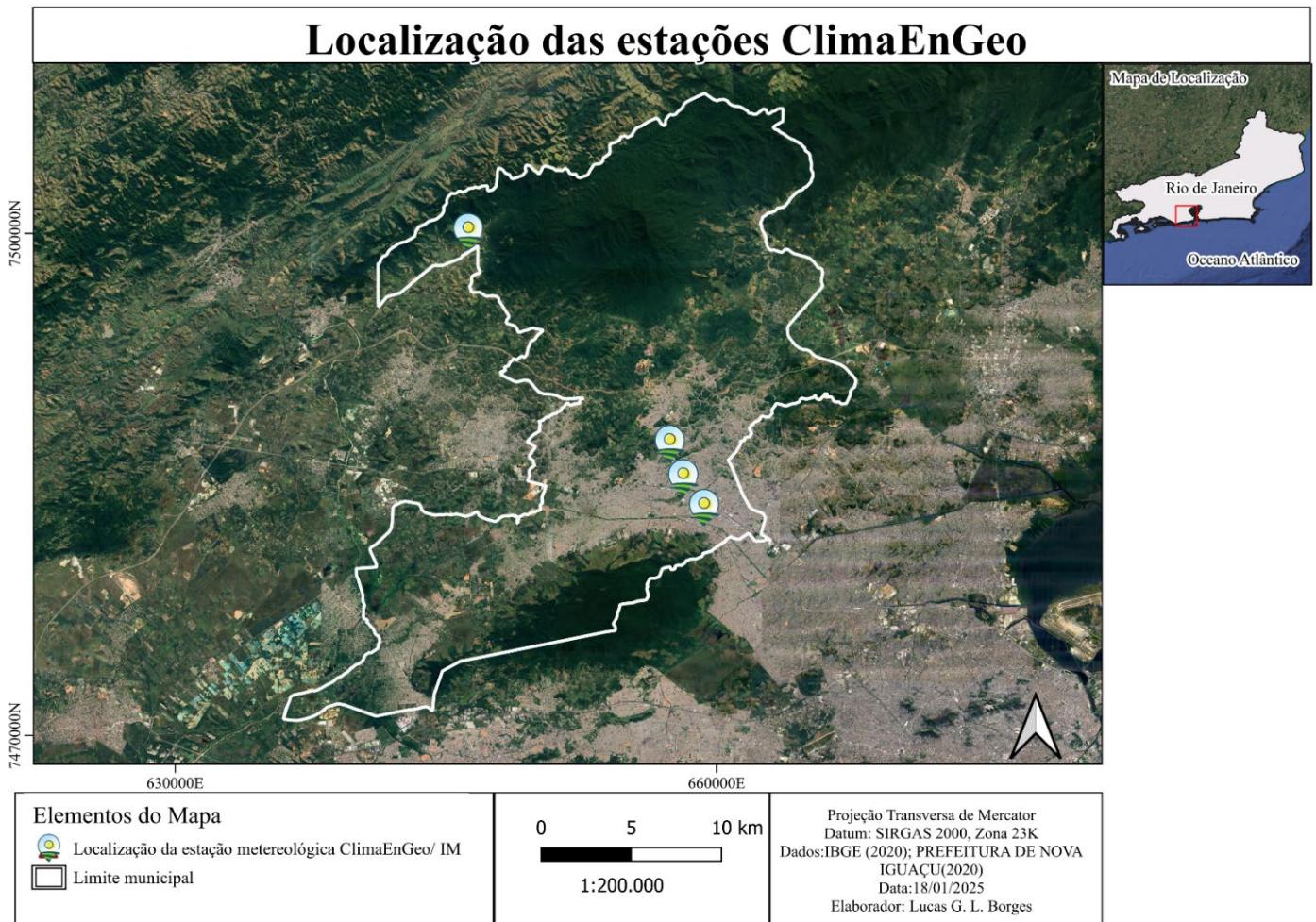
Cabe, então, considerar que um maior levantamento de dados com equipamentos confiáveis corrobora com pesquisas mais amplas. O Laboratório de Climatologia e Ensino de Geografia (ClimaEnGeo) coordenado pela Professora Dra. Cristiane Cardoso da UFRRJ – IM implantou 4 estações meteorológicas na cidade. Houve com isso uma ampliação do

monitoramento meteorológico para um entendimento climático com informações e dados precisos sobre as condições atmosféricas locais, permitindo um acompanhamento constante das variáveis climáticas e a identificação de tendências e padrões.

A intensificação da rede de monitoramento climático, com a instalação de estações meteorológicas em pontos estratégicos da cidade conforme se observa no mapa 10 abaixo, nos bairros Centro (estação Mestre Hiran), Moquetá (estação IM-UFRJ), Ponto Chique (estação Maria Justiniano) e Jaceruba (estação Jaceruba – área rural na zona de amortecimento do Parque do Tinguá), representa um avanço significativo na coleta de dados atmosféricos em Nova Iguaçu. A ampliação da rede, abrangendo diferentes zonas da cidade, permitirá um mapeamento mais preciso das variáveis climáticas, como temperatura, umidade, precipitação e ventos, em microescala.

Essa granularidade na coleta de dados será crucial para aprofundar a compreensão da dinâmica climática local, identificando áreas de vulnerabilidade e subsidiando a elaboração de estratégias de mitigação dos efeitos das ilhas de calor. A análise comparativa dos dados coletados nas diferentes estações permitirá, por exemplo, avaliar a influência da urbanização, da vegetação e da topografia na variabilidade do clima em diferentes pontos da cidade, contribuindo para um planejamento urbano mais eficiente e sustentável.

Mapa 10: Localização das estações do ClimaEnGeo na cidade de Nova Iguaçu -RJ

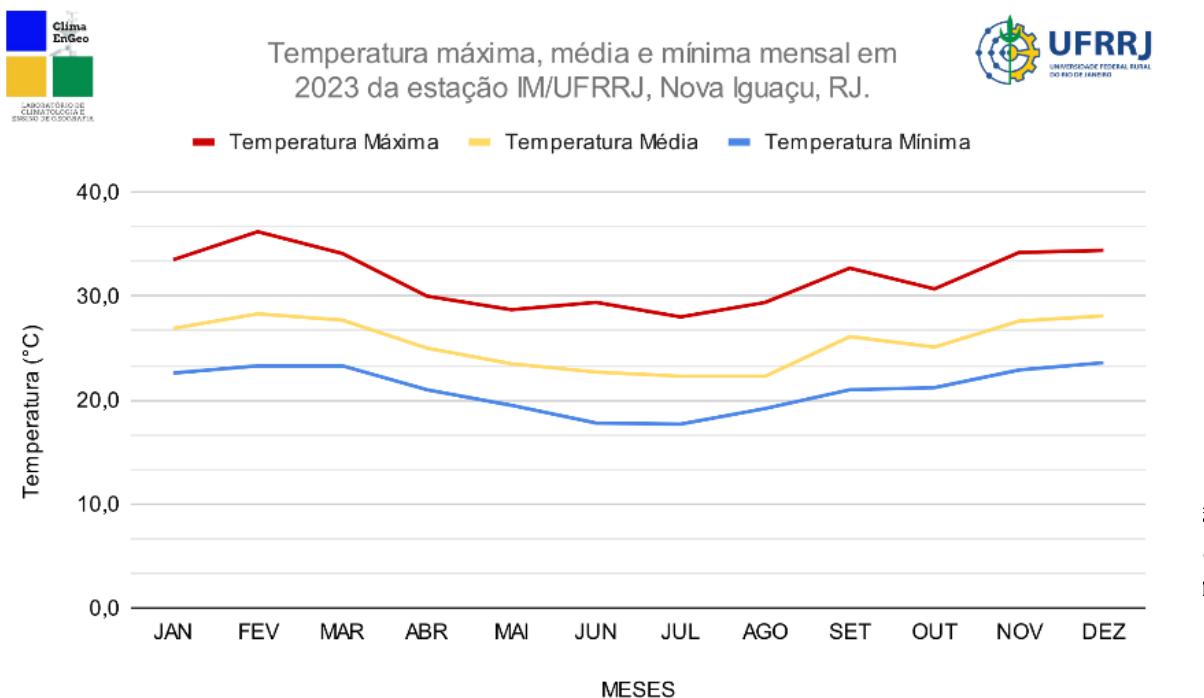


Fonte: Elaborado por Lucas G. L. Borges organizado pelo autor

A estação localizada no IM UFRRJ⁷⁰ está em operação a mais tempo que as demais (entrando em operação em 06 de agosto de 2021), e dela já é possível obter alguns dados diários, mensais e anuais que colaboram para pesquisas acadêmicas IM UFRRJ (2025). A seguir são apresentados uma sequência de gráficos que comprovam o mês mais quente e mais frio do ano em Nova Iguaçu apontados pelos sites Weather Spark e Climate-Data.org e agora pela estação IM UFRRJ. A informação que tais meses tiveram o comportamento térmico descrito provém do gráfico 01 que pode ser analisado logo abaixo.

⁷⁰ Cabe destacar que esta foi a primeira estação meteorológica da cidade e que o processamento dos dados a seguir contou com a colaboração das bolsistas Rafaella Oliveira de Araújo e Gabrielle Damasceno dos Santos.

Gráfico 01: Valores de temperatura mensal em Nova Iguaçu, ano 2023



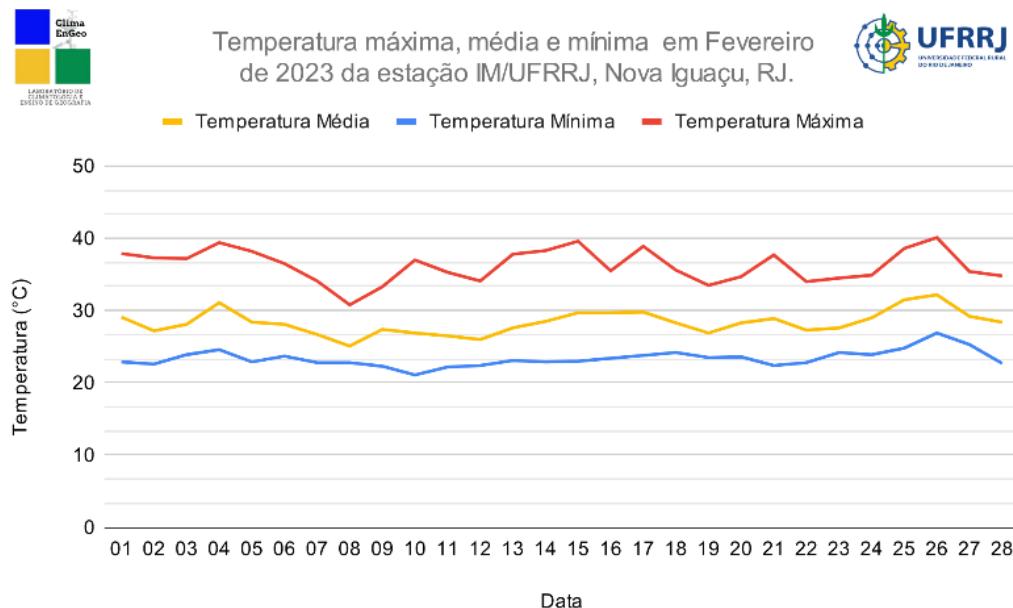
Fonte: Laboratório ClimaEnGeo

⁷¹ No momento da escrita desta pesquisa os dados anuais completos de 2024 ainda não haviam sido completamente processados, sendo analisado, portanto, apenas os dados térmicos do ano de 2023.

Gráficos 02 e 03: Valores de temperatura diária em fevereiro e julho no ano de 2023



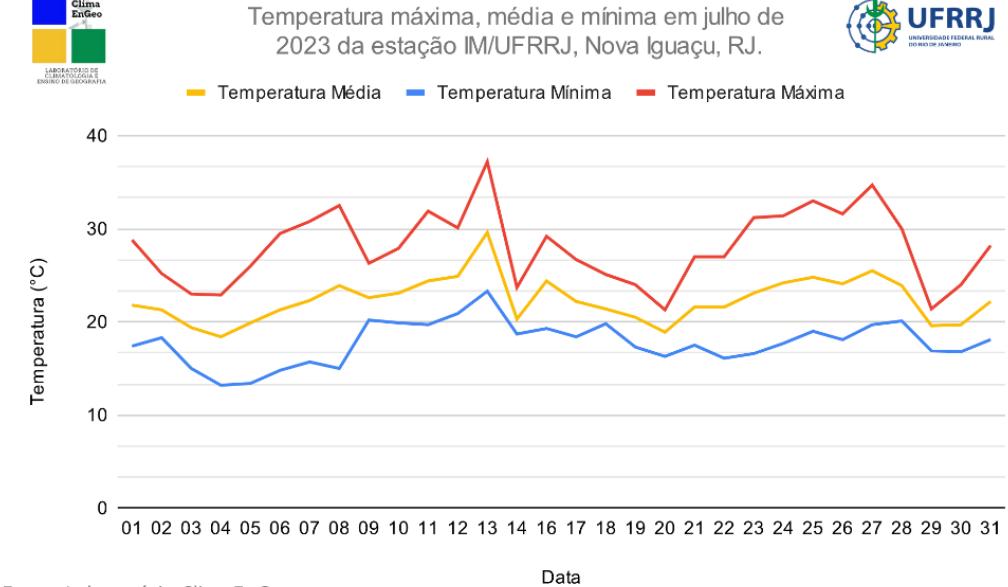
Temperatura máxima, média e mínima em Fevereiro de 2023 da estação IM/UFRRJ, Nova Iguaçu, RJ.



Fonte: Laboratório ClimaEnGeo



Temperatura máxima, média e mínima em julho de 2023 da estação IM/UFRRJ, Nova Iguaçu, RJ.



Fonte: Laboratório ClimaEnGeo



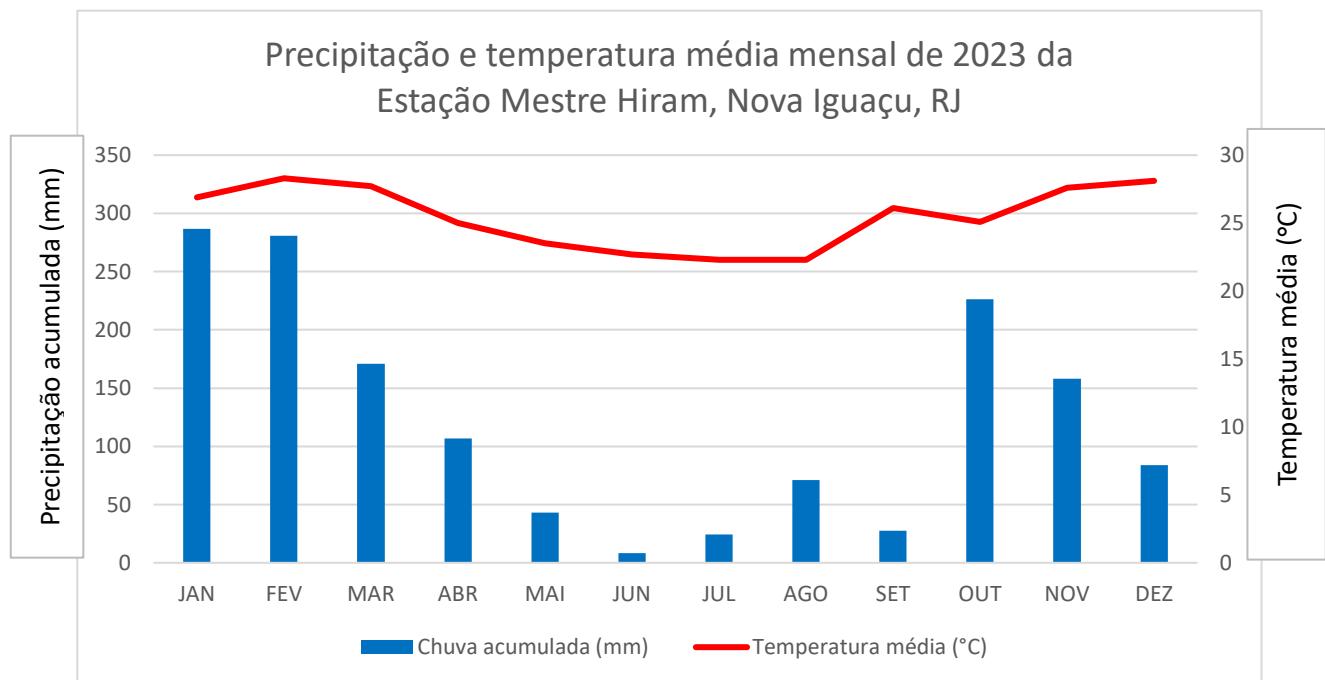
Fevereiro foi o mês mais quente e a sua temperatura média apresentou uma estabilidade considerável, com pequenas oscilações ao longo do mês. A linha que representa essa média no gráfico mantém-se predominantemente entre 28°C e 30°C. No início do período, houve uma leve queda na temperatura média, atingindo seu ponto mais baixo em torno do oitavo dia. Em seguida, observamos uma tendência de gradual elevação até meados do mês, seguida por uma nova pequena queda no final de fevereiro. Essa oscilação, embora presente, não é expressiva, indicando uma relativa constância na temperatura média durante o período analisado. No entanto, é importante destacar que, apesar dessa constância geral, ainda ocorreram variações diárias significativas, como evidenciado pela distância entre as linhas que representam as temperaturas máxima e mínima.

Julho foi o mês mais frio e ao analisar a curva que representa a sua temperatura média, observamos um comportamento dinâmico, com oscilações consideráveis ao longo do mês. Essa média, apresenta picos e vales, indicando variações significativas nas temperaturas médias diárias. No início do mês, a temperatura média se mostra mais elevada, com um pico evidente por volta da segunda semana. A partir desse ponto, há uma tendência de declínio, com a temperatura média atingindo seus valores mais baixos no final do mês. No entanto, essa tendência de queda não é linear, pois são observadas pequenas oscilações ao longo de todo o período.

As informações obtidas nas estações do ClimaEnGeo estão em funcionamento desde o ano de 2021, portanto com poucos dados para serem utilizados na caracterização do clima da cidade. A pesquisa aqui desenvolvida não pretende desenvolver uma nova classificação climática ou mesmo analisar os dados das estações ClimaEnGeo para se verificar se os sites abordados refinam suas informações de tal forma que seja confiável para o pesquisador. A pretensão é agrupar informações e autores cujas bases de pesquisa são amplamente citadas em trabalhos acadêmicos e apontar para uma fonte segura de dados processados pelo laboratório.

Segue abaixo o gráfico 04 que foi processado com a temperatura média mensal e precipitação do ano de 2023. O armazenamento dessas informações permitirá, a futuras pesquisas, uma abordagem cada vez mais rica em dados refinados que podem servir a pesquisas de diversas ciências. Para a abordagem que aqui se apresenta, conseguimos obter um panorama de um ano atípico marcado por oscilações atmosféricas mundiais.

Gráfico 04: Climograma da cidade de Nova Iguaçu, 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ano de 2023 foi marcado por um intenso El Niño, que resultou em temperaturas excepcionalmente altas em todo o Brasil (INMET, 2024). Essa situação climática provavelmente teve um impacto direto nas informações climáticas de Nova Iguaçu. É plausível que o El Niño de 2023 tenha elevado as temperaturas em Nova Iguaçu para além das médias climatológicas. Essa influência pode ter intensificado a formação de ilhas de calor na cidade, um fenômeno diretamente relacionado ao clima urbano e foco da pesquisa. Portanto, é importante considerar o contexto climático excepcional de 2023 ao analisar as informações do climograma, reconhecendo que as temperaturas e os índices pluviométricos registrados naquele ano podem não ser representativas das condições climáticas de médias e longo prazo.

CAPÍTULO IV: ANÁLISE COMPARATIVA GEOESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ATMOSFÉRICA NO CONTEXTO IGUAÇUANO

O último capítulo desta dissertação representa a culminação de um percurso investigativo que, partindo de sólidos fundamentos teóricos e metodológicos, converge para a análise empírica que pretende demonstrar que a utilização de *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) como ferramenta é capaz de contribuir para o estudo do fenômeno das ilhas de calor de superfície na cidade de Nova Iguaçu. Fundamentado nos aportes da climatologia urbana, física térmica, meteorologia e geografia, este capítulo materializa o diálogo entre essas áreas como ferramenta essencial para a compreensão das complexas dinâmicas climáticas urbanas.

Inspirado na metodologia proposta por Kapil *et al.* (2023), temos a aplicação da técnica para a criação de ortomosaicos térmicos de alta resolução. Através da análise destes ortomosaicos, imagens térmicas obtidas a altitude variadas em conjunto com os dados das estações meteorológicas, busca-se identificar alguns padrões espaciais de temperatura na superfície urbana e verificar se a metodologia permite a realização de estudos sobre a formação de ilhas de calor de superfície.

A presente análise aplica a metodologia para os estudos de clima urbano, que se destaca pela inovadora combinação da termografia aérea, utilizando um RPAS combinados com dados provenientes de estações meteorológicas, nesse caso as estações Plugstation WS22. A escolha desta abordagem reside na sua capacidade de fornecer dados geoespaciais precisos e detalhados, superando as limitações das abordagens tradicionais. Ao mesmo tempo, a pesquisa reconhece a importância de integrar dados de diferentes fontes para obter uma compreensão mais detalhada dos elementos que compõe o clima urbano (apesar de não ter como foco o levantamento da temperatura de cada item nos imageamentos realizados).

A discussão dos resultados se ancora nos conceitos apresentados ao longo da dissertação como calor e radiação por exemplo. A articulação entre os conceitos e os dados empíricos permite a interpretação das dinâmicas térmicas observadas em Nova Iguaçu, revelando a influência de fatores como a urbanização e a presença de áreas verdes na distribuição da temperatura de superfície.

Este capítulo, portanto, ao apresentar os resultados da pesquisa, demonstra o potencial da utilização de RPAS equipados com câmeras termais como ferramenta para o estudo das ilhas de calor de superfície e para a investigação do clima urbano.

4.1 Dados meteorológicos de temperatura atmosférica em Nova Iguaçu

Antes de se iniciar uma comparação entre os valores médios de temperatura de superfície obtidos nos voos com RPAS e os dados de temperatura atmosférica coletados nas estações modelo Plugstation WS22 do ClimaEnGeo localizadas no IM UFRRJ e EEMH se faz pertinente expor as razões pela qual devemos considerar tal relação. Diversos fatores justificam a necessidade de analisar essas duas variáveis em conjunto

dentre elas podemos destacar a transferência de calor⁷², o conforto térmico e previsões climáticas.

No que se refere a transferência de calor pode-se considerar que a temperatura da superfície influencia a troca de calor entre o ambiente construído e a atmosfera (Gamarra, 2012; Rivero, 1986; Varejão-Silva, 2006). Superfícies mais quentes, como asfalto e concreto expostos ao sol, irradiam calor para o ar, contribuindo para o aumento da temperatura atmosférica local. Sobre o conforto térmico vale destacar a importância da relação entre a radiação de ondas longas emanadas dos corpos com as ondas curtas da radiação solar e, dentre outras variáveis, da temperatura do ar para se realizar o cálculo da temperatura média radiante. Ela é calculada a partir da temperatura das superfícies ao redor do corpo humano e representa a troca de calor por radiação. A temperatura do ar, por sua vez, influencia a troca de calor por convecção. Portanto, ambas as temperaturas são importantes para determinar a sensação térmica das pessoas (Rodríguez, 2022).

Análises e previsões climáticas para serem aplicadas dependem de modelos (Wallace e Hobbs, 2006) e estes podem ser aprimorados, especialmente em áreas urbanas, a partir do conhecimento do comportamento térmico dos materiais que podem ser levantados a partir de câmeras termais (Rodríguez, 2022). Esses modelos podem auxiliar no planejamento urbano, na implementação de medidas de mitigação dos impactos climáticos urbanos e na criação de cidades mais sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas, permitindo um melhor planejamento dos momentos de crises (MENDONÇA, 2011).

Diante das ponderações abordadas, portanto, torna-se mister identificar alguns padrões espaciais de temperatura atmosférica entre as estações meteorológicas EEMH e IM UFRRJ no dia selecionado para a coleta de dados (04 de setembro de 2024) e destacar que as informações a seguir voltam-se para a transferência de calor e aferição da temperatura atmosférica, indicando o conforto térmico, previsões climáticas e comportamento térmico dos materiais para futuras pesquisas. Para fins comparativos foram extraídos os dados do relatório das respectivas estações permitindo a criação das tabelas 08 e 09 que seguem abaixo.

⁷² Calor é a transferência de energia térmica entre corpos com diferentes temperaturas. O calor sempre flui espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. No caso apresentado significa pouca transferência de energia térmica do pavimento e do telhado para atmosfera (Rivero, 1986).

Tabela 08: Dados de temperatura da atmosfera na estação Mestre Hiram: intervalo entre o final da manhã (11:00h) e meio da tarde (16:00h)

The screenshot shows a web-based reporting interface for the 'Mestre Hiram' station. The top navigation bar includes the 'plugfield' logo, a 'Relatórios' button, and a breadcrumb trail 'Inicial / Relatórios'. On the left, a sidebar offers links to 'Dashboard', 'Relatórios', 'Usuários', 'Línguas', and 'Sair'. The main content area is titled 'Leituras por sensor' and displays a table of temperature data. The table has columns for 'Estação' (00749 - Mestre Hiram), 'Sensor' (Temperatura), 'Agrupamento' (Não agrupar), and 'Período' (04/09/2024 Até 04/09/2024). The data table lists 20 rows of temperature measurements, showing values ranging from 27.4°C to 31.4°C at various times between 11:00:43 and 16:15:03 on 04/09/2024.

Estação	Sensor	Agrupamento	Período		
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	Não agrupar	04/09/2024 Até 04/09/2024		
Estação	Sensor	Leitura	Unidade	Data e hora	Ação
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	27.4	°C	04/09/2024 10:47:00	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	28.8	°C	04/09/2024 11:02:43	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	28.3	°C	04/09/2024 11:18:49	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	29.1	°C	04/09/2024 11:34:23	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	29.2	°C	04/09/2024 11:49:53	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	29.9	°C	04/09/2024 12:05:34	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.2	°C	04/09/2024 12:21:06	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.1	°C	04/09/2024 12:36:39	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.2	°C	04/09/2024 12:52:18	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.7	°C	04/09/2024 13:07:45	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.1	°C	04/09/2024 13:23:18	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.2	°C	04/09/2024 13:38:50	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.2	°C	04/09/2024 13:54:21	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	29.9	°C	04/09/2024 14:09:49	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	30.4	°C	04/09/2024 14:25:31	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.5	°C	04/09/2024 14:41:08	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.2	°C	04/09/2024 14:56:42	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.2	°C	04/09/2024 15:12:20	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.3	°C	04/09/2024 15:28:14	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.1	°C	04/09/2024 15:43:44	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.4	°C	04/09/2024 15:59:32	
00749 - Mestre Hiram	Temperatura	31.1	°C	04/09/2024 16:15:03	

Fonte: Elaborada pelo autor

O site <https://plugfield.com.br/report/index> forneceu as informações da leitura dos dados referentes as estações EEMH e IM UFRRJ. Delas abordamos os dados do dia 04/09/2024, mas apenas o período da pesquisa (de 11:00 as 16:00h) foi considerado.

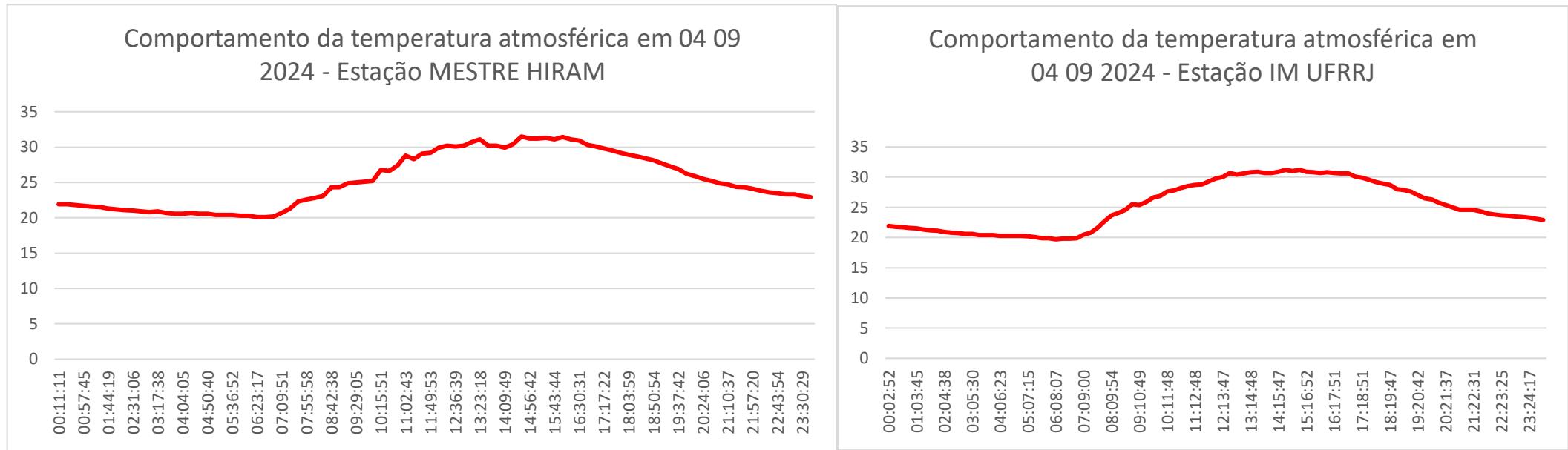
Tabela 09: Dados de temperatura da atmosfera na estação IM UFRRJ: intervalo entre o final da manhã (11:00h) e meio da tarde (16:00h)

Estação	Sensor	Agrupamento	Período
0808 - IM UFRRJ	Temperatura	Não agrupar	04/09/2024 Até 04/09/2024
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		
0808 - IM UFRRJ	Temperatura		

Fonte: Elaborado pelo autor

A separação dos dados resultou em seis gráficos, analisados obedecendo o período diário, o período de todo o trabalho de campo (de 11:00 às 16:00h) e o período de cada Voo (de 11:00 a 12:30h e de 14:30 às 16:00h). Seguem abaixo os gráficos 05 e 06 com as informações do dia em que se processou o trabalho de campo.

Gráfico 05 e 06: Comparação do comportamento da temperatura atmosférica em Nova Iguaçu - RJ



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

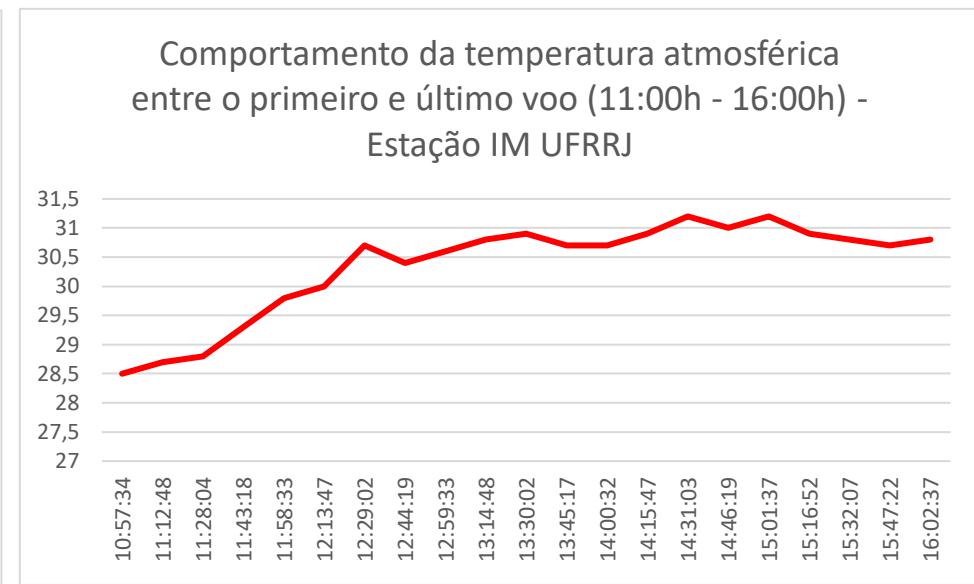
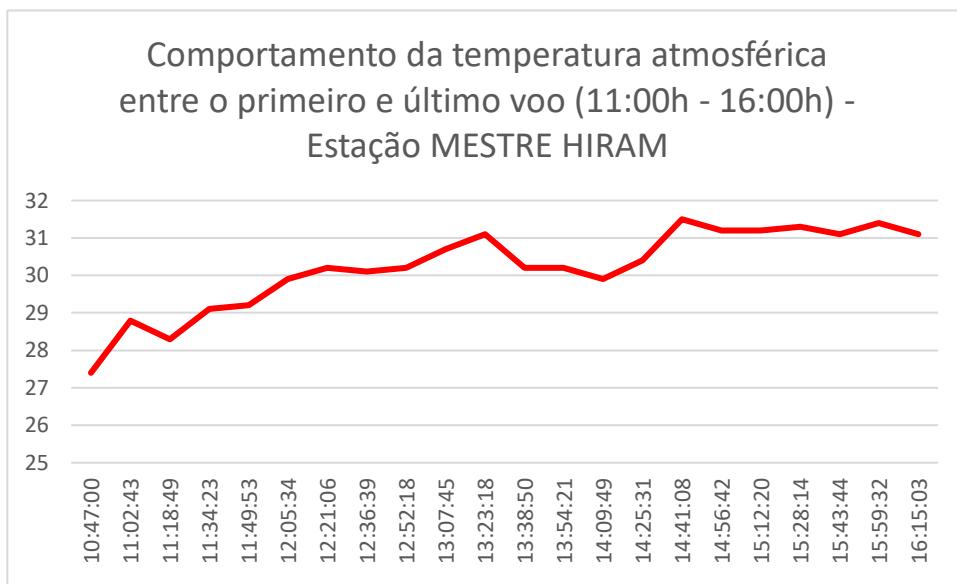
Os gráficos "Comportamento diário da temperatura atmosférica em 04 09 2024 - Estação IM UFRRJ" e "Comportamento diário da temperatura atmosférica em 04 09 2024 - Estação Mestre Hiram" mostram as variações da temperatura atmosférica ao longo do dia 4 de setembro de 2024, dia selecionado para se coletar os dados termais de superfície. Analisando e correlacionando-os a alguns conceitos presentes no Capítulo I, temos a aplicação dos conceitos de tempo e clima onde o tempo se refere às condições atmosféricas em um determinado momento e local, enquanto o clima é uma descrição mais abrangente e estável das condições atmosféricas ao longo de um período prolongado (ARMOND, 2018). Os gráficos mostram o tempo (temperatura do ar) em um dia específico, e a análise de dados de longo prazo permitiria descrever o clima da região.

Ainda diante de correlações conceituais observamos que a radiação solar pode ser considerada pois ambos os gráficos exibem uma variação diária da temperatura, com registros mais baixos no início da manhã, aumento ao longo do dia e um pico durante a tarde (entre 12:00 e 15:00h), seguido por um declínio no final da tarde. Este padrão está relacionado com a radiação solar. A radiação solar atinge o máximo ao meio-dia solar, aquecendo a superfície terrestre, que por sua vez aquece o ar por convecção (Barry e Chorley, 2013; Bedaque e Bretones, 2020). O ar atinge sua temperatura máxima algumas horas após o pico de radiação solar, devido ao tempo necessário para a transferência de calor da superfície para o ar. Na Estação Mestre Hiram, o gráfico "Comportamento da temperatura atmosférica entre o primeiro e último voo (11:00h - 16:00h) - Estação MESTRE HIRAM" indica que a temperatura atmosférica atingiu um pico de aproximadamente 31,5°C por volta das 14:41h. Já Na Estação IM UFRRJ, o gráfico "Comportamento da temperatura atmosférica entre o primeiro e último voo (11:00h - 16:00h) - Estação IM UFRRJ" mostra que a temperatura atmosférica alcançou um pico de aproximadamente 31,2°C por volta das 14:31h.

Considerando a localização das estações, analisa-se que ambas estão em diferentes áreas da cidade, com diferentes características urbanas e de cobertura do solo. A estação IM UFRRJ está localizada no campus da UFRRJ, que possui áreas verdes. Já a estação Mestre Hiram está localizada no centro da cidade, uma área mais urbanizada e verticalizada. Quando se considera um período do referido dia na estação IM UFRRJ (das 6:08 às 18:04h) a média da temperatura atmosférica ficou em 27,6°C enquanto que na estação Mestre Hiram entre 6:07 e 18:03h a média foi de 27,4°C. Apesar do padrão geral similar sobre a localização das estações, existem diferenças nas temperaturas registradas nas duas estações.

Os gráficos 07 e 08 recortam o período de 5h (das 11:00 às 16:00h) para se compreender como se comportou a temperatura atmosférica durante a coleta dos dados termais de superfície.

Gráficos 07 e 08: Comportamento da temperatura atmosférica no período selecionado para a coleta de dados termais de superfície



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

A média térmica da atmosfera entre 10:57 e 16:02h na estação IM UFRRJ foi de 30,3°C, enquanto na estação Mestre Hiram, a média entre 10:47 e 16:15h foi de 30,2°C (período escolhido para se voar com RPAS e coletar os dados termais).

Essas diferenças podem ser atribuídas a fatores como materiais circundantes, uma vez que a capacidade de absorção e retenção de calor dos materiais presentes em cada estação pode influenciar a temperatura máxima da atmosfera. Considerando também superfícies com albedo baixo, como asfalto, absorvem mais calor. As diferenças de albedo entre as áreas ao redor das estações podem contribuir para as diferenças de temperatura observadas. As áreas urbanas, com maior concentração de concreto e asfalto, tendem a absorver mais radiação solar e reter mais calor do que áreas com vegetação, resultando em temperaturas mais elevadas. A estação do IM UFRRJ está localizada no telhado de um prédio, com materiais de alvenaria e telhado de amianto. A estação Mestre Hiram sofre também reflexos do ambiente do entorno, uma vez que se encontra ao redor de grandes edifícios que não chegam a configurar um cânion urbano⁷³, mas a radiação de ondas curtas pode ser impactada (Oke *et al.*, 2017).

A diferença de temperatura entre as estações, embora pequena, pode indicar a presença de uma ilha de calor urbana cujo núcleo não é o centro da cidade, porém apenas com estes dados não é possível se chegar a esta conclusão. Esta conclusão nas variações carece de mais dados, em diferentes períodos do dia e em estações do ano diferentes para caracterizarem bem a ilha térmica na cidade.

4.2 Comparação entre as temperaturas das estações meteorológicas e imagens termais

Para dar início à análise comparativa entre os dados de temperatura coletados (superfície e atmosférica), é essencial contextualizar a metodologia empregada e os parâmetros considerados. A variação da altitude na obtenção das imagens termais permite examinar a distribuição da temperatura horizontalmente (mínima, média e máxima) e sua relação com as características da superfície urbana. As imagens capturadas em 20m, 40m, 60m, 80m e 100m de altitude assim como nos ortomosaicos oferecem perspectivas distintas sobre emissão de radiação e a transferência de calor que são influenciadas pela emissividade dos materiais⁷⁴ e pela incidência da radiação solar luz (Oke *et al.*, 2017).

A análise das imagens termais obtidas em diferentes altitudes, tanto sobre a Estação Mestre Hiram quanto na IM UFRRJ, possibilita a identificação de áreas com maior ou menor emissão de calor, revelando a heterogeneidade térmica do ambiente urbano. A comparação entre as imagens dos dados termais obtidos nas imagens Voo1 e Voo2 permite avaliar também como a altitude influencia a resolução espacial e a capacidade de discriminação das diferentes superfícies.

Ao correlacionar as imagens termais com os dados das temperaturas atmosféricas, busca-se verificar se é possível quantificar mais detalhadamente informações pertinentes a superfície urbana, permitindo chegar à conclusão se a utilização de RPAS, equipado com câmera térmica, permite o imageamento térmico de uma ilha de calor de superfície na cidade de Nova Iguaçu.

A concretização do imageamento térmico obtido a partir do registro em única imagem a cada altitude de 20m até 100m no Voo1 segue abaixo. Para fins de comparação, as cenas foram alocadas lado a lado (considerando a esquerda o sobrevoo sobre a estação Mestre Hiram e a direita IM UFRRJ) respeitando as sequências obtidas nos sobrevoos em

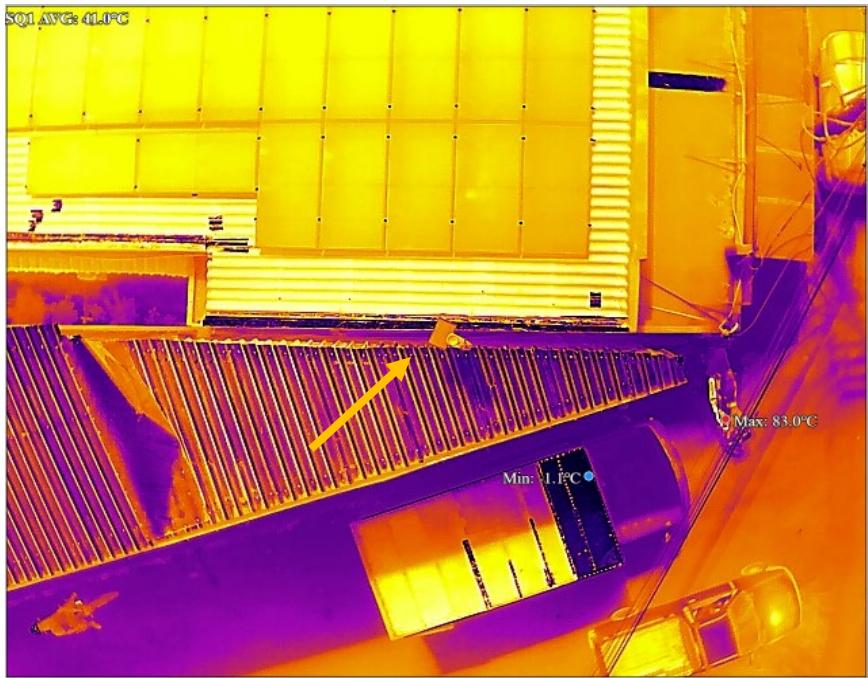
⁷³ Para uma melhor visualização do ambiente descrito, ver Apêndice I e II (fotografias 360°).

⁷⁴ A explicação sobre como foi abordada a emissividade dos materiais nesta pesquisa encontra-se na seção 4.3

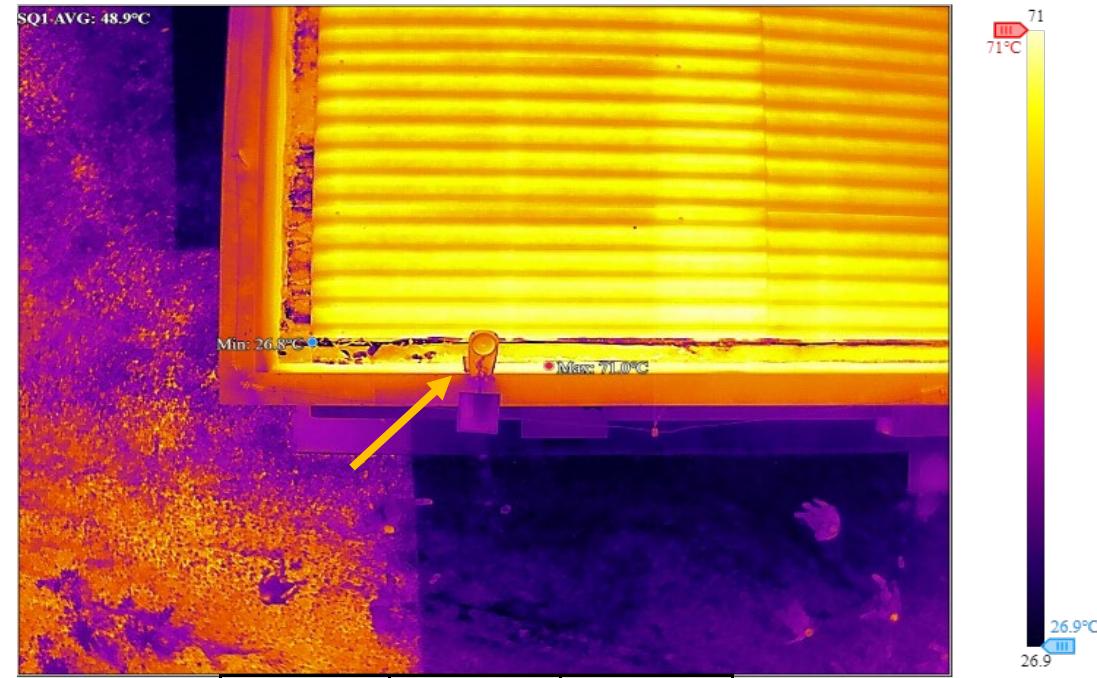
campo. A seta amarela indica a posição das estações meteorológicas. A seguir, as informações extraídas nestas imagens são analisadas e as comparações servirão de base para um maior esclarecimento sobre os ortomosaicos termais, pois estes abrangem áreas maiores.

Fotografia 08 e 09: Voo 1 – 20m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,35cm/px)
 04/09/2024 - 11:16:16

04/09/2024 - 11:59:46



MEDIÇÕES EEMH 20m	MIN	-1.1°C
	MÉDIA	41.0°C
	MAX	83.0°C



MEDIÇÕES IM UFRRJ 20m	MIN	26.8°C
	MÉDIA	48.9°C
	MAX	71.0°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Fotografia 10 e 11: Voo 1 – 40m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,71cm/px)
 04/09/2024 - 11:16:32

04/09/2024 - 12:00:02



MEDIÇÕES EEMH 40m	MIN	5.7°C
	MÉDIA	39.1°C
	MAX	72.5°C



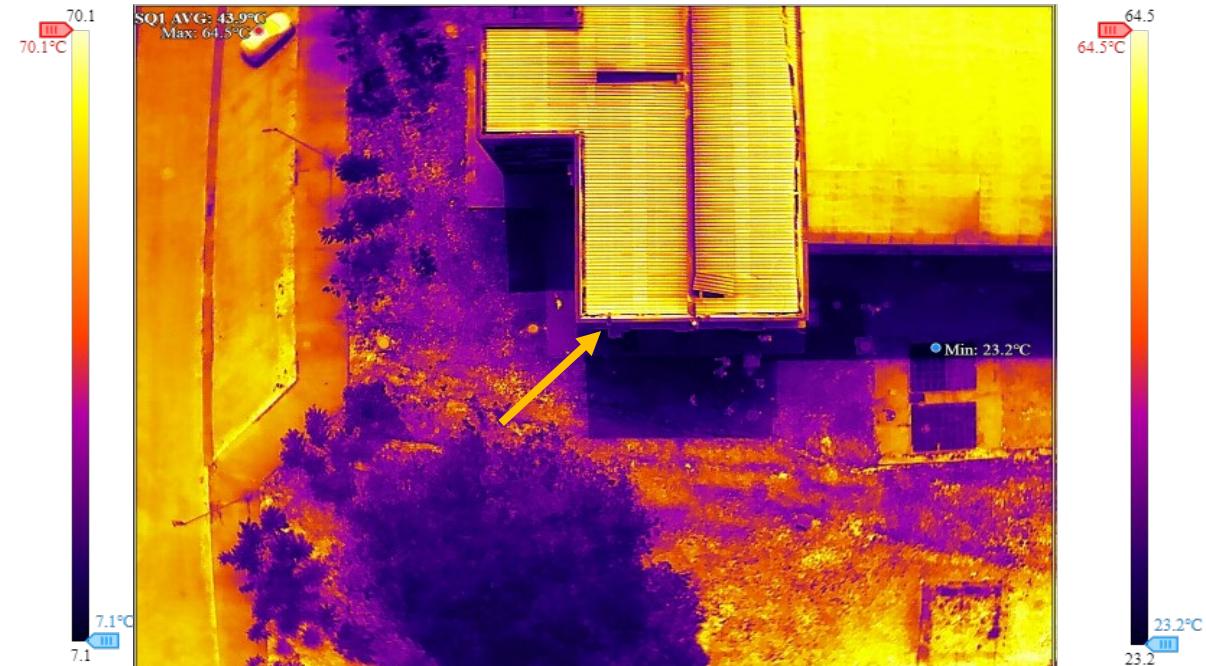
MEDIÇÕES IM UFRRJ 40m	MIN	20.8°C
	MÉDIA	41.6°C
	MAX	62.4°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Fotografias 12 e 13: Voo 1 – 60m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,06cm/px)
 04/09/2024 - 11:16:50 04/09/2024 - 12:00:15



MEDIÇÕES	MIN	7.1°C
EEMH	MÉDIA	38.6°C
60m	MAX	70.1°C



MEDIÇÕES	MIN	23.2°C
IM UFRRJ	MÉDIA	43.9°C
60m	MAX	64.5°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Fotografias 14 e 15: Voo 1 – 80m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,41cm/px)
04/09/2024 - 11:17:14 04/09/2024 - 12:00:27



MEDIÇÕES EEMH 80m	MIN	8.0°C
	MÉDIA	38.0°C
	MAX	68.0°C



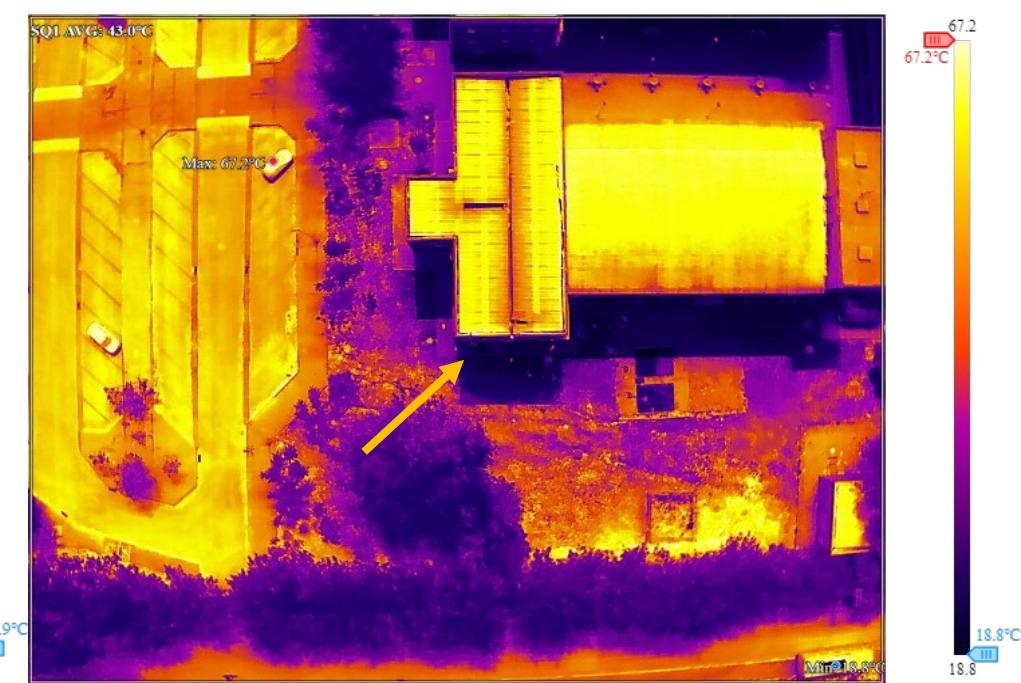
MEDIÇÕES IM UFRRJ 80m	MIN	22.7°C
	MÉDIA	45.0°C
	MAX	67.2°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Fotografias 16 e 17: Voo 1 – 100m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,76cm/px)
04/09/2024 - 11:17:35 04/09/2024 - 12:00:41



MEDIÇÕES	MIN	18.9°C
EEMH	MÉDIA	42.6°C
100m	MAX	66.4°C



MEDIÇÕES IM UFRRJ 100m	MIN	18.8°C
	MÉDIA	43.0°C
	MAX	67.2°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

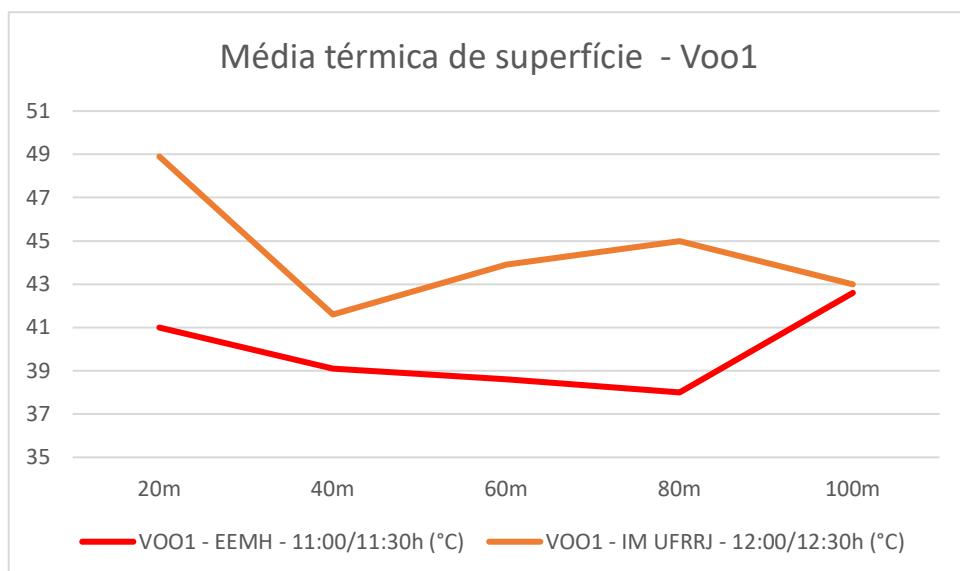
Ao se realizar uma comparação entre as médias térmicas das imagens anteriores e as temperaturas atmosféricas (que seguem abaixo nos gráficos 10 e 11) nos momentos dos Voos 1 é fundamental considerar as altitudes em que as imagens foram capturadas (20, 40, 60, 80 e 100m - os registros das médias térmicas seguem abaixo na tabela 10 e no gráfico 09) e os locais de coleta (Estação Mestre Hiram e IM UFRRJ).

Tabela 10: Médias térmicas de superfície no Voo1

	20m	40m	60m	80m	100m
Voo1 - EEMH - 11:00/11:30h (°C)	41	39,1	38,6	38	42,6
Voo1 - IM UFRRJ - 12:00/12:30h (°C)	48,9	41,6	43,9	45	43

Fonte: Elaborada pelo autor

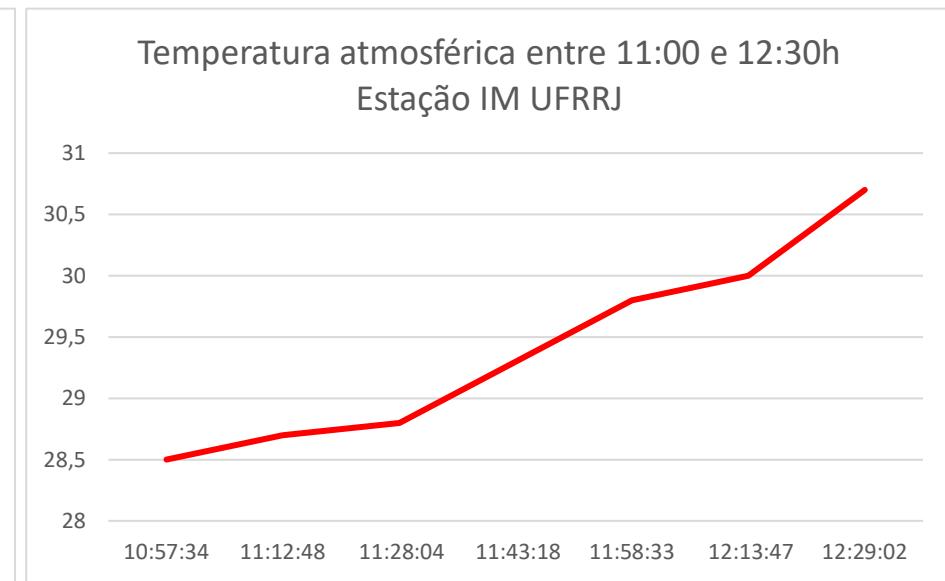
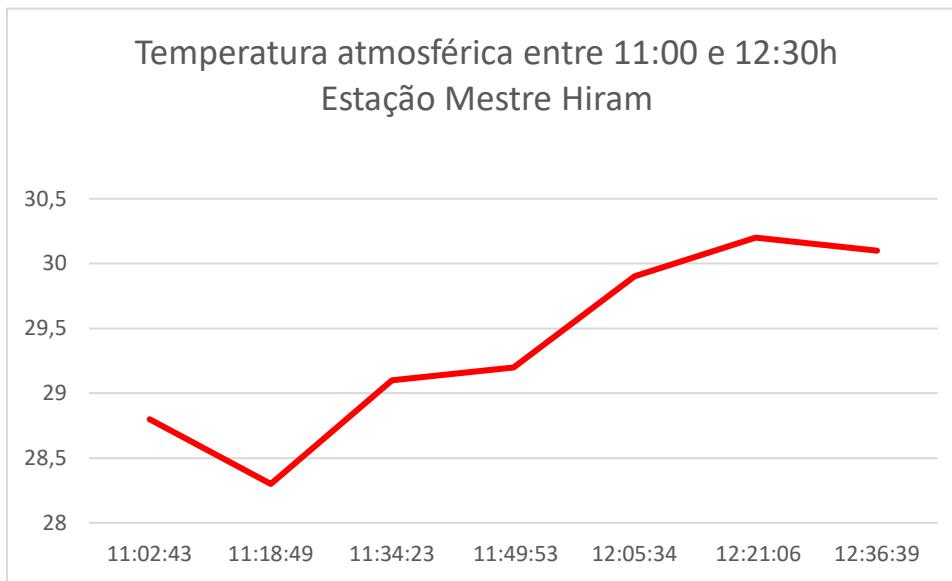
Gráfico 09: Médias térmicas de superfície no Voo1



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

Estação Mestre Hiram: Localizada no centro da cidade, apresenta uma área mais urbanizada e verticalizada, além da proximidade da via Ligth (área de grande circulação de carros e presença de asfalto). Ocorre ao redor da estação a presença de grandes edifícios, que podem impactar a radiação de ondas curtas, mas também existe algumas árvores próximas. No caso da estação IM UFRRJ está situada no campus da UFRRJ em Nova Iguaçu. Apesar de possuir uma área verde próxima, e uma urbanização vertical menor, existe a proximidade com um estacionamento com cobertura de asfalto e a estação está localizada no telhado de um prédio, construído com materiais de alvenaria e telhado de amianto.

Gráficos 10 e 11: Temperatura atmosférica no período do Voo1



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

A análise comparativa das medições térmicas de superfície e atmosféricas, obtidas durante o Voo1 nas estações Mestre Hiram e IM UFRRJ, revela nuances importantes sobre o comportamento do clima urbano em Nova Iguaçu. No período destacado para a realização do Voo1 (entre 11:00 e 12:30h) foi constatado um forte processo de aquecimento da atmosfera, conforme demonstrado nos gráficos 09 e 10. Nesse período ocorre o que Bedaque e Bretones (2020) assim como Barry e Chorley (2013) denominam de meio-dia solar.

As médias térmicas de superfície apresentam uma variação significativa em ambas as estações, com valores que se situam entre 41.0°C e 42.6°C na Mestre Hiram e entre 43.0°C e 48.9°C na IM UFRRJ, dependendo da altitude de coleta (20m a 100m). Um padrão consistente observado é o aumento da temperatura média da superfície à medida que a altitude se eleva, um fenômeno que desafia a expectativa inicial de uma possível diminuição devido à maior área imageada e à eventual presença de vegetação ou sombras.

Ao contrastar esses dados com as temperaturas atmosféricas registradas no mesmo período, emerge uma clara disparidade. Na Estação Mestre Hiram, a temperatura do ar oscila entre 28,8°C e 30,1°C, enquanto na Estação IM UFRRJ essa variação se dá entre 28,5°C e 30,7°C. Essa diferença notável entre as temperaturas de superfície e atmosféricas, em ambas as estações, reforça uma possível manifestação do fenômeno conhecido como ilha de calor, característico de ambientes urbanos onde as superfícies apresentam temperaturas mais elevadas em comparação com o ar circundante.

Ademais, o imageamento sobre a Estação IM UFRRJ se distingue por exibir temperaturas médias de superfície consistentemente mais altas do que a Estação Mestre Hiram. Tal disparidade pode ser atribuída à ampla presença de telhado de amianto, asfalto e um edifício construído com materiais de alvenaria, reconhecidos por sua alta capacidade de retenção de calor. A análise conjunta desses elementos evidencia a complexa interação entre fatores como a altitude, os materiais de construção e a localização das estações na modulação do clima urbano local.

A seguir são apresentadas as imagens termais obtidas no Voo2. A estrutura organizacional da exposição segue os mesmos princípios anteriores e, para fins de análise comparativa, as tabelas e os gráficos gerados a partir dos dados levantados são investigados na sequência.

Fotografias 18 e 19: Voo2 – 20m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,35cm/px)
04/09/2024 14:43:46 04/09/2024 15:28:30



MEDIÇÕES	MIN	5.8°C
EEMH	MÉDIA	34.4°C
20m	MAX	63.0°C

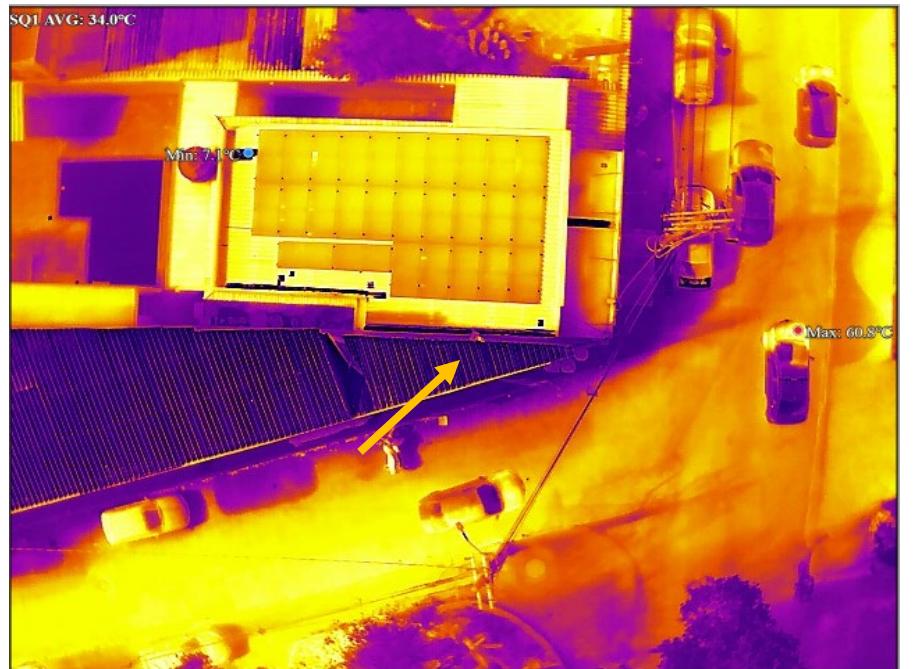


MEDIÇÕES	MIN	17.4°C
IM UFRRJ	MÉDIA	34.0°C
20m	MAX	50.7°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com o ICMBio

Fotografias 20 e 21: Voo2 – 40m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 0,71cm/px)

04/09/2024 14:44:03



MEDIÇÕES EEMH 40m	MIN	7.1°C
	MÉDIA	34.0°C
	MAX	60.8°C

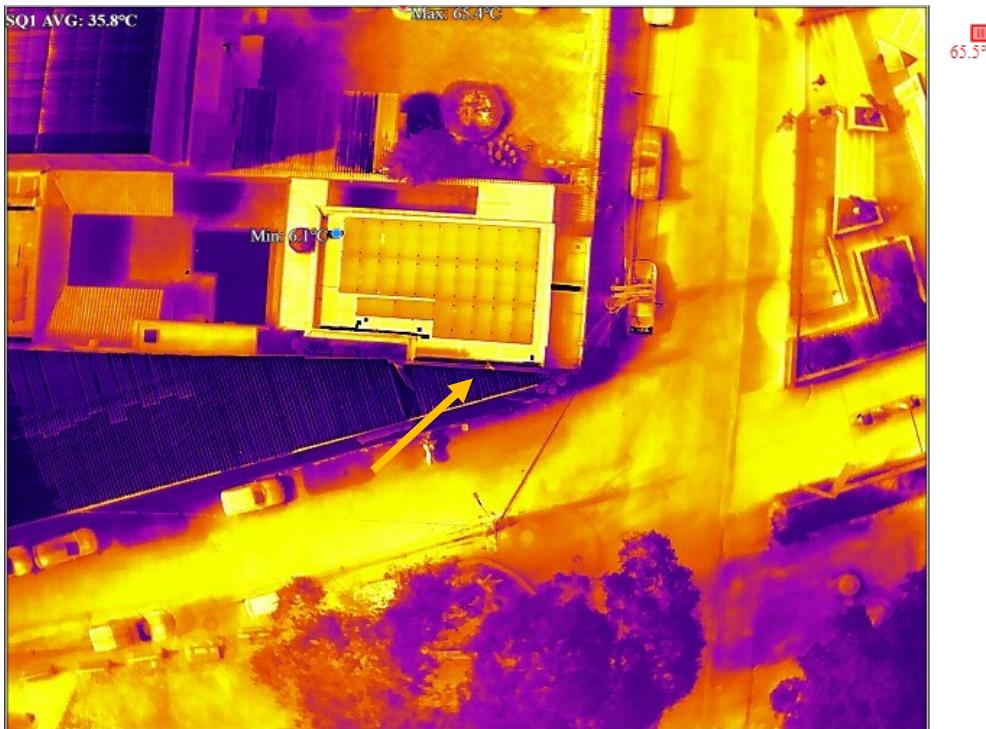
04/09/2024 15:28:46



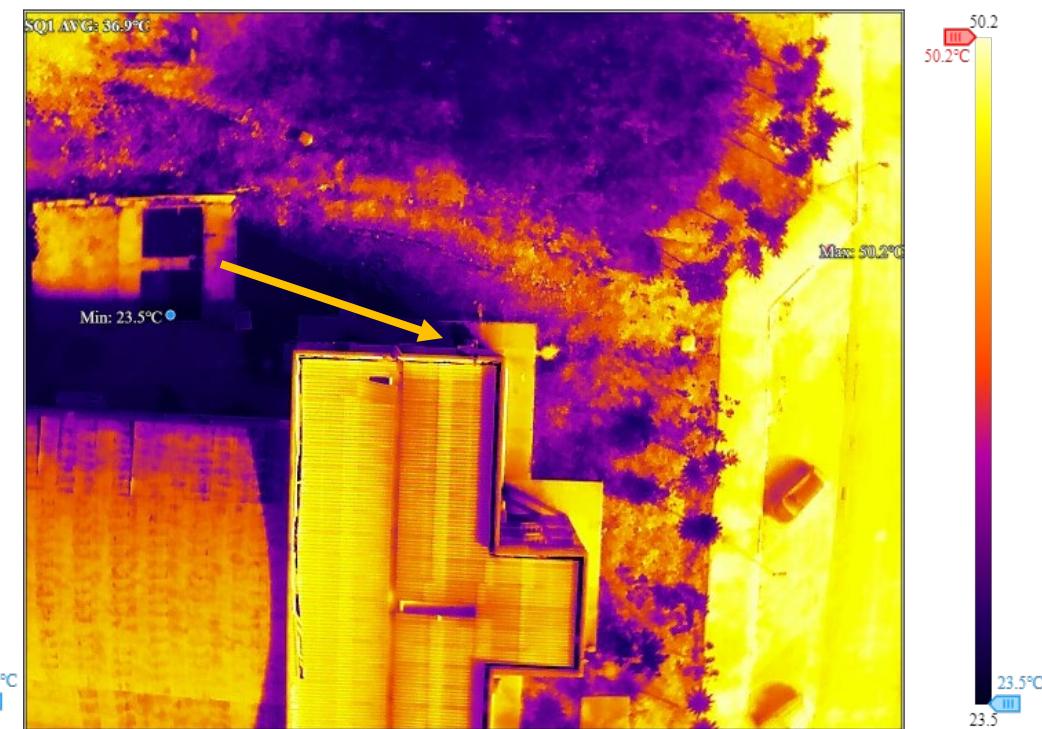
MEDIÇÕES IM UFRRJ 40m	MIN	23.3°C
	MÉDIA	37.3°C
	MAX	51.3°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com o ICMBio

Fotografias 22 e 23: Voo2 – 60m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,06cm/px)
04/09/2024 14:44:23 04/09/2024 15:29:00



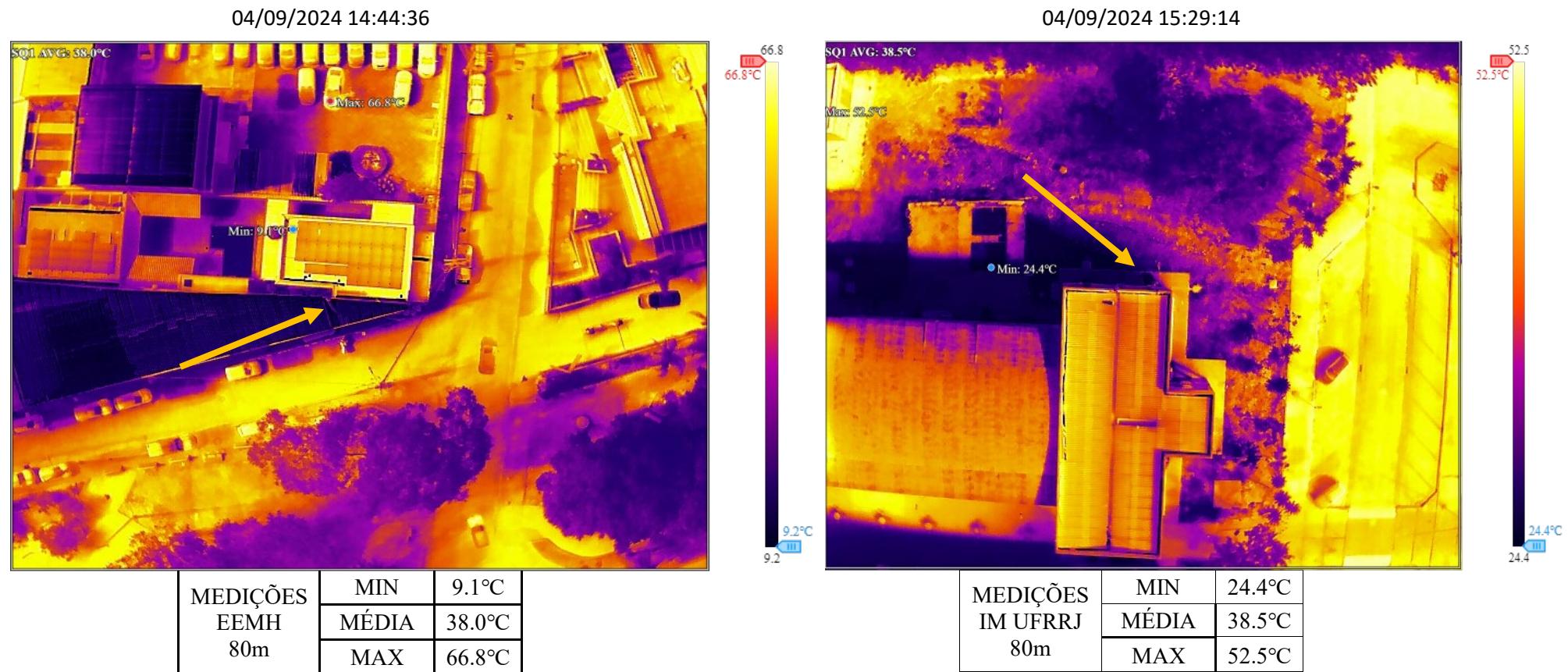
MEDIÇÕES	MIN	6.1°C
EEMH	MÉDIA	35.8°C
60m	MAX	65.4°C



MEDIÇÕES IM UFRRJ 60m	MIN	23.5°C
	MÉDIA	36.9°C
	MAX	50.2°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com o ICMBio

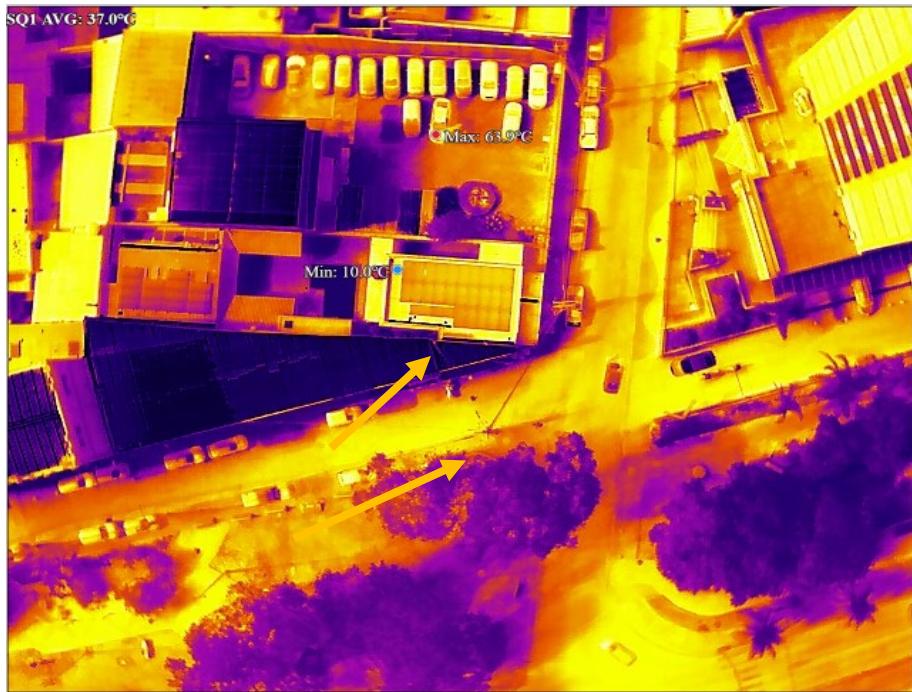
Fotografias 24 e 25: Voo2 – 80m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,41cm/px)



Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com o ICMBio

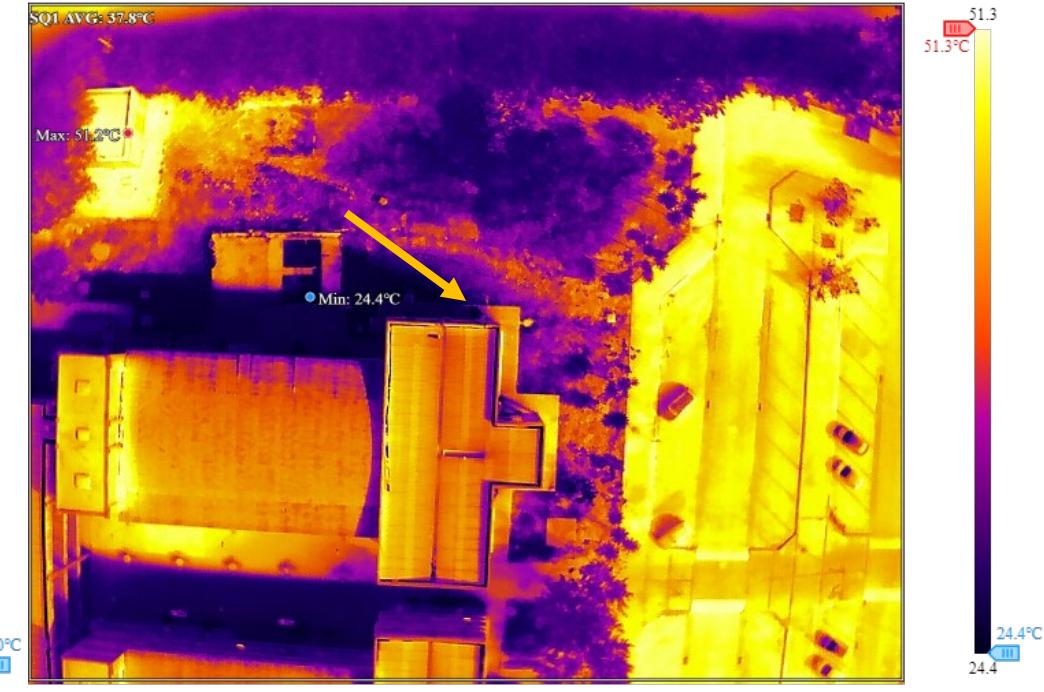
Fotografias 26 e 27: Voo2 – 100m: Imageamento térmico sobre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ (GSD = 1,76cm/px)

04/09/2024 14:44:50



MEDIÇÕES	MIN	10.0°C
EEMH	MÉDIA	37.0°C
100m	MAX	63.9°C

04/09/2024 15:29:26



MEDIÇÕES	MIN	24.4°C
IM UFRRJ	MÉDIA	37.8°C
100m	MAX	51.2°C

Fonte: Elaborado pelo autor em parceira com o ICMBio

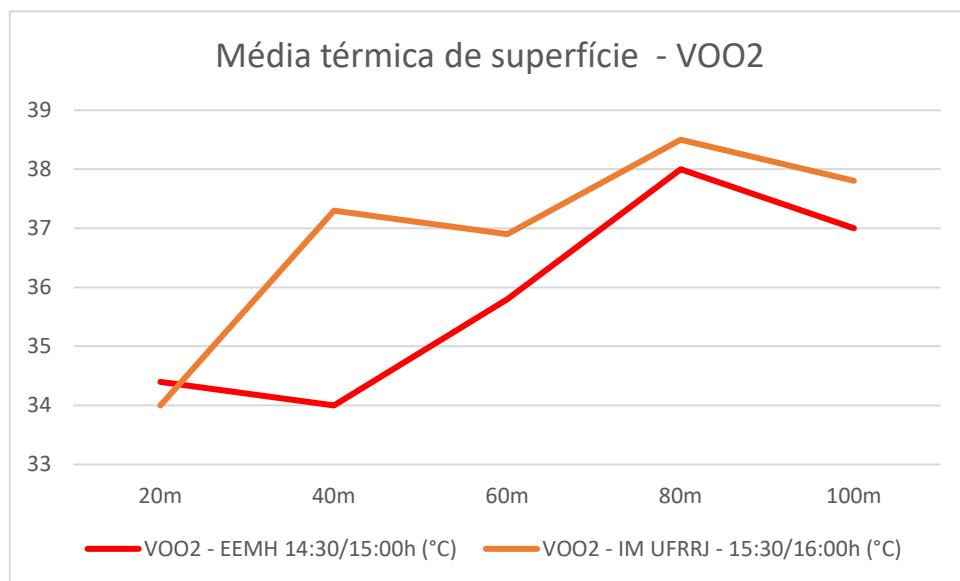
Diante da concretização dos imageamentos realizados foi possível extrair as temperaturas mínimas, médias e máximas das cenas, mas para fins comparativos apenas as médias são destacadas. Seguem a tabela 11 e o gráfico 12 contendo as médias térmicas de superfície adquiridas no Voo2, período correspondente ao meio da tarde.

Tabela 11: Médias térmicas de superfície no Voo2

	20m	40m	60m	80m	100m
Voo2 - EEMH 14:30/15:00h (°C)	34,4	34	35,8	38	37
Voo2 - IM UFRRJ - 15:30/16:00h (°C)	34	37,3	36,9	38,5	37,8

Fonte: Elaborada pelo autor

Gráfico 12: Médias térmicas de superfície no Voo2



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

As médias térmicas de superfície apresentam uma variação significativa em ambas as estações, com valores que se situam entre 34,4°C e 37,0°C na Mestre Hiram e entre 34,0°C e 37,8°C na IM UFRRJ, dependendo da altitude de coleta (20m a 100m) o que demonstra duas situações: Primeiro, no meio da tarde, a superfície próxima a estação IM UFRRJ continua com temperaturas superiores às do Centro da cidade, local da estação Mestre Hiram e segundo, há uma elevação mais intensa das temperaturas quando se produz um imageamento de uma área maior (aproximadamente 3°C de diferença entre a cena obtida a 20 e 100m de altitude em ambos os locais), fato que no primeiro Voo se registrou inclusive uma redução de 48,9°C a 20m para 43°C a 100m na estação IM UFRRJ.

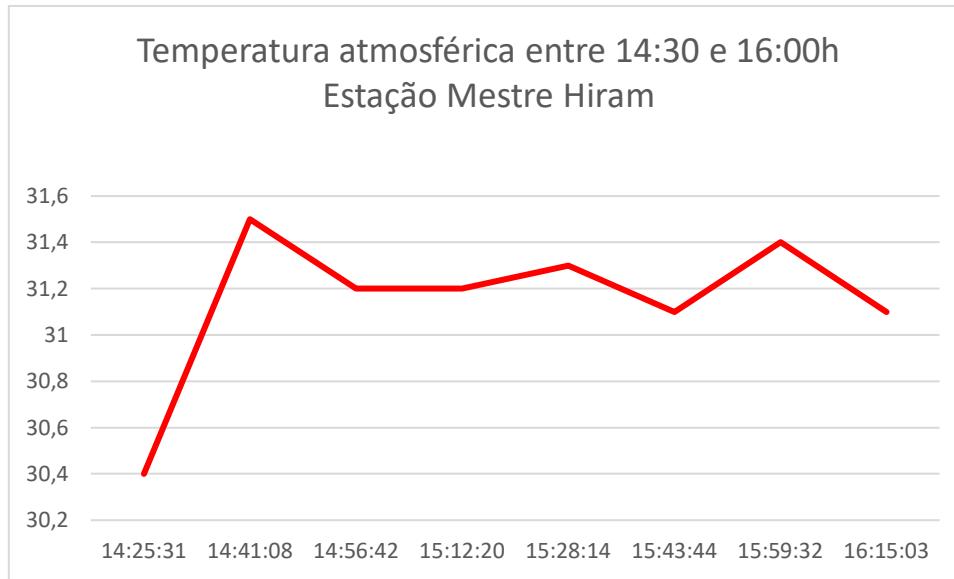
A análise comparativa entre as médias térmicas de superfície e as temperaturas atmosféricas nas estações Mestre Hiram e IM UFRRJ revela um fenômeno interessante: a temperatura da superfície, em média, supera a temperatura do ar em ambas as estações. Essa disparidade pode ser atribuída à Camada Limite do Dossel Urbano (CLD), uma zona de microclima única nas áreas urbanas. A CLD, situada entre o solo e a altura média dos telhados, é onde as trocas de calor entre as estruturas urbanas, como edifícios e ruas, ocorrem de forma intensa (Gamarra, 2012). No caso em tela, a presença de materiais com

alta capacidade de retenção de calor, como o amianto e o asfalto, juntamente com a geometria urbana que dificulta a dispersão do calor, contribui para o aumento da temperatura da superfície em relação à atmosfera.

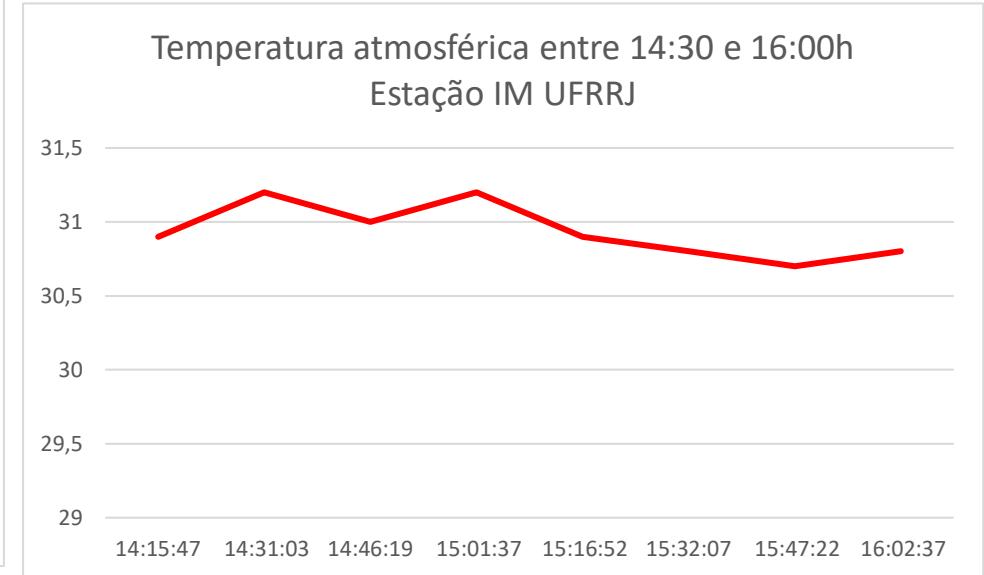
A diferença de temperatura observada entre as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ pode ser reflexo da heterogeneidade da Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) em diferentes áreas da cidade. A estação IM UFRRJ, localizada em um campus com áreas verdes e no telhado de um prédio, apresenta uma CLD com maior capacidade de retenção de calor devido à presença de materiais como amianto e asfalto. A estação Mestre Hiram, situada em uma área mais urbanizada e verticalizada, possui uma CLD com maior taxa de transferência de calor devido à presença de edifícios e à menor área verde (Gamarra, 2012; Rivero, 1986; Varejão-Silva, 2006). Essa heterogeneidade na CLD demonstra a complexidade do microclima urbano e a influência de diversos fatores na distribuição da temperatura em áreas urbanas.

As temperaturas atmosféricas registradas durante o período do Voo2 foram transformadas em gráficos (que seguem abaixo, gráficos 13 e 14) e a conclusão sobre o que se processou é discorrido logo a seguir.

Gráfico 13 e 14: Temperatura atmosférica no período do Voo2



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor



Fonte: Estação do ClimaEnGeo (WS22), organizado pelo autor

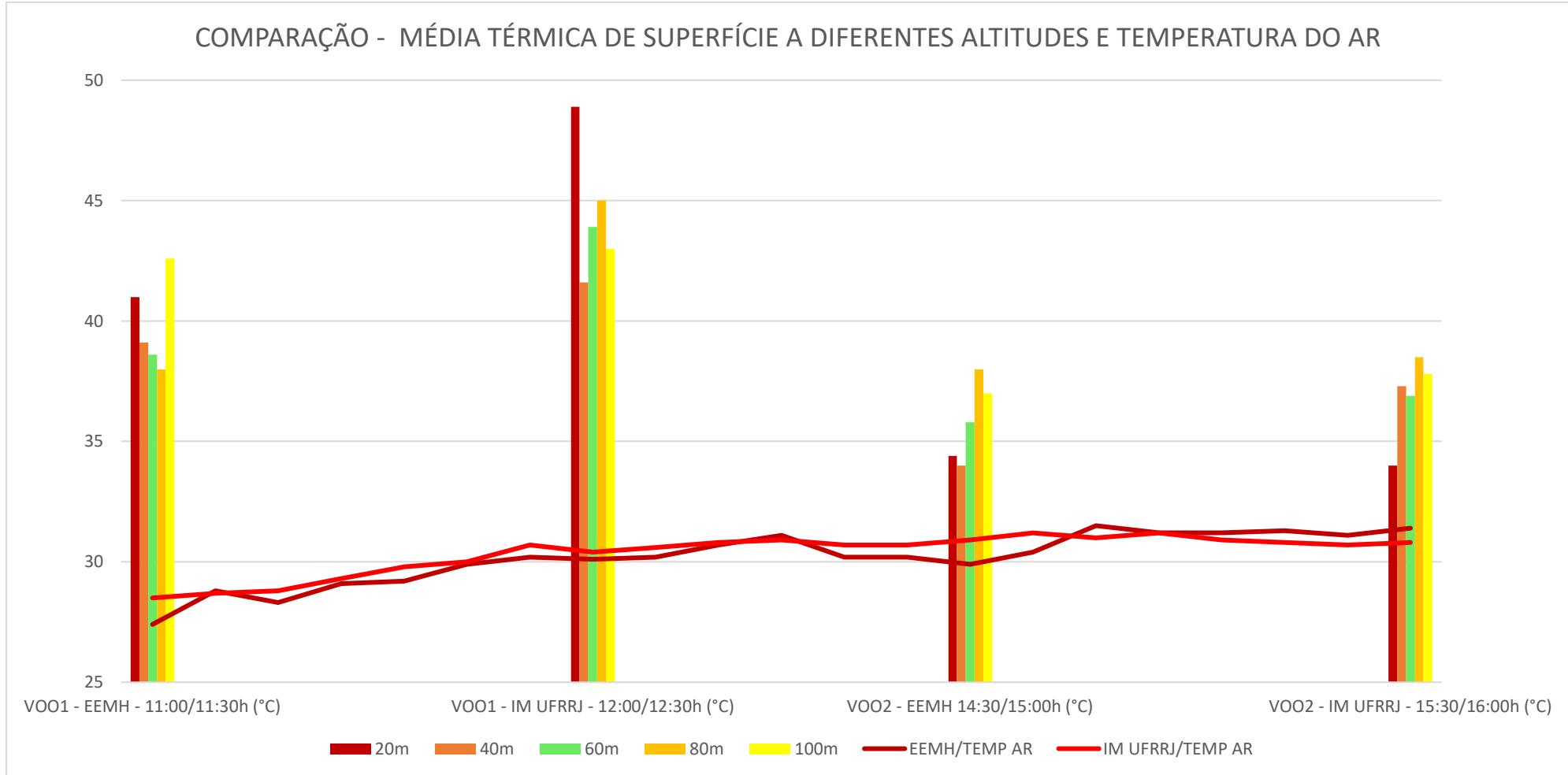
No período destacado para a realização do Voo2 (entre 14:30h e 16:00h) foi constatado um processo de estabilização e leve diminuição das temperaturas atmosféricas, conforme demonstrado nos gráficos 10 e 11. Tal comparação revela uma sutil diferença no comportamento térmico da atmosfera: Na Mestre Hiram, a temperatura do ar se estabiliza e apresenta um leve declínio no final da tarde, mantendo-se a média em torno de 31,2°C. Já na IM UFRRJ, a temperatura do ar apresenta uma leve diminuição durante o período vespertino considerado, apresentando uma média de 30,9°C (a partir das 16:00h a temperatura do ar sobre o IM UFRRJ começa a diminuir e só então as médias térmicas ficam menores que o Centro da cidade).

A análise da variação temporal da temperatura atmosférica em ambas as estações revela um padrão de relativa estabilidade no período do Voo2. Na Mestre Hiram, observa-se um aumento gradual da temperatura no início do período, seguido por uma estabilização e um leve declínio no final da tarde. Na IM UFRRJ, a temperatura se mantém relativamente constante ao longo de todo o período do Voo2.

Apesar das diferenças pontuais, ambas as estações exibem um comportamento térmico atmosférico relativamente similar ao longo do dia, com um padrão de aumento da temperatura pela manhã e estabilização/declinio à tarde. Essa similaridade, apesar das localizações distintas e características urbanas contrastantes, pode ser atribuída à predominância de condições de céu claro e baixa nebulosidade no dia da coleta, o que favoreceu a manutenção do balanço de radiação e minimizou as variações bruscas de temperatura.

A análise em conjunto dos dados das duas estações permite identificar tanto as similaridades quanto as diferenças no comportamento térmico da atmosfera em Nova Iguaçu. As comparações de todo o processo visto até aqui são refletidas no gráfico 15 que se propõe a unir todas as informações até aqui geradas, permitindo estabelecer correlações entre temperatura da superfície e temperatura do ar.

Gráfico 15: Comparação entre a média térmica de superfície a diferentes altitudes e temperatura do ar sob as estações EEMH e IM UFRRJ



Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico permite observar como a temperatura da superfície se compara à temperatura do ar considerando áreas maiores do entorno das estações em destaque (que foram adquiridas sobrevoando diferentes altitudes), auxiliando na identificação de padrões e diferenças entre elas. Com base nisto, observa-se que as temperaturas médias da superfície geralmente excedem as temperaturas atmosféricas nas duas estações (EEMH e IM UFRRJ). No entanto, o comportamento das temperaturas superfície, quando se ampliam horizontalmente as áreas imageadas termicamente, apresentam padrões distintos fruto da influência da radiação solar, dos materiais que compõem a cidade e as condições atmosféricas ao longo do dia.

Na estação EEMH, a temperatura do ar varia em uma crescente entre 28,8°C para 30,1°C no Voo1 e 30,4°C a 31,1°C no Voo2, enquanto na estação IM UFRRJ, a temperatura do ar oscila entre 28,5°C a 30,7°C no Voo1 e se mantém estável entre 30,9°C a 30,8°C no Voo2. Essa estabilidade nas temperaturas atmosféricas, em contraste com a maior flutuação nas temperaturas da superfície, sugere que a atmosfera não sofre grandes variações em curtos períodos de tempo, mas recebe o calor emanado pela superfície circundante.

Considerando que um maior levantamento de dados atmosféricos e das temperaturas de superfície podem contribuir para uma melhor compreensão do balanço energético de superfície proposto por Oke *et al.* (2017), e com isso se chegar a uma melhor formatação de uma ilha de calor de superfície, foi ampliada a área imageada termicamente a partir da construção de ortomosaicos termais a uma altitude de 100m, conforme se analisa a seguir.

4.3 Ortomosaicos termais e a aplicação em Nova Iguaçu

Os ortomosaicos termais foram criados para permitir a verificação das temperaturas de superfície e a extração de valores como a mínima, máxima e média temperatura da área imageada. Este imageamento permite também a análise das dinâmicas térmicas urbanas, identificação de áreas críticas no que se refere a elevadas temperaturas e associá-las, por exemplo, aos riscos que a população enfrenta ao se expor em ambientes urbanos e a compreensão mais ampla do topoclima urbano (FIALHO, 2021).

Cabe destacar, antes da apresentação dos mapas de localização dos imageamentos realizados, uma ressalva apontada por Fialho (2012) a respeito do processo de obtenção das imagens através de sensoriamento remoto e como a metodologia aqui aplicada contorna o problema referente à distância das imagens produzidas por satélites. Fialho (2012) destaca que a temperatura medida por sensores remotos corresponde à da superfície dos telhados e copas de árvores, e não necessariamente à temperatura real de outras superfícies no ambiente urbano. Além disso, o autor aponta que as imagens de satélite são divididas em pixels, e cada pixel representa a soma ponderada das propriedades de radiação eletromagnética emitida por diferentes objetos na área. Isso significa que a leitura de temperatura de um pixel é uma generalização, influenciada pela temperatura e emissividade dos elementos mais representativos dentro desse pixel (Fialho, 2012).

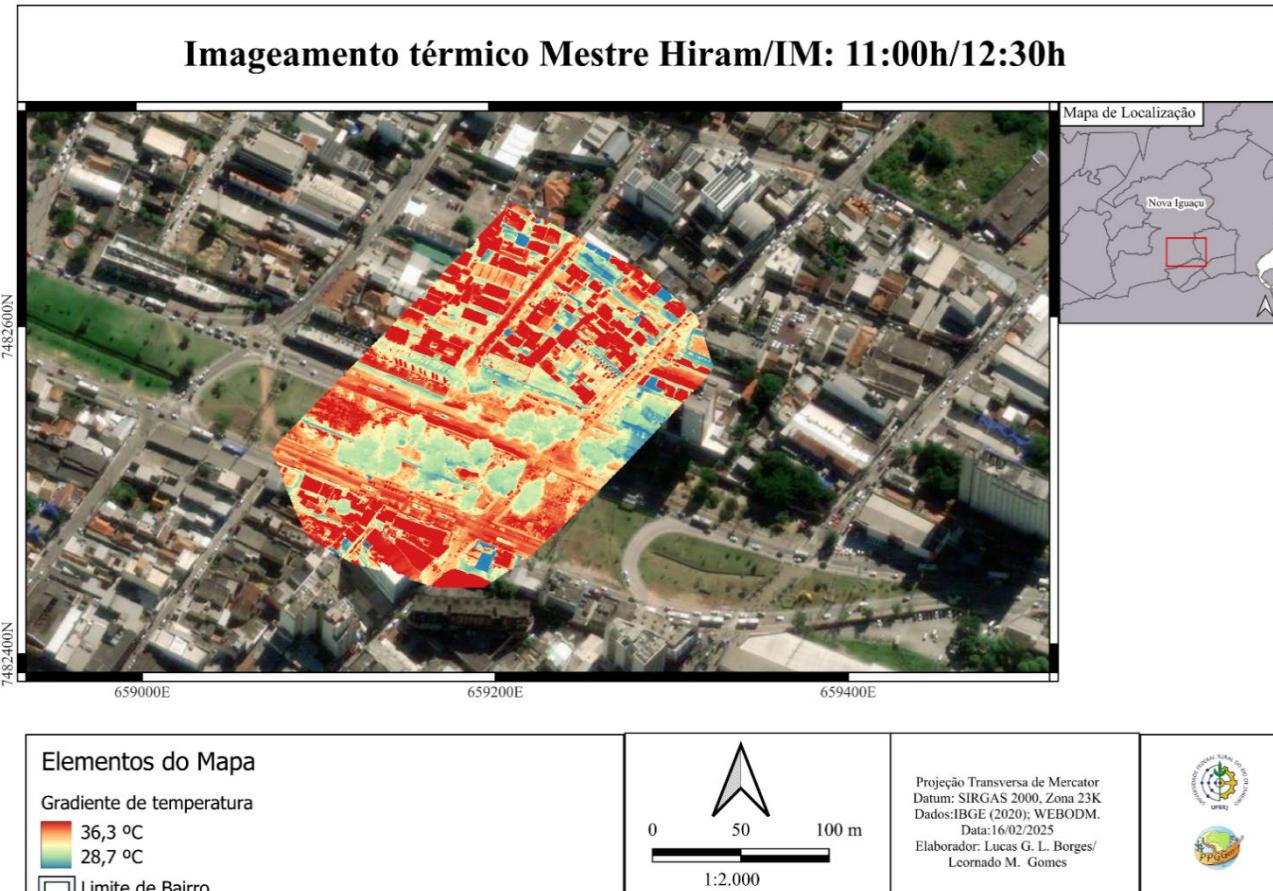
A conclusão do que se apresenta, portanto, versa que para se obter a temperatura real de uma superfície específica a partir de termografia infravermelha, é essencial estimar as emissividades dos objetos imageados. No entanto, essa estimativa é complexa em áreas urbanas heterogêneas, levando a generalizações e interpretações que podem não corresponder à realidade da superfície em estudo.

O estudo proposto por de Kapil *et al.* (2023) procura corrigir os problemas apontados anteriormente incluindo o limite de resolução espacial, também apontado Fialho (2012), sobre as medições de sensoriamento remoto em estudos de ilhas de calor de superfície, propondo uma metodologia que pode mitigar algumas das situações levantadas. Nele, embora não resolva completamente a necessidade de conhecer a emissividade de cada objeto, propõe uma metodologia que minimiza os efeitos da heterogeneidade da superfície e oferece uma estimativa mais precisa da temperatura média da cena. O método utiliza um valor de emissividade média para converter os dados brutos das imagens térmicas em valores de temperatura. Isso significa que ainda há uma generalização envolvida, e a precisão da temperatura medida para um objeto específico dependerá de quão próxima sua emissividade real está do valor médio utilizado, por isso o embasamento aqui realizado versa para as considerações de Oke & Voogt *apud* Callejas *et al.*, 2011, p. 209) ao se estimar uma emissividade entre **0,95** para os materiais que compõem a cidade.

O método de Kapil *et al.* (2023) utiliza imagens RGB simultaneamente adquiridas para criar um modelo de superfície 3D através da técnica de estrutura a partir do movimento (SfM). As imagens térmicas são então utilizadas para texturizar este modelo. Isso permite um alinhamento geométrico mais preciso em comparação com o uso exclusivo de imagens térmicas, que podem ter baixa resolução e falta de características distintas. Em resumo, Kapil *et al.* (2023) responde às observações de Fialho (2012) através do uso combinado de imagens RGB e térmicas, técnicas de co-registro, preservação da radiometria e uma ferramenta de código aberto, permitindo a geração de ortomosaicos térmicos de alta qualidade alinhados geometricamente com imagens RGB. Isso possibilita uma análise mais precisa e confiável das temperaturas da superfície em áreas urbanas heterogêneas.

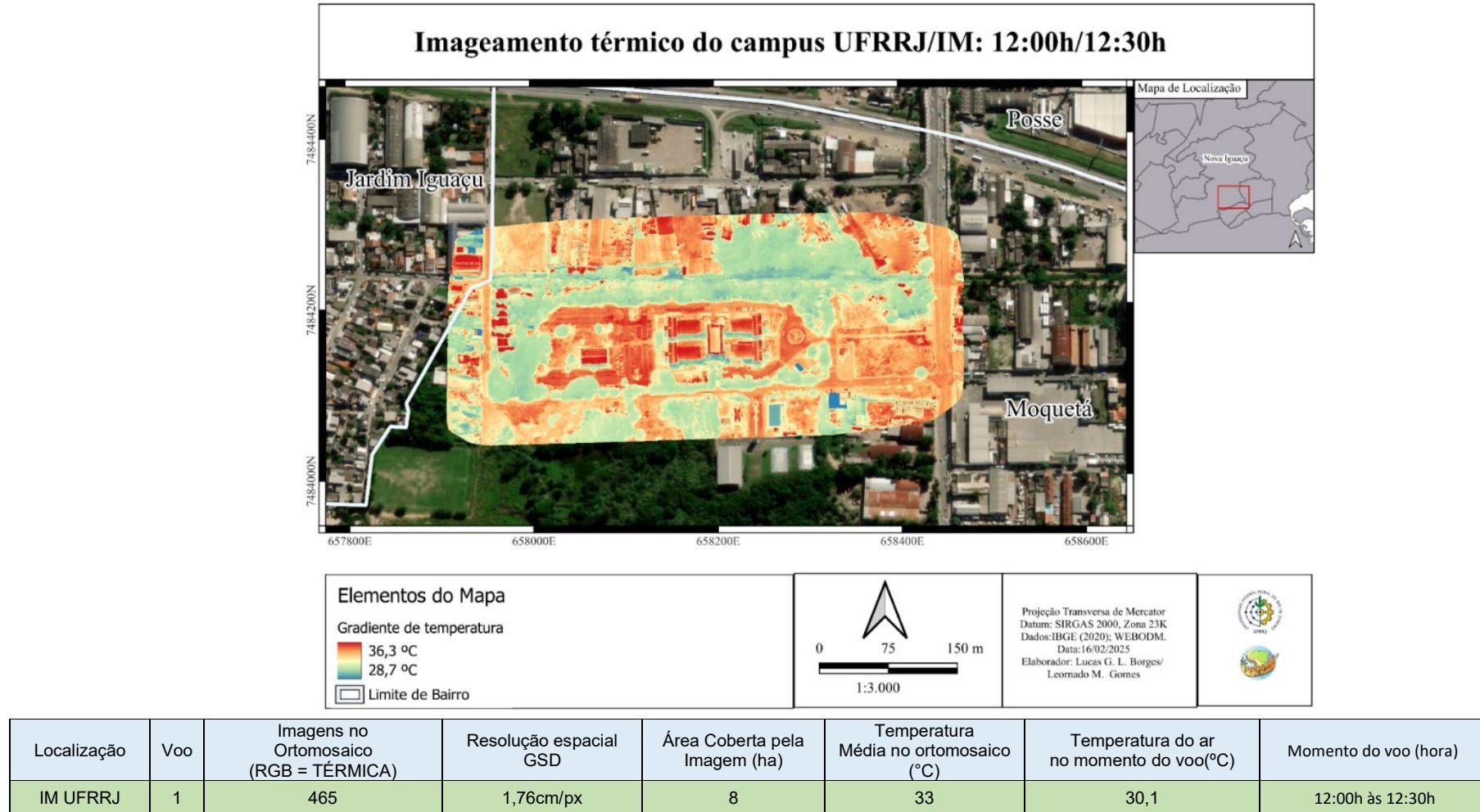
Os ortomosaicos a seguir estão dispostos obedecendo a sequência de captura durante o trabalho de campo. Portanto, inicialmente são apresentados os ortomosaicos produzido sobre a estação Mestre Hiram e IM UFRJ (mapas 11 e 12) no período determinado ao Voo1, seguido da análise correspondente aos dados adquiridos. Ao avançar temos o Voo2, mantendo a mesma estrutura organizacional para facilitar as comparações pertinentes da pesquisa. Cabe ressaltar que as temperaturas atmosféricas correspondem as médias do período de cada voo.

Mapa 11: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica Mestre Hiram – Voo1



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Mapa 12: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica IM UFRRJ – Voo1



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

A resolução espacial do ortomosaico construído é de 1,76 cm/px. Isso significa que cada pixel da imagem representa uma área de 1,76 x 1,76cm na superfície terrestre. Essa alta resolução espacial permite identificar pequenos detalhes na distribuição da temperatura da superfície e faz com que as informações comparativas ganhem mais segurança em termos acadêmicos se comparadas as resoluções de satélites que chegam à ordem de metros por pixel.

O mapa apresenta dados numéricos relevantes sobre o imageamento térmico realizado durante o Voo1. A análise comparativa desses dados com as informações anteriores revela alguns pontos importantes no que diz respeito a temperatura média da superfície. No ortomosaico no Voo1 sobre a estação Mestre Hiram a média foi de 32,5 °C. Esse valor é inferior às médias térmicas de superfície obtidas nas imagens individuais em diferentes altitudes (20m a 100m), que variaram de 41,0°C a 42,6°C, ou seja, conforme se ampliou a área horizontal imageada a média térmica de superfície reduziu. Esta mesma situação também ocorreu sobre a estação IM UFRRJ onde os dados das imagens termais individuais foram todos superiores à média térmica do ortomosaico - observa-se que a temperatura média foi de 33°C e às médias das imagens em altitudes foram de 20m (48,9°C), 60m (43,9°C), 80m (45,0°C) e 100m (43,0°C). Essa diferença pode ser atribuída à maior área abrangida pelo ortomosaico, que inclui diferentes tipos de superfície com temperaturas distintas, mas que não pode servir como regra para todas as áreas.

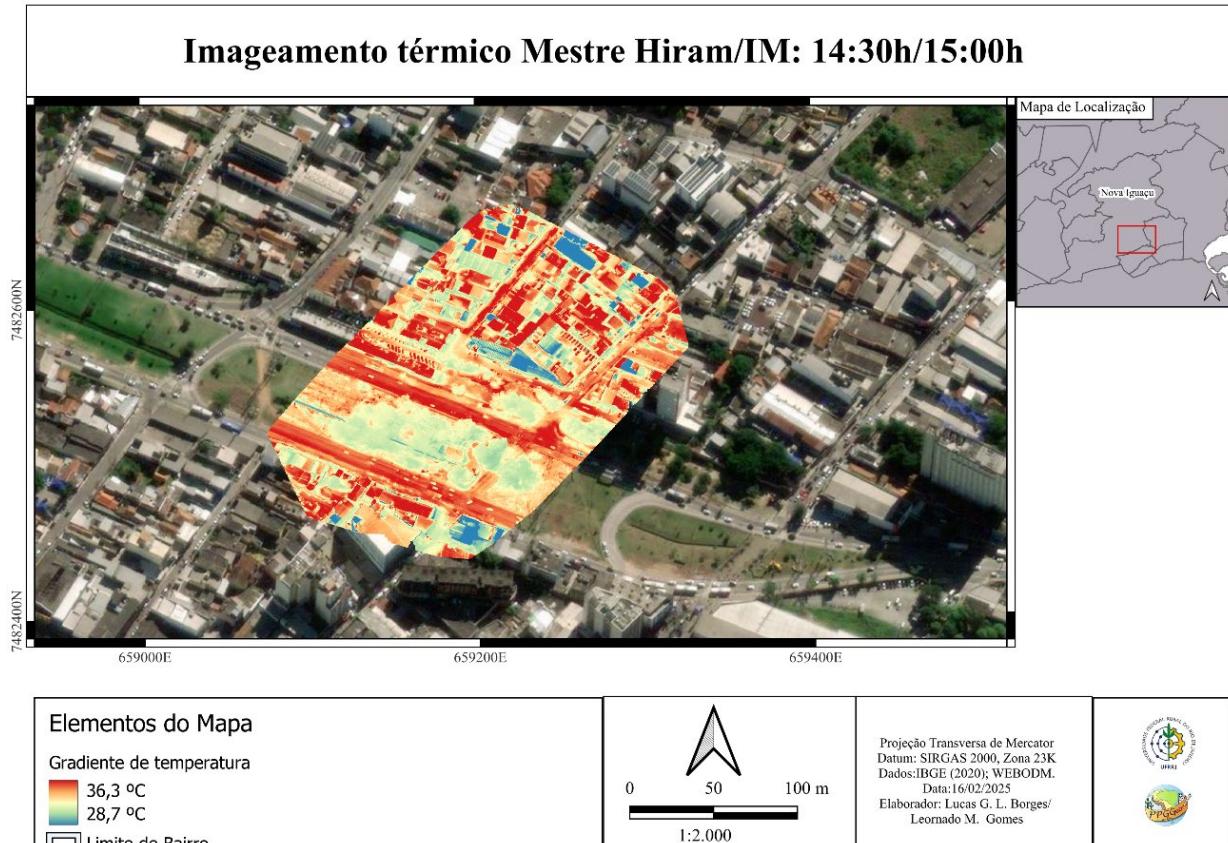
A respeito de temperatura do ar no momento do Voo1 sobre o Mestre Hiram foi de 28,7 °C. Esse valor é inferior à temperatura média da superfície no ortomosaico (32,5 °C), o que indica a presença de um gradiente térmico entre a superfície e o ar.

A comparação entre os dois mapas gerados no Voo1 revela nuances importantes sobre o comportamento térmico sobre as duas estações meteorológicas e suas áreas circundantes. Na Estação Mestre Hiram, a temperatura média de superfície foi de 32,5 °C, enquanto sobre a estação IM UFRRJ, situada em um campus universitário com áreas verdes, registrou uma temperatura média de superfície de 33 °C. Apesar da proximidade dos valores, a diferença de 0,5°C pode ser significativa, especialmente considerando a heterogeneidade das áreas imageadas.

A temperatura do ar no momento do Voo1 também apresentou uma leve variação entre as estações. Na Mestre Hiram, a temperatura do ar foi de 28,7 °C, enquanto na IM UFRRJ foi de 30,1 °C. Essa diferença de 1,4°C na temperatura atmosférica e 0,5°C entre os ortomosaicos desperta interesse na continuidade das investigações, uma vez que as estações se encontram em condições de praticamente semelhança em relação aos seus pontos de localização e que a estação IM UFRRJ está fora da área central da cidade.

Além das situações apontadas acima, para fins de comparação, o primeiro imageamento referente as áreas cobertas pelas imagens do Voo1 foram bastante distintas propositalmente para que se pudesse verificar e contrastar uma área cuja presença de vegetação superasse significativamente a área central (mais urbanizada e verticalizada). Logo, sobre a Mestre Hiram a área destacada correspondeu a 1 hectare imageado e sobre a IM UFRRJ 8 hectares de um ambiente mais florestado. Apesar das distinções, ainda assim o comparativo das temperaturas de superfície e atmosférica são mais elevadas sobre o IM UFRRJ. O período do Voo2 que segue abaixo com os mapas 13 e 14 corresponde aos dados coletados entre 14:30 e 16:00h do dia 04/09/2024.

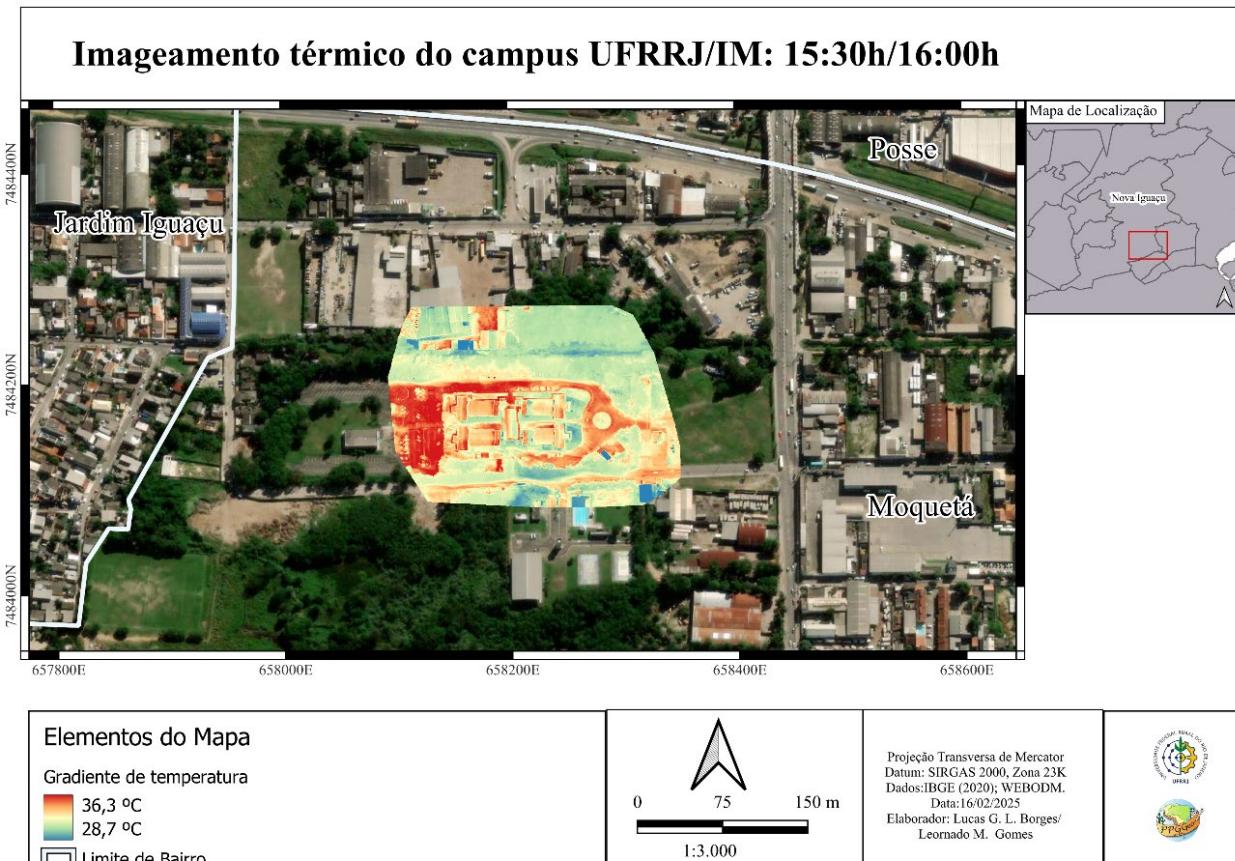
Mapa 13: Imageamento térmico sobre a estação meteorológica Mestre Hiram – Voo2



Localização	Voo	Imagens no Ortomosaico (RGB = TÉRMICA)	Resolução espacial GSD	Área Coberta pela Imagen (ha)	Temperatura Média no ortomosaico (°C)	Temperatura do ar no momento do voo(°C)	Momento do voo (hora)
Mestre Hiram	2	97	1,76cm/px	1,00	32,2	31	14:30h às 15:00h

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

Mapa 14: Imageamento térmico sobre a Estação meteorológica IM UFRRJ – Voo2



Localização	Voo	Imagens no Ortomosaico (RGB = TÉRMICA)	Resolução espacial GSD	Área Coberta pela Imagen (ha)	Temperatura Média no ortomosaico (°C)	Temperatura do ar no momento do voo(°C)	Momento do voo (hora)
IM UFRRJ	2	136	1,76cm/px	1,50	31,4	30,7	15:30h às 16:00h

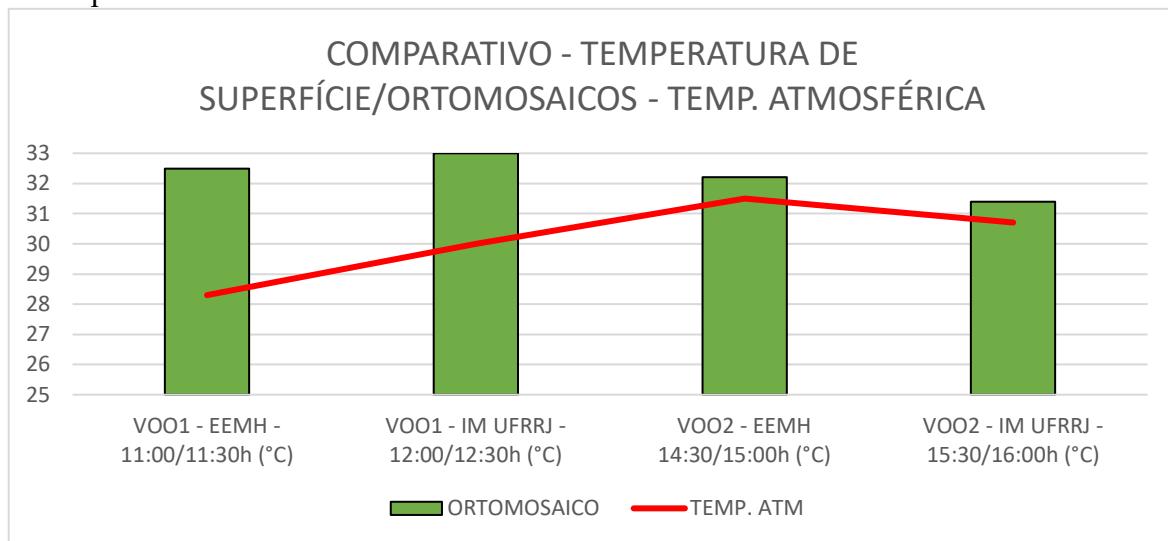
Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

A comparação inicial a ser feita nesta última parte do capítulo versa sobre as temperaturas de superfície nos quatro ortomosaicos. No Voo 1, a temperatura média da superfície foi maior na IM UFRRJ (33°C) do que na Mestre Hiram ($32,5^{\circ}\text{C}$), considerando as ressalvas feitas anteriormente. No Voo 2, essa relação se inverteu, com a Mestre Hiram apresentando temperatura média de $32,2^{\circ}\text{C}$ e a IM UFRRJ $31,4^{\circ}\text{C}$. Essa situação é significativa em termos de análise comparativa pois, nesse segundo momento as áreas não são tão discrepantes quanto o que foi revelado nos dados do Voo1.

A temperatura do ar no momento dos Voos também apresentou variações entre as estações. Na Mestre Hiram – Voo2, a temperatura do ar foi de 31°C , enquanto na IM UFRRJ foi de $30,7^{\circ}\text{C}$. Com isso temos que a temperatura do ar também foi maior sobre a estação Mestre Hiram, mas a diferença foi menor no Voo2 ($0,3^{\circ}\text{C}$) do que no Voo1 ($1,4^{\circ}\text{C}$). A área coberta foi maior na IM UFRRJ em ambos os voos, mas a diferença foi menor no Voo2 (0,5 hectares) do que no Voo1 (8 hectares). Essa diferença de $0,3^{\circ}\text{C}$ na temperatura atmosférica e a inversão das médias térmicas nos ortomosaicos (com a IM UFRRJ apresentando temperatura média inferior à Mestre Hiram) podem ser atribuídas à estabilização e leve diminuição das temperaturas atmosféricas no período da tarde, conforme observado nos gráficos anteriores (10 e 11).

Este dois Voos que foram realizados do meio para o final da tarde para se construir ortomosaicos que serviram para determinar alguma possível variação na temperatura de superfície entre as duas cenas destacadas e compará-las aos dados do Voo1. Não se buscou com isso a confirmação de um padrão atmosférico, mas sim se estas ferramentas e metodologia em conjunto estão aptas a estas aferições. Segue abaixo o gráfico 16 resultante dos valores dos ortomosaicos e média da temperatura atmosférica nos momentos de cada voo.

Gráfico 16: Comparação entre temperatura média de superfície nos ortomosaicos e temperatura atmosférica



Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa entre os dados representados no gráfico intitulado "Comparação entre temperatura média de superfície nos ortomosaicos e temperatura atmosférica" e no Gráfico denominado "Comparação entre a média térmica de superfície a diferentes altitudes e temperatura do ar sob as estações EEMH e IM UFRRJ" revela nuances significativas acerca da avaliação da temperatura de superfície e sua relação com a temperatura atmosférica em Nova Iguaçu. Ambos os gráficos buscam estabelecer

correlações, porém o fazem a partir de perspectivas metodológicas distintas, o que implica em variações nos valores e intervalos observados, bem como nas inferências que podem surgir a partir daí.

No que concerne ao Gráfico que compara as médias térmicas de superfície nos ortomosaicos com a temperatura atmosférica, depreende-se que os valores de temperatura de superfície representam médias espaciais sobre áreas relativamente extensas (1 hectare para Mestre Hiram e 8 hectares para IM UFRRJ no Voo 1, e 1 hectare e 1,5 hectares respectivamente no Voo 2), obtidas a uma altitude constante de 100m. Essa metodologia, embasada na construção de ortomosaicos termais (Kapil *et al.*, 2023), visa mitigar o problema da heterogeneidade da superfície ao fornecer uma temperatura média integrada Oke & Voogt *apud* Callejas *et al.*, 2011, p. 209). Os valores de temperatura atmosférica associados a cada ortomosaico correspondem às médias do período de cada voo, representando uma condição atmosférica mais generalizada sobre a área de estudo.

Em contraste, o Gráfico que compara a média térmica de superfície a diferentes altitudes com a temperatura do ar sob as estações Mestre Hiram e IM UFRRJ apresenta dados de imagens termais individuais capturadas em altitudes que variam de 20m a 100m. Cada ponto nesse gráfico representa a média térmica de uma área menor e mais específica, diretamente sobre as estações meteorológicas, em diferentes momentos durante os voos. Essa abordagem permite avaliar como a altitude de imageamento influencia a leitura da temperatura de superfície, potencialmente incorporando diferentes elementos urbanos e naturais com emissividades generalizadas dentro do campo de visão do sensor.

Uma distinção crucial reside na resolução espacial e na área de abrangência dos dados. As médias térmicas de superfície derivadas dos ortomosaicos tendem a suavizar as variações extremas de temperatura, apresentando intervalos de valores menores em comparação com as médias obtidas nas imagens individuais em diferentes altitudes. Por exemplo, no Voo 1 sobre a estação Mestre Hiram, as médias térmicas de superfície nas imagens individuais variaram de 41°C a 42,6°C, enquanto a média do ortomosaico foi de 32,5°C. Essa redução na média e no intervalo de valores reflete a inclusão de áreas com temperaturas mais amenas dentro da extensão espacial do ortomosaico. Um padrão similar é observado para a área correspondente a estação IM UFRRJ.

A utilização de ortomosaicos oferece uma perspectiva mais abrangente da distribuição da temperatura de superfície em escala local, sendo mais representativa para análises de ilhas de calor de superfície que consideram a cidade como um sistema complexo. Contudo, a perda de detalhe nas temperaturas extremas pode obscurecer pontos críticos de calor intenso ou de resfriamento que seriam identificáveis nas imagens de menor altitude. As imagens em altitudes mais baixas, embora com menor cobertura espacial, proporcionam uma maior sensibilidade às variações térmicas em áreas mais restritas, permitindo uma análise mais detalhada da influência de materiais específicos e da geometria urbana.

No que se refere à relação entre temperatura de superfície e atmosférica, ambos os gráficos (12 e 13) corroboram a observação de que, em geral, a temperatura da superfície excede a temperatura do ar, no entanto, a magnitude dessa diferença varia significativamente entre as abordagens. As imagens de menor altitude frequentemente exibem maiores disparidades entre a temperatura de superfície (imediatamente sobre os materiais do entorno das estações) e a temperatura atmosférica medida nas estações. Já nos ortomosaicos, essa diferença tende a ser menor devido à média espacial da temperatura de superfície.

É importante notar que a metodologia de construção dos ortomosaicos, conforme explicitado nesta seção na obra de Kapil *et al.* (2023), busca refinar a precisão das temperaturas de superfície através do Co-registro de Imagens RGB-Térmicas. Isso

teoricamente confere maior confiabilidade aos valores médios obtidos nos ortomosaicos para a avaliação da temperatura de superfície em uma área, minimizando os efeitos da heterogeneidade e da resolução espacial limitada das imagens de sensoriamento remoto tradicionais.

Pode-se concluir, portanto que a comparação crítica entre os dois gráficos (12 e 13) demonstra que a escolha da metodologia de imageamento (altitudes variáveis versus ortomosaicos) influencia diretamente os valores e intervalos de temperatura de superfície obtidos, bem como a magnitude da diferença observada entre a superfície e a atmosfera. Enquanto as imagens em diferentes altitudes oferecem uma visão mais pontual e detalhada das variações térmicas próximas às estações, os ortomosaicos proporcionam uma perspectiva espacialmente mais integrada da temperatura de superfície em áreas mais amplas, tornando-as com isso, ferramentas complementares para a investigação do fenômeno das ilhas de calor de superfície em ambientes urbanos como Nova Iguaçu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises desenvolvidas ao longo desta dissertação não apenas convergiram para a concretização dos objetivos inicialmente propostos, mas também expandiram a compreensão da intrincada relação entre a dinâmica urbana e o clima na cidade de Nova Iguaçu. Este estudo demonstrou de forma robusta a pertinência da utilização de *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) equipados com câmeras térmicas como uma ferramenta inovadora e eficaz para o estudo das ilhas de calor de superfície, abrindo novas perspectivas para a pesquisa em climatologia urbana dentro da geografia física.

O aprofundamento do Estado da Arte revelou a sólida base teórica que interconecta a climatologia urbana, a física térmica, a meteorologia e a geografia, fornecendo um arcabouço essencial para a investigação do clima urbano. Adicionalmente, a pesquisa evidenciou a crescente, embora ainda em estágio inicial na geografia, aplicação da termografia aérea com RPAS como uma tecnologia de sensoriamento remoto de alta resolução para a investigação detalhada de fenômenos climáticos urbanos. A seleção criteriosa de um vasto conjunto de referências e materiais bibliográficos provenientes de diversas áreas do conhecimento permitiu a construção de uma base conceitual abrangente e multifacetada, fundamental para a interpretação dos dados empíricos e para o diálogo entre áreas do conhecimento que sustentou toda a pesquisa.

A metodologia adotada, minuciosamente detalhada no Capítulo II, fundamentou-se em uma abordagem quantitativa e empírica, empregando o imageamento térmico de superfície obtido através de RPAS e estabelecendo uma comparação sistemática com os dados de temperatura atmosférica coletados por estações meteorológicas automáticas de alta precisão. A escolha estratégica do RPAS como principal ferramenta de coleta de dados justificou-se pela sua capacidade singular de capturar imagens com elevado detalhamento espacial sob demanda, oferecendo uma resolução superior à das imagens de satélite e permitindo uma análise pormenorizada da distribuição da temperatura da superfície, superando as limitações inerentes à resolução e à heterogeneidade das áreas urbanas complexas. A elaboração subsequente de ortomosaicos térmicos de alta resolução, seguindo a metodologia adaptada de Kapil *et al.* (2023), representou um avanço metodológico significativo, visando mitigar as limitações do sensoriamento remoto tradicional e proporcionando uma representação espacialmente precisa da temperatura da superfície.

A análise sobre o espaço urbano iguaçuano desempenhou um papel crucial na contextualização da pesquisa, apresentando um panorama abrangente da dinâmica urbana e a caracterização climática específica da cidade. A intensa e acelerada transformação urbana, caracterizada por um processo marcante de verticalização e adensamento populacional, somada ao histórico de alterações significativas no uso e cobertura do solo ao longo das décadas, configura um cenário particularmente propenso à formação e intensificação de ilhas de calor urbanas. A caracterização detalhada do clima de Nova Iguaçu como Aw (Tropical com Chuvas de Verão), baseada em múltiplas fontes como Weather Spark (2025), Climate-Data.org (2025) e os trabalhos de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997), forneceu o contexto climático essencial para a análise aprofundada das dinâmicas térmicas observadas no ambiente urbano.

O planejamento da pesquisa, elaborado para discorrer pela análise comparativa geoespacial detalhada da temperatura de superfície e atmosférica, foi formalizado e concretizado após trabalho de campo. A coleta sistemática de dados térmicos em múltiplas altitudes (20m, 40m, 60m, 80m e 100m) sobre as estações meteorológicas estrategicamente localizadas na EEMH (Centro) e no IM UFRRJ (Moquetá) possibilitou a observação de variações significativas na temperatura de superfície em função da

altitude e das características dos materiais predominantes no entorno imediato de cada estação. A subsequente elaboração dos ortomosaicos térmicos de alta resolução sobre as mesmas áreas de estudo permitiu analisar a temperatura média da superfície em extensões territoriais consideráveis (1 hectare para Mestre Hiram e 8/1.5 hectares para IM UFRRJ), revelando não apenas um aspecto referente aos dados que podem ser interpretados, mas a possibilidade de aumento da área imageada horizontalmente (o que demonstra um achado importante para o planejamento de estudos futuros em áreas maiores, visto que trata-se de uma prática até então sem a presença na literatura da ciência geográfica nacional).

Com isso, cabe também ressaltar que a ampliação da resolução dos dados coletados (imageamento térmico com a construção de ortomosaicos) sobre a superfície da cidade tende a expor ainda mais os problemas resultantes do aquecimento urbano, ampliando o debate acadêmico das ciências naturais. Importante considerar tal fato, uma vez que essa ampliação enriquece a ciência geográfica, colocando-a como protagonista no cerne das discussões ambientais já que a utilização de tecnologias, com a aqui empregada, favorece a coleta de dados geoespaciais e com isso a ampliação de temas geográficos a serem abordados. Dessa forma, a tecnologia estaria a favor dos estudos geográficos com uma ferramenta capaz de expor situações que podem impactar a sociedade negativamente (ampliando os esforços dos geógrafos físicos na contemporaneidade).

A comparação minuciosa entre as médias térmicas de superfície (obtidas tanto nas imagens individuais em diferentes altitudes quanto nos ortomosaicos) e as temperaturas atmosféricas registradas concomitantemente nas estações meteorológicas durante os períodos de voo demonstrou consistentemente que a temperatura da superfície, em média, excede a temperatura do ar em ambas as estações e em diferentes momentos do dia. Essa disparidade térmica sublinha a importância crucial da análise da Camada Limite do Dossel Urbano (CLD) para uma compreensão holística do clima urbano e seus impactos.

É importante ressaltar que, embora a generalização das emissividades dos materiais urbanos continue a representar um desafio metodológico inerente à termografia infravermelha, a notável resolução espacial alcançada com o emprego do RPAS (frequentemente abaixo de 2 cm/pixel nos voos de menor altitude) possibilitou a identificação de variações térmicas significativas e espacialmente localizadas nas diversas superfícies urbanas. A adoção de um valor de emissividade média de 0,95 para a geração dos ortomosaicos, fundamentada nos estudos de Oke & Voogt (2003), representou uma generalização necessária para a análise da temperatura média da cena em áreas extensas e heterogêneas, conforme recomendado por Kapil *et al.* (2023) para mitigar as limitações do sensoriamento remoto tradicional.

Em relação aos objetivos inicialmente propostos para esta dissertação, é possível afirmar com convicção que todos foram plenamente alcançados:

O primeiro objetivo, que visava estabelecer as intrincadas relações conceituais entre as diversas áreas do conhecimento relevantes – climatologia urbana, física térmica, meteorologia e geografia – para aprofundar a compreensão das dinâmicas térmicas em ambientes urbanos, foi integralmente contemplado ao longo do Capítulo I. Concluiu-se que a interação entre as áreas se configura como um pilar fundamental para a investigação do fenômeno das ilhas de calor. A pesquisa demonstrou que a climatologia urbana e a geografia oferecem a perspectiva espacial e a compreensão das dinâmicas socioambientais, enquanto a física térmica provê os fundamentos teóricos para a análise dos processos de transferência de calor e radiação, e a meteorologia contribui com o entendimento dos padrões atmosféricos e seus fenômenos. A integração destes campos

do conhecimento, permitiu construir uma base conceitual sólida, essencial para a subsequente análise empírica e para o alcance dos demais objetivos da pesquisa

O segundo objetivo, que tinha como proposta verificar a viabilidade e a eficácia do imageamento térmico de superfície utilizando RPAS como uma ferramenta metodológica promissora para o estudo das ilhas de calor de superfície no contexto específico de Nova Iguaçu, foi amplamente confirmado pelos resultados empíricos obtidos e analisados nos Capítulos II e IV. A investigação empírica dedicou-se a verificar a viabilidade e a eficácia da utilização de RPAS equipado com câmera térmica para realizar o imageamento térmico da superfície na cidade de Nova Iguaçu. Os resultados obtidos através dos sobrevoos com o RPAS nas áreas selecionadas (Campus da UFRRJ e Escola Estadual Mestre Hiran) e o subsequente processamento das imagens térmicas para a geração de ortomosaicos demonstraram a capacidade do equipamento em capturar informações detalhadas sobre a distribuição espacial da temperatura de superfície no ambiente urbano. A análise dos ortomosaicos termais revelou variações de temperatura de superfície entre diferentes tipos de cobertura e uso do solo, sugerindo a identificação de potenciais áreas de maior e menor concentração de calor na superfície. Desta forma, conclui-se que a utilização de RPAS com câmera térmica se mostrou uma ferramenta metodológica pertinente e aplicável para o imageamento térmico da superfície urbana de Nova Iguaçu, confirmando o segundo objetivo específico da pesquisa e abrindo novas perspectivas para estudos detalhados sobre ilhas de calor de superfície em áreas urbanas.

No que tange ao terceiro objetivo específico da pesquisa, a investigação dedicou-se à comparação dos dados de temperatura atmosférica coletados pelas estações meteorológicas localizadas no Campus da UFRRJ e na Escola Estadual Mestre Hiran com os dados de temperatura de superfície obtidos através do imageamento térmico com RPAS. Concluiu-se que, embora as temperaturas de superfície medidas pelo RPAS tenham apresentado valores, em média, superiores às temperaturas atmosféricas registradas pelas estações meteorológicas, a análise comparativa evidenciou uma correlação entre as variações de temperatura observadas em ambas as fontes de dados.

As imagens térmicas capturadas diretamente sobre as estações meteorológicas revelaram disparidades entre a temperatura da superfície dos materiais circundantes e a temperatura atmosférica pontual, enquanto os ortomosaicos, representando uma média espacial da temperatura de superfície em áreas maiores, tenderam a apresentar diferenças menores em relação à temperatura atmosférica. Esta constatação reforça a complexidade da análise térmica em ambientes urbanos, onde a temperatura de superfície, influenciada pela heterogeneidade dos materiais e pela radiação solar, pode apresentar variações significativas em relação à temperatura do ar. A metodologia empregada, ao permitir a comparação entre dados pontuais e dados espacializados, contribuiu para uma compreensão mais abrangente das dinâmicas térmicas na área de estudo.

O quarto e último objetivo, que consistia na caracterização do clima da cidade de Nova Iguaçu, fornecendo o contexto climático para a investigação das ilhas de calor, foi devidamente abordado e aprofundado no Capítulo III. Este percurso dedicou-se à caracterização do clima da cidade de Nova Iguaçu, buscando fornecer um panorama das condições atmosféricas locais como contexto essencial para a análise do fenômeno das ilhas de calor. A pesquisa compilou informações de diversas fontes, incluindo dados de sites especializados como Weather Spark (2025) e Climate-Data.org (2025), além de trabalhos de referência de Nimer (1972, 1977) e Amador (1997) sobre a climatologia do Brasil e da região sudeste.

Concluiu-se que Nova Iguaçu apresenta um clima tropical úmido, influenciado por fatores geográficos, maritimidade, circulação atmosférica e relevo, com destaque para a atuação da Serra do Mar. A análise de dados da estação meteorológica do Laboratório

de Climatologia e Ensino de Geografia (ClimaEnGeo) da UFRRJ – IM para o ano de 2023 permitiu identificar os meses de fevereiro como o mais quente e julho como o mais frio, fornecendo dados recentes sobre o comportamento térmico local. Esta caracterização climática se mostrou fundamental para contextualizar os resultados do imageamento térmico, auxiliando na compreensão das variações de temperatura de superfície observadas e reforçando a relevância do estudo das ilhas de calor em um ambiente com as características climáticas de Nova Iguaçu.

Espera-se que esta dissertação contribua significativamente para o avanço dos estudos sobre clima urbano no contexto da geografia brasileira, especialmente no que concerne à aplicação inovadora de RPAS como uma ferramenta de sensoriamento remoto de alta resolução, capaz de fornecer dados espaciais detalhados e complementares aos métodos tradicionais. A metodologia aqui aplicada, desenvolvida e adaptada, juntamente com os resultados robustos alcançados, pode servir como um valioso ponto de partida e referência para futuras pesquisas que busquem uma compreensão ainda mais aprofundada da formação, intensidade e distribuição espacial das ilhas de calor de superfície em cidades com distintas características urbanas e climáticas.

Investigações futuras poderiam expandir o escopo desta pesquisa, explorando a complexa relação entre a distribuição das temperaturas de superfície e atmosféricas em uma variedade maior de horários, altitudes e sob diversas condições meteorológicas. A influência crucial de áreas verdes e corpos d'água no microclima urbano e na mitigação dos efeitos das ilhas de calor representa outra importante linha de investigação. Aqui é importante deixar como consideração para futuras pesquisas que os voos obtendo uma única imagem (como as registradas a 20m a cima do nível do solo) ou também ortomosaicos mais próximos do solo podem representar um campo fértil de situações a serem trabalhadas.

A análise detalhada da emissividade de diferentes materiais de construção predominantes no ambiente urbano poderia refinar ainda mais a precisão das medições térmicas. Finalmente, a aplicação desta metodologia no monitoramento contínuo de riscos climáticos urbanos, como ondas de calor, e na avaliação da eficácia de intervenções urbanas para o conforto térmico, oferece um potencial significativo para o planejamento urbano sustentável.

Em suma, foi demonstrado o potencial promissor da termografia aérea com RPAS como uma ferramenta metodológica valiosa e complementar para o estudo das ilhas de calor de superfície em Nova Iguaçu, oferecendo informações detalhadas e espacialmente distribuídas que enriquecem e complementam os dados pontuais tradicionalmente obtidos por estações meteorológicas. Os resultados obtidos evidenciam a intrincada e dinâmica interação entre as estruturas urbanas complexas e o topo-clima local, reforçando a importância fundamental de abordagens relacionadas às ciências e da incorporação de tecnologias inovadoras para a compreensão e a possível mitigação eficaz dos efeitos deletérios do fenômeno das ilhas de calor nas cidades contemporâneas. A abordagem aqui apresentada, e defendida, assegura que a metodologia desenvolvida e os achados desta pesquisa abrem novas e significativas perspectivas para a Geografia Física no estudo do clima urbano, impulsionando futuras investigações e contribuindo para a construção de cidades mais resilientes e ambientalmente sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, Aziz Nacib. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo.** São Paulo: USP-FFCL, 1957.

ADAMS, J. **Risco.** São Paulo: Editora Senac, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor,** 2017. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf Acesso em: junho de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL. **Saiba como funciona o processo de homologação,** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funciona-o-processo-de-homologacao> Acesso em: junho de 2023.

AGUIAR, Ana Paula et al. **Amazônia e REDD.** In: NOBRE, Carlos A.; MARENKO, José A. (Orgs.). Mudanças Climáticas em Rede: Um olhar interdisciplinar. São José dos Campos, SP: INCT, 2017.

ALMEIDA, José Antonio Pacheco de; OLIVEIRA, Paulo José de. **Sensoriamento remoto I.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2010.

ALVES, Renan. **Caminho da radiação eletromagnética na atmosfera terrestre.** Fundação CECIERJ, 2024. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/recurso/17592>. Acesso em: março de 2024.

AMADOR, Elmo da Silva. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos.** Rio de Janeiro, Edição do autor, 1997.

ANGELINI, L. P. **Efeitos do uso do solo sobre o balanço de radiação e energia em Cuiabá/MT.** Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

ARAÚJO, Faber Paganoto. **Mobilidade espacial da população e mercado imobiliário na periferia metropolitana: a expansão dos condomínios fechados em Nova Iguaçu,** 2014. Tese de Doutorado. Tese–Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ.

ARMOND, Núbia Beray. **Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

AZEVEDO, Ana Lucia. **Ondas recorde de calor: estudo identifica 19 zonas quentes no Rio.** extra.globo.com, 2023. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/onda->

recordede-calor-estudo-identifica-19-zonas-quentes-no-rio-25655559.html. Acesso em: 06 jul. 2023.

BARBOSA, P. G. **Uma contribuição para o design do conforto: avaliação da difusividade térmica de blocos cerâmicos e de concreto utilizando a termografia infravermelha.** Dissertação (Mestrado em Design). Universidade do Estado de Minas Gerais, 2014.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima.** 9º Edição. Ed. Bookman, 2013.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade.** São Paulo: Editora 34, 1986.

BEDAQUE, P.; BRETONES, P. S. O Sol está sempre a pino ao meio-dia? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20190025, 2020.

BOURSCHEIDT, Vandoir. **Uso de VANTs para estudos ambientais em áreas urbanas: Aplicações atuais e perspectivas.** In: Drones e Ciência: Teoria e aplicações metodológicas. Volume I. Santa Maria, RS: FACOS UFSM, 2019.

BRANDAO, Ana Maria de Paiva Macedo. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro.** Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia Física. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.

BRASIL. Ministério da Economia - Ministério das Relações Exteriores. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados.** Brasília, 2018.

BREUNIG, Fábio Marcelo; GALVÃO, Lênio Soares; NETO, Rorai Pereira Martins. **Drones na agricultura de precisão.** In: DRONES E CIÊNCIA: Teoria e aplicações metodológicas. Volume I. p. 91, Santa Maria, RS: FACOS UFSM, 2019.

BRÚSSOLO, Rafael Gotardi. **Comparação termohigrométrica de sub-altitude em área urbana e rural em São Carlos, Brasil, por meio de VANT/DRONE.** Universidade de São Paulo, 2018.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S. **Uso do solo e temperatura superficial em área urbana.** Mercator - Revista de Geografia da UFC, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 207-223, setembro-dezembro 2011.

CARDOSO, Cristiane; BORGES, Lucas Gabriel Lourenço. **A crise climática global: das mudanças climáticas aos riscos socioambientais.** In: SOUZA, Carla Juscélia de Oliveira; LOURENÇO, Luciano (Coords.). Contribuições da geografia para o ensino dos riscos. 2023.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. **A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea.** *Estudos avançados*, v. 23, p. 303-314, 2009.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. **Henri Lefebvre: o espaço, a cidade e o “direto à cidade”.** *Revista Direito e Práxis*, v. 11, p. 349-369, 2020.

CASTRO, Cleber Marques de. **Água, saneamento e os territórios de riscos na Baixada Fluminense (RJ): construindo uma agenda de pesquisa.** In: MENDES, Laura Delgado (Org.). GE1O ANOS Reflexões, contribuições e perspectivas da Geografia no Instituto Multidisciplinar da UFRuralRJ. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2021.

CASTRO, Cleber Marques de. **A produção dos territórios de riscos: elementos, relações e possibilidades de gestão.** In: BRAGA, Flavia; TERRA, Carlos (Orgs.). Avesso da paisagem 2: ruptura, desordem e risco no ambiente urbano. Rio de Janeiro: Rio Book's, 2012.

CHRISTOPHERSON, Robert W. **Geossistemas: uma introdução à Geografia Física.** 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CLIMAENGE. **Você sabe o que é uma estação meteorológica? 2022.** Disponível em: <https://laboratorios.ufrj.br/climaengeo/estacao-meteorologica/> Acesso em: 13 fev. 2025

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Nova Iguaçu (Brasil)**, 2025. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/nova-iguacu-4044/>. Acesso em: 08 jan. 2025

COSTA, Ivan Ferreira da; MAROJA, Armando de Mendonça. **Astronomia diurna: medida da abertura angular do Sol e da latitude local.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 40, n. 1, e1501, 2018.

FRADE, Gabrielle de Souza. **Análise de evolução da ocupação urbana da área central de Nova Iguaçu e suas implicações sócio espaciais.** In A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia. XVIII Encontro Nacional de geógrafos, 2016.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO - DECEA **Autorizações para voos de VANT: entenda melhor.** Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor. Acesso em: janeiro de 2023. DECEA, 2015.

DE SOUZA FRADE, Gabrielle; DA SILVA, William Ribeiro. **Mudanças socioespaciais na periferia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: O Caso De Nova Iguaçu.** *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 7, n.12, 2018.

DJI. **Mavic 2 Enterprise Advanced. Manual do Usuário**, 2021.

DJI. **DJI Thermal Analysis Tool 3: Manual do Usuário.** 2022. Disponível em: <https://manuals.plus/dji/dji-thermal-analysis-tool-3-manual.pdf>. Acesso em: 16/01/2025

DJI. **Mini- SE, Manual do Fabricante do Drone**, 2021.

DUARTE, Aluizio Capdeville. Conselho Nacional de Geografia. Divisão de Geografia. **A área central da cidade do Rio de Janeiro.** 1967.

FERNANDES, Nelson da Nóbrega. **O Rapto ideológico da Categoria Subúrbio: Rio de Janeiro (1858-1945)**, 1995. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

FERREIRA, Álvaro. **Favelas no Rio de Janeiro: nascimento, expansão, remoção e, agora, exclusão através de muros**. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, v. 14, n. 828, p. 1-3, 2009.

FERREIRA, Rayssa Evangelista Matos de Oliveira. **Áreas verdes em Nova Iguaçu (RJ): A contribuição da vegetação aos espaços urbanos centrais da cidade**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

FIALHO, Edson Soares. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de Viçosa na Zona da Mata Mineira**. Tese de doutorado, 2009.

FIALHO, Edson Soares. **Ilha de calor: Reflexões acerca de um conceito**. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, Edição Especial Climatologia Geográfica, 2012, pp. 61-76.

FIALHO, Edson Soares. **Topoclimatologia: estudo de caso do transect Ponte Nova-Ubá, na Zona da Mata Mineira**. Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, 2021.

FIALHO, Edson Soares; FERNANDES, Ludmila Alves; CORREA, Wesley de Souza Campos. **Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas**. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], ano 15, ed. especial, p. 1-171, jun. 2019.

FURLANETTO, Diva Almeida; CRUZ, Jana Maria; ALMEIDA, Roberto Schmidt. **Promoção Imobiliária e espaço residencial da classe média na periferia metropolitana do Rio de Janeiro**. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 49, n. 2, p. 27-56, 1987.

GAMARRA, Nancy Laura Rios. **Análises de albedo da superfície a partir de sensoriamento remoto: contribuições para estudos sobre ilha de calor urbano**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG, 2012.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GIDDENS, Anthony. **As Consequências da Modernidade**. São Paulo: Ed. Unesp, 1991.

GOTTSCHALK-DRUSCHKE, C. et al. **Storying the floods: experiments in feminist flood futures**. *Open Rivers*, v. 22, p. 7– 26, 2022.

GRIMM, Alice Marlene. **Meteorologia Básica - Notas de Aula**. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimma/posmeteo/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

HARVEY, David. **O espaço como palavra-chave**. *GEOgraphia*, 2013.

HONJO, T. et al. **Analysis of urban surface temperature change using structure-from-motion thermal mosaicing.** *Urban Climate*, v. 20, p. 135-147, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2022) Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/nova-iguacu/panorama>. Acesso em: 29 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/nova-iguacu.html>. Acesso em: 19 fev. 2024.

INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL - IBRAM. **Projeto de Monitoramento do Campo Térmico do Distrito Federal (PROTERM-DF).** Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/projeto-de-monitoramento-do-campo-termico-do-distrito-federal-proterm-df/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER - INCA. **Exposição à Radiação.** Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-a-radiacao>. Acesso em: 01 nov. 2023.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Transferência de Calor e Massa.** 6^a Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (a). **Ano de 2023 é o mais quente da série histórica no Brasil.** 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ano-de-2023-%C3%A9-o-mais-quente-da-hist%C3%B3ria-do-brasil#:~:text=O%20ano%20de%202023%20%C3%A9,16%C2%BAC%20abaixo%20da%20m%C3%A9dia%20hist%C3%B3rica>. Acessado em: 09 jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (b). **Previsão do tempo.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> Acessado em: 17 jan. 2025.

JIANG, Lu et al. **Diurnal variations in directional brightness temperature over urban areas through a multi-angle UAV experiment.** *Building and Environment*, v. 222, p. 109408, 2022.

JÚNIOR, Antonio Ferreira Lima; RIBEIRO, Isabel; AMORIM, Jorge Humberto. **Parques Urbanos e Ilhas de Frescor: A importância do Parque do Cocó para o conforto térmico na cidade de Fortaleza/CE.** *Geo UERJ*, n. 45, 2024.

KAPIL, R.; Castilla et al. **Orthomosaicking Thermal Drone Images of Forests via Simultaneously Acquired RGB Images.** *Remote Sens.*, 2023.

LANE, S.; BIERMANN, C.; LAVE, R. **Towards a genealogy of Critical Physical Geography.** In: LAVE, R. (org). *The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography*. Switzerland: Palgrave, 2018. p. 23-47.

LEMOS, Lidiane de Oliveira. **Configuração térmica horizontal e vertical do clima urbano do Central Business District (CBD) da cidade do Rio de Janeiro (RJ)**. 2021. 218 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

LEMOS, L.D.O.; OSCAR JÚNIOR, A.C.; MENDONÇA, F. **Urban Canyon in the CBD of Rio de Janeiro (Brazil): Avenida Rio Branco during Summer**. *Preprints.org*, 2021. doi:10.20944/preprints202107.0272.v1.

LUCENA, Andrews José de. **Campo térmico na Zona Oeste do Rio de Janeiro/RJ: Uma contribuição a estudos de clima urbano**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Departamento de Geografia, 2005.

LUCENA, A. J.; FILHO, O. C. R.; PERES, L. F.; FRANÇA, J. R. A. **A evolução da ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro**. *Revista Geonorte*, Amazonas, v.2, n.5, p. 8 – 21, 2012.

MALVESTIO, Leônidas Mantovani; NERY, Jonas Teixeira. **A importância da Amazônia para o regime pluviométrico da região sudeste do Brasil**. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 8, p. 786–795-786–795, 2012.

MEGDA, O. R. **Identificação de ilhas de calor urbano em cidade de porte médio: Proposta metodológica adaptada às Zonas Climáticas Locais – ZCLs**. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos, 2020.

MELLO, Caio César de Sousa. **Aerofotogrametria com VANT: aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2020.

MENEZES, André da Silva; MELLO, José André Villas Boas. **Expansão imobiliária e adensamento populacional na periferia do Estado do Rio de Janeiro/Brasil: uma análise da cidade de Nova Iguaçu**. *Geograficando*, v. 18, n. 2, 2022.

MENEZES, Lucas Amorim Amaral *et al.* **O uso da termografia infravermelha para verificação de corrosão de armaduras em postes de concreto armado**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, e27911528065, 2022.

MENEZES, Wallace de Araújo; MENDES, Laura Delgado. **A heterogeneidade e dinâmicas da paisagem na interação Terra-Atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ) a partir da aplicação de geotecnologias livres**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, n. 13, p. 111-118, jul./dez. 2017.

MENDES, L. P. et al. Além dos registros instrumentais: a metodologia qualitativa na construção de pesquisas da Geografia do Clima. *GeoSul*, v. 34, n. 73, p. 10-32, 2019.

MENDONÇA, F. **Riscos, vulnerabilidade e resiliência socioambientais urbanos: inovações na análise geográfica**. *Revista da ANPEGE*, v. 7, n. 1, p. 111-118, out. 2011.

MENDONÇA, F. **O estudo de clima urbano no Brasil**. In: *Clima urbano*. 2. ed., 2^a reimpressão. São Paulo: Contexto, 2021.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEO-USP, 1976.

MONTEZUMA, Rita de Cássia Martins et al. **Conectando cidades e florestas: O caso do município de Nova Iguaçu**. VI Seminário Latino Americano e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Anais... Coimbra, 2010.

NAÇÕES UNIDAS – ONU Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/205851-pnuma-adapta%C3%A7%C3%A3o-%C3%A0s-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-deve-ser-prioridade-global>. Acesso em 17 fev. de 2024.

NETO, Rorai Pereira Martins; BREUNIG, Fábio Marcelo. **Drones nas Ciências Florestais**. In: DRONES E CIÊNCIA: Teoria e aplicações metodológicas. Volume I. Santa Maria, RS: FACOS UFSM, 2019.

NIMER, E. **Climatologia da Região Sudeste do Brasil: Introdução à climatologia Dinâmica – Subsídios à Geografia Regional do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia, Rio de Janeiro, 34 (1): 3-48, 1972.

NIMER, E. **Clima**. In: Geografia do Brasil. IBGE, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro. Região Sudeste. 3: 51-89, 1977.

O GLOBO. **Rio é o único estado do país que ganhou área de floresta nos últimos 39 anos, revela levantamento**. Entrevista com a geógrafa Núbia Beray Armond. 26 out. 2024. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/um-so-planeta/noticia/2024/10/26/rio-e-o-unico-estado-do-pais-que-ganhou-area-de-floresta-nos-ultimos-39-anos-revela-levantamento.ghtml>. Acesso em: 26 de out. 2024.

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

OKE, T. R. **Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: Comparison of scale model and field observation**. *Journal of Climatology*, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 237-254, jul./set. 1981.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. University of British Columbia. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OLIVEIRA, M. D. M.; FURLANETO, F. de P. B.; FURLANETO NETO, M. **Características Técnicas e Econômicas do Veículo Aéreo Não Tripulado (Drone). Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 17, n. 5, p. 1-7, maio 2022.

OLIVEIRA, I. A. de. **Balanço de Energia em área urbana na cidade de Recife-PE**. Tese (Doutorado). Departamento de Energia Nuclear. Universidade Federal de Pernambuco, 88p. 2012.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM. **Guia de instrumentos e métodos de observação meteorológica**. 7a ed. Genebra: OMM, 2008.

OPENDRONEMAP. WebODM Download. Disponível em: <https://www.opendronemap.org/webodm/download/>. Acesso em: 03 mar. de 2025.

PEREIRA, Joaquim de Paula. **Desenvolvimento de um compósito cerâmico para otimizar a radiação térmica em materiais refratários Al2O3-SiO2-Cr2O3-SiC-Ca (AlO2)2**. Volta Redonda: UniFOA Dissertação de mestrado, 2016.

PEREIRA, Waldik. **Cana, Café e Laranja: história econômica de Nova Iguaçu**. Rio de Janeiro. Fundação Getulio Vargas: SEEC, 1977. 170p.

PIRES, Juliana Gusmão Brito. **Análise da percepção de risco a incêndio florestal no Maciço Gericinó-Mendanha, Mesquita – RJ**. 125p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Agronomia, Instituto Multidisciplinar, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, 2021.

PITOMBEIRA, Kalima Mendes. **Geração e análise de produtos cartográficos por fotogrametria com o uso de Structure from Motion – Multi View Stereo**. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2020.

PIX4D. **FERRAMENTAS - Calculadora GSD**. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249>. Acesso em 06/03/2025.

PLUGFIELD. **Mapa de localização das estações**, 2025 (a). Disponível em: <https://plugfield.com.br/dashboard/painel> Acesso em: 09/10/2025.

PLUGFIELD. **Relatório – leitura por dia – estação 0808 IMUFRRJ**, 2025 (b). Disponível em: <https://plugfield.com.br/report/index>. Acesso em: 12/01/2025.

PMNI, Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu, 2024. Disponível em: <https://www.novaiguacu.rj.gov.br/semam/apas/>. Acessado em out. 2024

PRADO, Walter. **História social da baixada Fluminense: das sesmarias a foros de cidade**. Rio de Janeiro: Ecomuseu Fluminense, 2000. 260 p.

RAUGUST, J.D.; OLSEN, M. J. **Emerging technology: structure from motion**. *LiDAR Magazine*, v. 3, n. 6, 2013.

RIBEIRO, Carlos. **Agricultura: Drone ou satélite**. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/agricultura-drone-ou-satelite/>. Acesso em: 07 dez. 2023.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: Acondicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986.

ROCHA, André Santos da. **Reestruturação Urbana e o "Novo mercado imobiliário" em Nova Iguaçu (RJ)**. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 8, n. 14, 2019.

ROCHA, André Santos da. **A representação "Ideal" de um território - exemplificando a Baixada Fluminense**. *Revista Pilares da História*. v. 10, p. 7-25, 2011.

ROCHA, André Santos da. **Baixada Fluminense: representações espaciais e disputas de legitimidades na composição territorial municipal.** Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ (Dissertação de Mestrado), 2009.

RODRIGUES, Adrianno Oliveira. **De Maxambomba a Nova Iguaçu (1833 – 90's): Economia e Território em Processo.** Rio de Janeiro, UFRJ-IPPUR, Dissertação de Mestrado em Planejamento Urbano e Regional, 2006.

RODRIGUES, Adrianno Oliveira. "Nova Iguaçu e a formação histórico-econômica da Baixada Fluminense." *Desenvolvimento, trabalho e cidadania* (2012): 77.

RODRÍGUEZ, M. V. **Assessment of aerial thermography as a method of in situ measurement of radiant heat transfer in urban public Spaces.** *Sustainable Cities and Society*, 2022.

RUDDIMAN, William F. **Earth's climate: past and future.** 2. ed. New York, NY: W.H. Freeman, 2008. 388 p.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro.** *Revista brasileira de climatologia*, v. 1, 2005.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Por uma Geografia do Clima.** *Terra Livre*, São Paulo, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico.** *Revista da ANPEGE*, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e organização do espaço.** *Boletim de Geografia*, v. 16, n. 1, p. 119-132, 2 fev. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Climatologia e abordagens geográficas.** Youtube, 16 abr. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2TtaC2eeXa8>.

SANT'ANNA NETO, J. L. **A Geografia Física: Concepções e Experiências.** Youtube, 26 abr. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=M_cQMgjNtiw.

SANTOS, Everaldo Lisboa dos. **Reorganização espacial na área central de Nova Iguaçu: o centro velho e o centro novo.** 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, Everaldo Lisboa dos. **A coexistência de processos de urbanização em Nova Iguaçu.** Tese (Doutorado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto de Geografia, 2016.

SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção.** 4. ed. 2. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, Milton. **Por uma outra globalização – do pensamento único à consciência universal.** Rio de Janeiro: Record, 2000.

SANTOS JUNIOR, Wilson Messias dos; DA COSTA, Vivian Castilho. **Uso da terra e cobertura vegetal no Maciço Gericinó-Mendanha: Classificação Semiautomática por imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2.** In: 1º Workshop ARTE & Ciência: Reflexão Integrada na Paisagem. 2017.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA, Renata Nunes Tavares da. **Estudo da termografia por infravermelho: aplicações na engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de materiais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). CTG. Engenharia Mecânica, 2007.

SILVA, Sérgio. **Expansão cafeeira e origens da indústria no Brasil.** São Paulo: Alfa Omega, 1976. 120 p.

SILVA FILHO, A. L. da SANTOS JUNIOR, W. M.; COSTA, V. C.; MARQUES FILHO, J. da P.. **Classificação climática de Köppen aplicada em unidades de conservação: Estudo de caso no Parque Estadual do Mendanha (PEM) e na Área de Proteção Ambiental Gericinó-Mendanha (APAGM)** in: Anais da IV Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro (JGEOTEC). 2018.

SILVEIRA, L.A., e RIBEIRO, M.Â.C. **Situando Duque de Caxias no contexto metropolitano da Baixada Fluminense: de cidade-dormitório a cidade plena.** In:

SIMÕES, Manoel Ricardo. **A cidade Estilhaçada–reestruturação econômica e emancipações municipais na Baixada Fluminense.** Programa de Pós-Graduação em Geografia UFF. 2006. Tese de Doutorado. Tese de doutorado.

SIMÕES, Manoel Ricardo, **A cidade estilhaçada: reestruturação econômica e emancipações municipais na Baixada Fluminense.** Mesquita, Ed. Entorno, (2007) pp. 300.

SIMÕES, Manoel Ricardo. **Ambiente e Sociedade na Baixada Fluminense.** Mesquita. Editora Entorno, 2011.

SLAYMAKER, O. **Physical geographers understanding of the real world. The Canadian Geographer / Le Geographe canadien,** 2016.

SMITH, M. W.; CARRIVICK, J. L.; QUINCEY, D. J. **Structure from motion photogrammetry in physical geography.** *Progress in Physical Geography*, v. 40, n. 2, p. 247-275, 2016.

SMITH, P. et al. **Study of the urban microclimate using thermal UAV. The case of the mid-sized cities of Arica (arid) and Curico' (Mediterranean), Chile.** *Building and Environment*, 2021.

SOARES, Maria Therezinha de Segadas. **Nova Iguaçu: absorção de uma célula urbana pelo Grande Rio de Janeiro.** 1960. 134 p. Tese de livre docência - Faculdade Nacional de Filosofia. Programa da Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1960.

SOTO-ESTRADA, Engelberth. **Thermal analysis of urban environments in Medellin, Colombia, using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV).** *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*, v.11, n.2, p.142-149, 2017.

SOUZA, Sonali Maria de. **Da laranja ao lote: transformações sociais em Nova Iguaçu.** Rio de Janeiro: PPGAS-MN, UFRJ, Dissertação de mestrado, 1992.

SULTANA, F. **Gendering climate change: geographical insights.** *The Professional Geographer*, v. 66, n. 3, p. 372-381, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO – INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR - UFRRJ IM. Inaugurada a Estação Meteorológica no Câmpus Nova Iguaçu da UFRRJ. 2025. Disponível em: <<https://www.ni.ufrrj.br/inaugurada-a-estacao-meteorologica-no-campus-nova-iguacu-da-ufrrj/>>. Acessado em: 09/01/2025.

VAREJÃO-SILVA, Mario Adelmo. **Meteorologia e climatologia.** Versão digital 2. Disponível em:
https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Recife, Pernambuco, Brasil, 2006. Acesso em: 01 nov. 2023.

VEYRET, Yvette. (org.). **Os Riscos. O Homem como Agressor e Vítima do Meio Ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007.

VIANA, L.A.; ZAMBOLIM, L.; SOUZA, T.V.; TOMAZ, D.C. **Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas.** *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.

VIANNA, Elen Oliveira. **O campo térmico urbano. Ilhas de Calor em Brasília – DF.** Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, 2018.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Complete Urban Surface Temperatures.** *Journal of Applied Meteorology*. [S.l.], v. 36, p. 1117-1131, set. 1997.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. **Ciência atmosférica: uma pesquisa introdutória .** Elsevier, 2006.

WEATHERSPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Nova Iguaçu no ano todo,** 2025. Disponível em:< https://pt.weatherspark.com/y/30570/Clima-caracter%C3%A3stico-em-Nova-Igu%C3%A1u-Rio-de-Janeiro-Brasil-durante-o-ano#google_vignette>. Acesso em: 08/01/2025

YNOUE, Rita Yuri et al. **Meteorologia: noções básicas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ZEKKOS, D. et al. **Lessons Learned from The Application of UAV-Enabled Structure-From-Motion Photogrammetry in Geotechnical Engineering.** International Journal of Geoengineering Case Histories, v. 4, n. 4, p. 254-274, 2018. DOI: 10.4417/IJGCH-04-04-03.

APÊNDICE I – VISÃO 360º A 100M DE ALTITUDE DA ESTAÇÃO EEMH

Fotografia ____: Visão 360º da cidade de Nova Iguaçu. Imagem obtida a ____m acima da estação meteorológica localizada na Escola Estadual Mestre Hiran



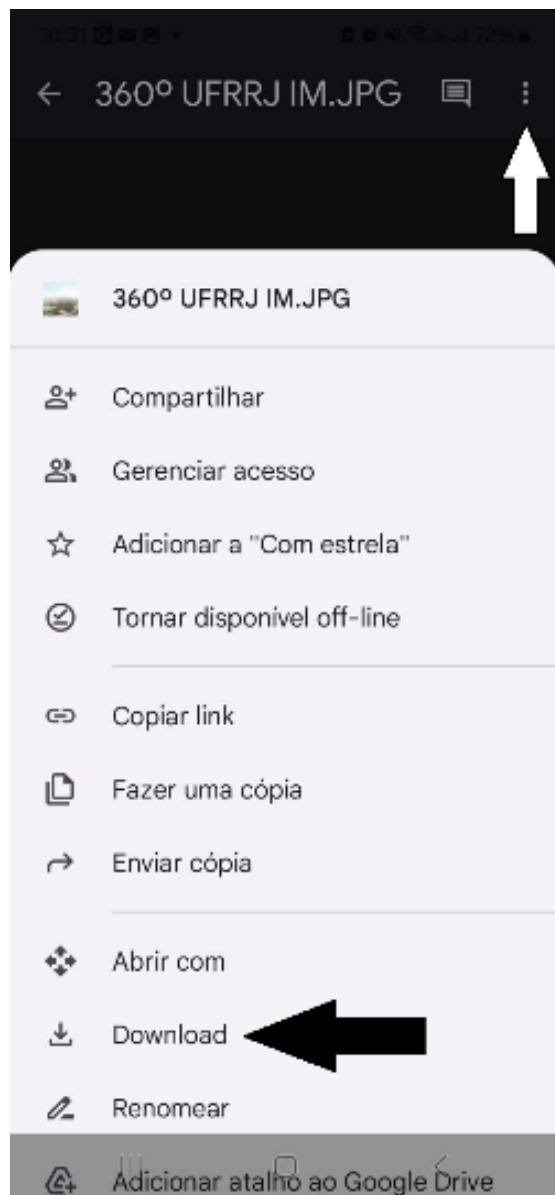
Fonte: O autor em parceria com o ICMBio.

QR Code da Fotografia ____: para visualização no aplicativo em 360º



Passo a passo para realização de Download das fotografias 360º

- Abra a câmera do seu celular;**
- Scaneie o QRcode referente a fotografia desejada;**
- Após a visualização da imagem é necessário fazer o download do arquivo clicando nos três pontos no canto superior da tela e depois na opção Download (conforme imagem abaixo).**



- Abra o aplicativo Reprodutor Multimídia VR e selecione a imagem desejada.

APÊNDICE II – VISÃO 360° A 100M DE ALTITUDE DA ESTAÇÃO IM UFRRJ

Fotografia ____: Visão 360° da cidade de Nova Iguaçu. Imagem obtida a ____m acima da estação meteorológica localizada no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto Multidisciplinar (UFRRJ/IM)



Fonte: O autor em parceria com o ICMBio.

QR Code da Fotografia ____: para visualização no aplicativo em 360°



Passo a passo para instalação do aplicativo de visualização das fotografias 360°

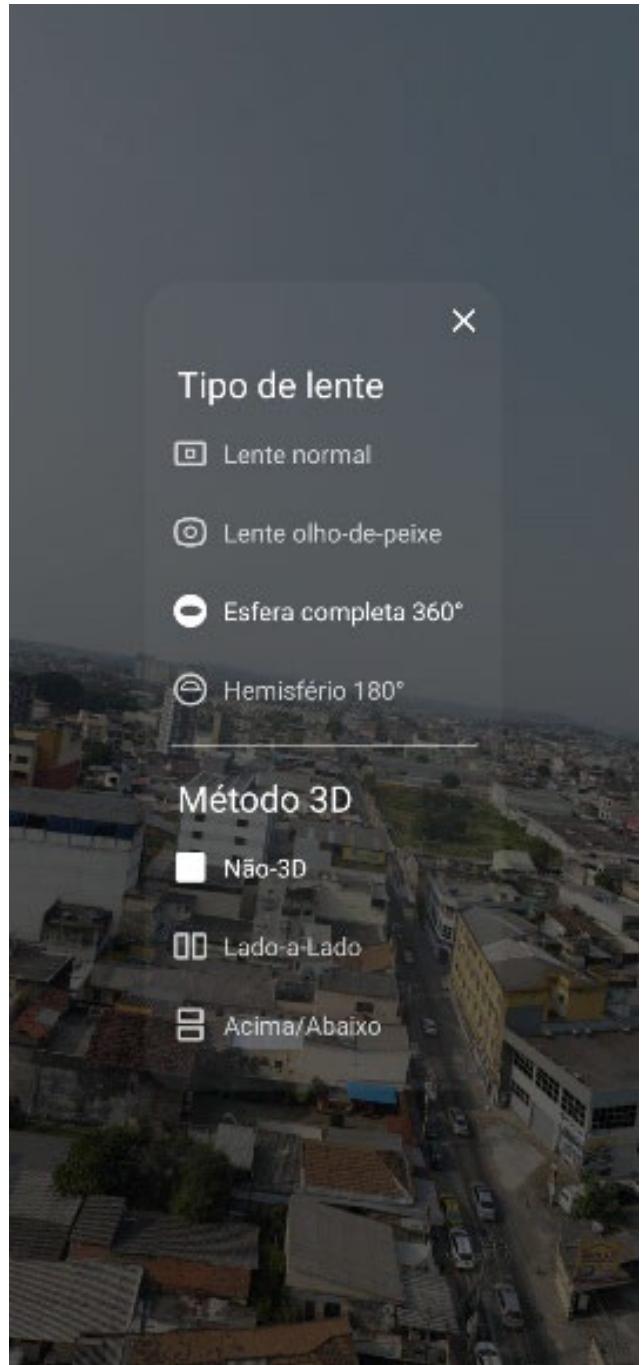
QR CODE PARA INSTALAÇÃO DO APLICATIVO DE VISUALIZAÇÃO DAS IMAGENS 360°



- Scaneie o QR code abrindo câmera do seu celular;
- Clique em instalar aplicativo;
- Escolha a opção assinalada abaixo para escolher o arquivo a ser aberto



- Mantenha a configuração conforme a indicação abaixo:



Observação: Esta é apenas uma opção para a visualização do arquivo, o pesquisador deve sentir-se à vontade para optar por outro caminho, programa ou aplicativo de leitura de fotografias 360º.

Fonte: Elaborada pelo autor

APÊNDICE III - AUTORIZAÇÃO DO VOO SOBRE A EEMH

03/09/24, 19:39

SARPAS NG

Detalhes do Voo

Analise Automática - Aprovado

DELIBERAÇÃO DA ANÁLISE

Deliberado em 03/09/2024, 19:38:45

Voo autorizado no SARPAS condicionado à prévia realização de acordo operacional, conforme item 6.1.15 do MCA 56-5 (2023)

Protocolo

34CBEAE8



Status

Analise Automática - Aprovado

Altura

100 m

Data Solicitação

03/09/2024, 19:26:50

Área

[Ver área solicitada](#)

Download

KML

Perfil da operação

[Especial - Orgãos de Governo \(Nova ICA\)](#)

Tipo de voo

VLOS

JANELA DA OPERAÇÃO

Data da Operação

04/09/2024

Horário da Operação

09:00:00 às 17:00:00

COMUNICAÇÃO

OPERAÇÃO

Nome da Operação

Ilhas de calor - UFRRJ EE Hiran

OBSERVAÇÕES

Levantamento de ilhas de calor na UFRRJ em apoio ao ICMBio

AERONAVES

03/09/24, 19:39

SARPAS NG

SISANT

PP-020013107

ENVOLVIDOS

Papel	Nome	Código
Responsável	Cessão IBAMA - 08.829.974/0025-61	
Solicitante	LEONARDO MARTINS GOMES - 111.313....	SLXU
Piloto	LEONARDO MARTINS GOMES	SLXU

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

APÊNDICE IV – AUTORIZAÇÃO DO VOO SOBRE O IM UFRRJ

03/09/24, 19:27

SARPAS NG

Detalhes do Voo

Analise Automática - Aprovado

DELIBERAÇÃO DA ANÁLISE

Deliberado em 03/09/2024, 19:26:18

Voo autorizado no SARPAS condicionado à prévia realização de acordo operacional, conforme item 6.1.15 do MCA 56-5 (2023)

Protocolo

429E6F03



Status

Analise Automática - Aprovado

Altura

100 m

Data Solicitação

03/09/2024, 19:13:53

Área

[Ver área solicitada](#)

Download

KML

Perfil da operação

[Especial - Órgãos de Governo \(Nova ICA\)](#)

Tipo de voo

VLOS

JANELA DA OPERAÇÃO

Data da Operação

04/09/2024

Horário da Operação

10:00:00 às 17:00:00

COMUNICAÇÃO

OPERAÇÃO

Nome da Operação

Ilhas de calor - UFRRJ

OBSERVAÇÕES

Levantamento de ilhas de calor na UFRRJ em apoio ao ICMBio

AERONAVES

03/09/24, 19:27

SARPAS NG

SISANT
PP-020013107

ENVOLVIDOS

Papel	Nome	Código
Responsável	Cessão IBAMA - 08.829.974/0025-61	
Solicitante	LEONARDO MARTINS GOMES - 111.313....	SLXU
Piloto	LEONARDO MARTINS GOMES	SLXU

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com o ICMBio

APÊNDICE V – BUSCA POR TRABALHOS, NOS PORTAIS SELECIONADOS, QUE CONTENHAM AS PALAVRAS-CHAVE QUE SERVIRAM DE REFERÊNCIA PARA PESQUISA

Google Acadêmico	RECORTE TEMPORAL: 2013 - 2023				
	Critério para as buscas: Todos os índices				
Portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	RECORTE TEMPORAL: 2013 - 2023				
	Critério para as buscas: Todos os índices				
Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES	Não se considerou recorte temporal				
	Critério para as buscas: Todos os índices				
	GOOGLE ACADÊMICO	PERIÓDICOS CAPES	TESES E DISSERTAÇÕES (CAPES)		
	resultados	resultados	Teses	Dissertações	TOTAL
DRONE	210.000	36.079	82	238	320
UAV - Unmanned Aerial Vehicle	32.800	42.986	37	103	140
RPA - Remotely Piloted Aircraft	6.830	740	8	22	30
ARP - Aeronave Remotamente Pilotada	770	39	5	17	22
VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados	5960	147	54	156	210
Geografia	73.200	58.354	10.419	27.427	37846
Ilha de calor	16.000	367	72	156	228
Clima urbano	32.900	1209	279	692	971
Clima urbano, geografia	15.800	250	37	81	118
Clima urbano, temperatura de superfície	16.000	130	19	44	63
Clima urbano, VANT	2720	NRE	2	NRE	2
Clima urbano, geografia, DRONE	1.560	NRE	NRE	NRE	
Câmera térmica	16.800	125	740	1452	2192
Câmera termográfica	7800	70	38	101	139

Termografia	13.000	528	255	595	850
Ilha de calor, geografia	15.400	109	5	6	11
Ilha de calor, geografia, DRONE	578	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, UAV- Unmanned Aerial Vehicle	285	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, RPA - Remotely Piloted Aircraft	99	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, ARP - Aeronave Remotamente Pilotada	12	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados	138	2	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, DRONE, câmera térmica	218	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, DRONE, câmera termográfica	22	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, DRONE, termografia	32	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, UAV- Unmanned Aerial Vehicle, câmera térmica	104	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, UAV- Unmanned Aerial Vehicle, câmera termográfica	13	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, UAV- Unmanned Aerial Vehicle, termografia	15	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, RPA - Remotely Piloted Aircraft, câmera térmica	62	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, RPA - Remotely Piloted Aircraft, câmera termográfica	13	NRE	NRE	NRE	

Ilha de calor, geografia, RPA - Remotely Piloted Aircraft, termografia	10	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, ARP - Aeronave Remotamente Pilotada, câmera térmica	3	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, ARP - Aeronave Remotamente Pilotada, câmera termográfica	1	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, ARP - Aeronave Remotamente Pilotada, termografia	1	NRE	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados, câmera térmica	55	2	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados, câmera termográfica	9	2	NRE	NRE	
Ilha de calor, geografia, VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados, termografia	10	2	NRE	NRE	
NRE - Nenhum Registro Encontrado					

Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXO I – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, SENSORES PADRÃO E SENSORES CALCULADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS



Plugstation WS22



Especificações Técnicas

Parâmetro	Tipo	Descrição	
Rede	Wi-Fi	802.11bgn 2,4Ghz Método de autenticação WPA/WPA2	
	2G / 3G / 4G	CDMA/HDR/GSM/GPRS/EDGE/WCDMA/HSDPA/HSUPA/HSPA+ TDSCDMA/TDD LTE/FDD LTE	
Processador	Dual Core	240Mhz (600DMIPS)	
Memória	SPI Flash	16MB	
Período entre leituras dos sensores	Minutos	Ajustável	5, 10 ou 15 minutos
Armazenamento/ DataLogger	Dias	5 minutos	Até 60 dias de informação
		10 minutos	Até 120 dias de informação
		15 minutos	Até 180 dias de informação
Antena GNSS	GPS	Sistema Global de Navegação por Satélite	
Bateria	Íons de Lítio	Recarregável pelo painel solar	
Alimentação	Painel Solar	10W, 18V/600mA, Off-Grid	
Case	Polycarbonato	Com proteção UV Grau de proteção IP65	
Display	Monocromático	0.96", 128X64 pixels	
Certificação Anatel	Registro	017032107968 063781811541	Módulo EG95 Módulo ESP32

Sensores Padrão

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Resolução	Precisão
Temperatura	-30°C	60°C	0.1°C	± 1°C
Umidade	1%	99%	1%	± 5%
Precipitação	0mm		0.3mm	0.3mm (se chuva < 1000mm) 1mm (Se chuva > 1000mm)
Rajada do Vento	0 Km/h	180 Km/h	4 Km/h	± 4Km/h
Velocidade do Vento	0 Km/h	180 Km/h	0.36 Km/h	± 10%
Direção do Vento	0°	359°	1°	± 15°
Intensidade Luminosa	0 LUX	400000 LUX	0.1 LUX	± 15%
Intensidade UV*	0 µW/m²	20000 µW/m²	1 µW/m²	±1 µW/m²
Pressão Atmosférica	300 hPa	1100 hPa	0.1 hPa	± 1 hPa

Sensores Calculados

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Resolução
Evapotranspiração*	0mm		0.1mm
Sensação térmica	-30 °C	60 °C	0.1 °C
Ponto de Orvalho	-20 °C	40 °C	0.1 °C
Delta T	0 °C		0.1 °C

* Calculado pelo método de Penman-Monteith

Consulte as especificações da linha Plugsensor® em plugfield.com.br




01703-21-07968 módulo EG95
06378-18-11541 módulo ESP32

* Índice UV: indicação da faixa de 1 (baixo) à 11 (extremo)

Fonte: Página da Plugfield⁷⁵

⁷⁵ Disponível em: <<https://portal.plugfield.com.br/>> Acesso em mar. 2025