



INSTITUTO FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Fluminense

MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO EM CAMPOS  
DOS GOYTACAZES-RJ: METODOLOGIAS, TÉCNICAS DE ANÁLISE E ZONEAMENTO

RÍLDEN GOMES RODRIGUES

MACAÉ-RJ

2023

RÍLDEN GOMES RODRIGUES

ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO EM CAMPOS  
DOS GOYTACAZES-RJ: METODOLOGIAS, TÉCNICAS DE ANÁLISE E ZONEAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador(a): DSc. Luiz de Pinedo Quinto Junior.

Coorientador(a): DSc. Hélio Gomes Filho

MACAÉ-RJ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R696z Rodrigues, Rílden Gomes, 1994-.  
Zonas climáticas locais para estudo da ilha de calor urbano em Campos dos Goytacazes-RJ: metodologias, técnicas de análise e zoneamento / Rílden Gomes Rodrigues. — Macaé, RJ, 2023.  
xiv, 59 f.: il. color.

Orientador: Luiz de Pinedo Quinto Junior.

Coorientador: Hélio Gomes Filho.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2023.

Inclui referências.

Área de concentração: Sustentabilidade Regional.

Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Ilha de calor urbana - Campos dos Goytacazes (RJ). 2. Climatologia urbana. 3. Planejamento urbano. 4. Sensoriamento Remoto. 5. Aquecimento global. I. Quinto Junior, Luiz de Pinedo, orient. II. Gomes Filho, Hélio, coorient. III. Título.

CDD 551.525091732 (23. ed.)

Dissertação intitulada **ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO EM CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ: METODOLOGIAS, TÉCNICAS DE ANÁLISE E ZONEAMENTO**, elaborada por **Rilden Gomes Rodrigues** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 10 de outubro de 2023

Banca Examinadora:



Luís de Pinedo Quinto Junior, Doutor em Arquitetura e Urbanismos / Universidade de São Paulo (USP), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador(a)



Hélio Gomes Filho, Doutor em Políticas Públicas e Formação Humana / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador

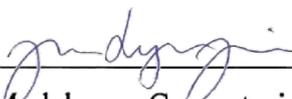
Documento assinado digitalmente

gov.br

JADER LUGON JUNIOR

Data: 11/01/2024 22:36:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Teresa de Jesus Peixoto Faria, Doutora em Estudos Urbanos / École des Hautes Études en Sciences Sociales, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)



Aos meus avós, Maria Francisca, João, Ivete e Moacir.

Aos meus pais, Cristiane e Rildenir.

Ao meu irmão, Ysnael.

A todas as pessoas desse pálido ponto azul.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Prof. D. Sc. Luiz de Pinedo e Prof. D. Sc. Hélio Gomes, pela orientação e confiança.

Aos meus pais e a toda minha família que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos amigos e colegas pela amizade, ajudas e momentos memoráveis.

A todos que produzem conhecimento que viabiliza essa dissertação e o progresso da ciência.

A todos que venham a ler, criticar e otimizar o que foi produzido nessa dissertação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram.

“Changing the world means changing the way we  
experience the world.”

Olafur Eliasson

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – Perfil da ilha de calor urbano.....	06
Figura 2 – Fatores causadores da ICU.....	07
Figura 3 - Medidas mitigadoras da ICU.....	10
Figura 4 - Tipologia das Zonas Climáticas Locais.....	11
Figura 5 - Gráfico demonstrando a sazonalidade da temperatura média do ar em Campos dos Goytacazes.....	13
Figura 6 - Artigos que passaram no processo de pesquisa e sua quantidade de publicações por ano.....	16
Figura 7 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por país.....	16
Figura 8 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por método de classificação.....	17
Figura 9 - Gráfico indicando os programas utilizados na classificação das ZCL e a quantidade de artigos que utiliza esses programas.....	18
Figura 10 - Gráfico indicando as técnicas de análise utilizados e a quantidade de artigos que utiliza esses programas.....	19
Figura 11 - Gráfico indicando as plataformas/equipamentos utilizados para obtenção da temperatura de superfície e a parcela de artigos que as utilizou.....	19
Figura 12 - Gráfico mostrando os programas utilizados para a análise dos dados meteorológicos e a quantidade de artigos que os utilizou.....	20

### ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – Fluxograma do procedimento de classificação do LCZ Generator.....	36
Figura 2 – Gráfico demonstrando a sazonalidade da temperatura média do ar em Campos dos Goytacazes.....	38
Figura 3 - Áreas de treinamento demarcadas e submetidas para o processo de classificação no LCZ Generator.....	41
Figura 4 - Relação da quantidade de áreas de treinamento por classe de ZCL.....	41
Figura 5 - Ficha técnica da ZCL 9 criada por Stewart (2011) .....	42
Figura 6 - Mapa de Campos dos Goytacazes classificado em ZCL.....	43

Figura 7 - Precisão das ZCL classificadas.....	44
Figura 8 - Tipologia conceitual das intensidades da ICU baseados em diferenças de temperaturas síncronas entre Zonas Climáticas Locais.....	45
Figura 9 - Limite do perímetro urbano com diferenças entre o polígono usado para recorte, em amarelo, e o polígono recortado das ZCL em verde.....	47
Figura 10 - Transectos realizados por Beraldi (2020) e Sales (2020) sobrepostos às ZCL.	49
Figura 11 - Zoneamento térmico realizado por Sales (2020).....	50
Figura 12 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 1 (2020).....	50
Figura 13 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 1 (2020).....	51
Figura 14 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 1 (2020).....	51
Figura 14 - Vistas vertical e da superfície que ilustram diferenças morfológicas de regiões do perímetro urbano classificadas como ZCL 3.....	53
Figura 16 - Áreas de influência de rosa dos ventos para medição da temperatura.....	54

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 - Área total das Zonas Climáticas Locais dentro do perímetro urbano central de Campos dos Goytacazes.....	46
--	----

## LISTA DE QUADROS

### ARTIGO CIENTÍFICO 1

Quadro 1 - Técnicas para estudo das variáveis meteorológicas da ICU e suas respectivas aplicabilidades.....	9
Quadro 2 – Termos de filtro epistemológico.....	14
Quadro 3 – Quantidade de artigos resultantes após a aplicação de cada um dos critérios de seleção.....	15

### ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 1 - Tipos de construção da tipologia das Zonas Climáticas Locais.....	32
Quadro 2 – Tipos de cobertura do solo da tipologia das Zonas Climáticas Locais.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer*

ICU – Ilha de Calor Urbano

LCZ – *Local Climate Zones*

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

PESAGRO-RIO – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro

SC – Santa Catarina

SE – Sergipe

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SP – São Paulo

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

WRF – *Weather Research and Forecasting Model*

WUDAPT – *World Urban Database and Access Portal Tools*

ZCL – Zonas Climáticas Locais ou Zona Climática Local

# ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO EM CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ: METODOLOGIAS, TÉCNICAS DE ANÁLISE E ZONEAMENTO

## RESUMO

À medida que as áreas urbanas se expandem, a fim de abrigar mais habitantes e atividades, ocorrem diversas mudanças na qualidade ambiental existente nessas regiões. Uma dessas mudanças se dá no balanço energético urbano que, devido à modificação da cobertura do solo e da morfologia da infraestrutura urbana, acaba por fazer com que a área urbana apresente temperaturas superiores ao seu entorno rural. Em regiões que já exibem temperaturas elevadas isso agrava problemas relacionados à saúde da população e até mesmo ao consumo energético das edificações. A partir dessas informações, o presente estudo busca investigar o sistema de classificação da área urbana em Zonas Climáticas Locais (ZCL) a fim de caracterizar a Ilha de Calor Urbano na área urbana de Campos dos Goytacazes, tendo em vista que tem se tornado um padrão utilizado na classificação do espaço urbano. A primeira parte busca compreender as metodologias empregadas na classificação da área urbana em ZCL ao realizar uma revisão sistemática dos artigos que avaliam a ICU com o uso das ZCL, o que irá direcionar o estudo da ICU em Campos dos Goytacazes. Um total de 264 artigos foram encontrados a partir do uso de palavras-chave na base de dados Web of Science, sendo que 79 foram selecionados para a análise a partir da aplicação de critérios de seleção. Desta forma, foram investigados os métodos e programas utilizados para classificar áreas em ZCL, além das técnicas e programas utilizados para analisar os dados meteorológicos nesses artigos. Os resultados encontrados possibilitam um direcionamento para a melhor forma de classificação das ZCL em função das demandas oriundas das características do espaço urbano e da disponibilidade de informações, além de orientar quanto a forma de obtenção e análise dos dados meteorológicos. A segunda parte buscou realizar a classificação do perímetro urbano central do município de Campos dos Goytacazes em ZCL através da plataforma LCZ Generator a fim de o resultado obtido permita analisar a área e a ICU, através da sobreposição com dados de estudos anteriores. O resultado obtido da classificação foi o mapa do perímetro urbano central em ZCL que permitiu identificar um padrão composto apenas por zonas de baixa elevação com áreas densamente construídas na região central que se tornam esparsas ao se aproximar dos limites do perímetro, que é predominantemente constituído por zonas de vegetação rasteira. A sobreposição de dados de temperaturas de estudos anteriores ao mapa classificado permitiu observar que os padrões coincidem, validando o mapa como subsídio para estudos futuros e planejamento municipal.

**Palavras-chave:** Planejamento Urbano. Aquecimento Global. Mudanças Climáticas. Sensoriamento Remoto.

## **LOCAL CLIMATE ZONES FOR STUDYING THE URBAN HEAT ISLAND IN CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ: METHODS, ANALYSIS TECHNIQUES AND ZONING**

### **ABSTRACT**

*As urban areas expand to accommodate more inhabitants and activities, several changes occur in the existing environmental quality in these regions. One of these changes takes place in the urban energy balance which, due to changes in land cover and the morphology of urban infrastructure, ends up causing the urban area to present temperatures higher than its rural surroundings. In regions that already exhibit high temperatures, this aggravates problems related to the health of the population and even the energy consumption of buildings. Based on this information, the present study seeks to investigate the classification system of the urban area in Local Climate Zones (LCZ) to characterize the Urban Heat Island in the urban area of Campos dos Goytacazes, considering that it has become a standard used in the urban space classification. The first part seeks to understand the methodologies used in classifying the urban area in ZCL by performing a systematic review of the articles that evaluate the ICU using the ZCL, which will guide the study of the ICU in Campos dos Goytacazes. A total of 264 articles were found based on the use of keywords in the Web of Science database, and 79 were selected for analysis based on the application of selection criteria. In this way, the methods and programs used to classify areas in ZCL were investigated, in addition to the techniques and programs used to analyze meteorological data in these articles. The results make it possible to direct the best way of classifying the ZCL according to the demands arising from the characteristics of the urban space and the availability of information, in addition to guiding how to obtain and analyze meteorological data. The second part sought to carry out the classification of the central urban perimeter of the municipality of Campos dos Goytacazes in ZCL through the LCZ Generator platform so that the result obtained allows the analysis of the area and the ICU, through overlapping with data from previous studies. The result obtained from the classification was the map of the central urban perimeter in ZCL, which allowed identifying a pattern composed only of low-elevation zones with densely built-up areas in the central region that become sparse when approaching the limits of the perimeter, which is predominantly constituted by undergrowth zones. The superimposition of temperature data from previous studies on the classified map allowed observing that the patterns coincide, validating the map as a subsidy for future studies and municipal planning.*

**Keywords:** *Urban planning. Global warming. Climate Change. Remote sensing.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	Ix
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS.....	x
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANO PARA APLICAÇÃO EM CAMPOS DOS GOYTACAZES: REVISÃO SISTEMÁTICA DAS METODOLOGIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA URBANA EM ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS</b> .....	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1. Ilhas de Calor Urbano (ICU).....	06
2.2. Zonas Climáticas Locais.....	10
2.3 Campos dos Goytacazes.....	12
3. MATERIAL E MÉTODO.....	14
3.1. Método.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÃO.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: CLASSIFICAÇÃO DO PERÍMETRO URBANO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES EM ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS: PADRÕES DE USO DA TERRA E DA ILHA DE CALOR URBANO</b> .....	26
1. INTRODUÇÃO.....	28
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	29
2.1. Ilhas de Calor Urbano (ICU)	29
2.1.1. Zonas Climáticas Locais	32
2.1.2. LCZ Generator	34
2.2. Desigualdades e ICU	35
2.3. Campos dos Goytacazes	36
3. MATERIAL E MÉTODO.....	39
3.1. Método.....	39

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5. CONCLUSÃO.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

## APRESENTAÇÃO

As áreas urbanas já abrigam a maior parte da população do planeta, criando uma grande concentração de pessoas em uma determinada área. Essas áreas estão em constante processo de construção e reconstrução de modo a atender às demandas que variam no espaço e no tempo, de acordo com o conhecimento adquirido e com a percepção e ação dos habitantes e tomadores de decisão. Um dos temas emergentes é a ação pelo clima, que envolve principalmente o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável<sup>1</sup> de número 13, e visa a tomada de medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.

Essa mudança do clima em escala global foi gerada pela emissão de gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas, o que causa o aquecimento global, um aumento da temperatura média do planeta que já chegou aos 1,1°C desde a revolução industrial. As projeções do IPCC indicam que, caso nada seja feito para reduzir a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, as temperaturas continuarão aumentando e trazendo impactos cada vez mais danosos do que os observados atualmente.

Esses impactos são distintos e afetam as pessoas de diferentes formas, como através de danos a cultivos agrícolas, estresse por calor, estresse hídrico, aumento do consumo de energia para climatização, deterioração de ecossistemas naturais e danos a infraestruturas urbanas. São questões que interagem com outros ODS, tais como saúde e bem-estar (3), energia limpa e acessível (7), cidades e comunidades sustentáveis (11), vida na água (14) e vida terrestre (15). Esses sintomas já são observados atualmente e demandam a criação de soluções que mitiguem ou eliminem essas consequências negativas causadas pelas mudanças climáticas.

Sendo assim, as medidas a serem tomadas envolvem impedir a evolução da mudança e adaptar as infraestruturas e atividades humanas à nova realidade que já foi criada, que, entre outras consequências, leva a eventos climáticos extremos acontecendo em maior intensidade e frequência, como no caso das ondas de calor. Essa tendência se soma a outro fenômeno conhecido com Ilha de Calor Urbano (ICU), onde áreas urbanas tendem a exibir temperaturas maiores que o seu entorno rural. Huang (2019) projeta que, entre 2015 e 2050 as áreas urbanas vão se expandir, resultando num aquecimento médio diurno e noturno no verão de até 3°C em alguns locais. Essa soma de problemas relacionados à temperatura tende a incidir mais no hemisfério sul tendo em vista a maior quantidade de áreas urbanas em zonas tropicais e a falta de capacidade adaptativa.

---

<sup>1</sup> Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são uma agenda de desenvolvimento sustentável proposta pela ONU aos seus países membros em 2015 para os 15 anos seguintes. Também é conhecida como Agenda 2030 e é composta por 17 Objetivos.

Levando em consideração a tendência de aquecimento global e as elevadas temperaturas encontradas no município de Campos dos Goytacazes, já tendo registrado a temperatura de 41,6°C em alguns dias e tendo a média de temperaturas máximas acima de 32°C entre janeiro e março, se faz necessário que estratégias e tecnologias de mitigação e adaptação sejam buscadas, diminuindo os impactos causados pelas elevadas temperaturas. De acordo com Akbari et. al. (2016), é necessário que, entre outras medidas, as cidades desenvolvam – e atualizem periodicamente – bases de dados sobre uso e cobertura do solo, além de executar análises detalhadas para quantificar a energia e efeitos na qualidade do ar causados por medidas mitigadoras.

A partir dessas informações, o presente trabalho busca aplicar a metodologia de classificação do espaço urbano em Zonas Climáticas Locais (ZCL) a fim de contribuir para a produção e organização do conhecimento acerca da área urbana de Campos dos Goytacazes de forma que este sirva como subsídio para o planejamento urbano, com fins de mitigação da ICU e seus impactos na população. Primeiramente uma revisão de literatura será realizada para compreender métodos e técnicas relacionados as ZCL e a ICU para, em seguida, realizar a classificação em ZCL e a análise da área classificada junto da sobreposição de dados de temperatura de estudos anteriores.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

### **Estudo da Ilha de Calor Urbano para aplicação em Campos dos Goytacazes: Revisão Sistemática das Metodologias para Classificação da Área Urbana em Zonas Climáticas Locais**

*Study of Urban Heat Island for Application in Campos dos Goytacazes: Systematic Review of Methodologies for Classification of Urban Areas in Local Climate Zones*

Rílden Gomes Rodrigues - IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

A presença de materiais, como concreto e asfalto, e a falta de espaços verdes tende a aumentar a absorção da radiação solar e a quantidade de calor nas áreas urbanas, mantendo uma temperatura mais elevada do que a região ao seu entorno que se encontra pouco ou não urbanizada, causando o fenômeno climático conhecido como Ilhas de Calor Urbano (ICU). Um estudo, que realizou uma revisão sistemática da literatura acerca do dessas ICU, destacou que os estudos falhavam principalmente em comunicar a natureza física das superfícies ao entorno dos equipamentos que realizam a medição, o que levava a problemas na qualidade dos trabalhos e na comparação das ICU. A partir dessa crítica, as Zonas Climáticas Locais (ZCL) foram desenvolvidas como uma forma de classificar os espaços urbanos e rurais de forma mais específica, de acordo com as suas características, a fim de relatar e comparar os locais estudados e as observações de temperaturas no estudo de ICU. O objetivo deste artigo é compreender as metodologias empregadas na classificação da área urbana em ZCL ao realizar uma revisão sistemática dos artigos que avaliam a ICU com o uso das ZCL, o que irá direcionar o estudo da ICU em Campos dos Goytacazes. Um total de 264 artigos foram encontrados a partir do uso de palavras-chave na base de dados Web of Science, sendo que 79 foram selecionados para a análise a partir da aplicação de critérios de seleção. Desta forma, foram investigados os métodos e programas utilizados para classificar áreas em ZCL, além das técnicas e programas utilizados para analisar os dados meteorológicos nesses artigos. Os resultados encontrados possibilitam um direcionamento para a melhor forma de classificação das ZCL em função das demandas oriundas das características do espaço urbano e da disponibilidade de informações, além de orientar quanto a forma de obtenção e análise dos dados meteorológicos.

**Palavras-chave:** Planejamento Urbano. Mudanças Climáticas. Aquecimento Global. Sensoriamento Remoto.

## **ABSTRACT**

*The presence of materials, such as concrete and asphalt, and the lack of green spaces tend to increase the absorption of solar radiation and the amount of heat in urban areas, maintaining a higher temperature than the region around it, which is little or unurbanized, causing the climatic phenomenon known as Urban Heat Islands (UHI). One study, which carried out a systematic review of the literature on these UHI, highlighted that the studies mainly failed to communicate the physical nature of the surfaces surrounding the equipment that performs the measurement, which led to problems in the quality of the works and the comparison of the UHI. Based on this criticism, the Local Climate Zones (LCZ) were developed to classify urban and rural spaces more specifically, according to their characteristics, to report and compare the studied places and the observations of temperatures. in the UHI study. The objective of this article is to understand the methodologies used in the classification of urban areas in LCZ by carrying out a systematic review of articles that evaluate the UHI with the use of LCZ, which will guide the study of the UHI in Campos dos Goytacazes. A total of 264 articles were found using keywords in the Web of Science database, 79 of which were selected for analysis based on the application of selection criteria. In this way, the methods and programs used to classify areas in LCZ were investigated, in addition to the techniques and programs used to analyze the meteorological data in these articles. The results allow a direction for the best way of classifying the LCZ according to the demands arising from the characteristics of the urban space and the availability of information, in addition to providing guidance on obtaining and analyzing meteorological data.*

**Keywords:** *Urban planning. Global warming. Climate change. Remote sensing*

## 1. INTRODUÇÃO

As alterações que a humanidade gera no ambiente natural mudam os ecossistemas e, por consequência, os fluxos de matéria e energia existentes, criando uma dinâmica diferente da que existia anteriormente. A urbanização representa uma dessas alterações, onde asfalto e o concreto passam a dominar as superfícies, no lugar da cobertura natural. A presença desses materiais e a falta de espaços verdes tende a aumentar a absorção da radiação solar e a quantidade de calor nessas áreas, mantendo uma temperatura mais elevada do que a região ao seu entorno que se encontra pouco ou não urbanizada, causando o fenômeno climático conhecido como Ilha de Calor Urbano (ICU).

Além desse fenômeno, o intenso uso de energia para transporte, refrigeração, climatização, iluminação e processos industriais também são fontes antropogênicas de calor e geram emissões de gases que intensificam o efeito estufa e provocam o aquecimento global, que já é de 1°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2018). As causas e consequências desses fenômenos, que se estendem do microclima até o macroclima, se somam, dando a essa questão uma dimensão global, mas que é sentida com maior intensidade no ambiente urbanizado. Um exemplo desse aumento se encontra na zona norte de São Paulo, onde pode ser observado um aumento de 2°C na temperatura média em relação à 1961 (TAKAHASHI, 2020).

Cerca de 55% da população mundial vive em cidades e a expectativa da ONU é que essa proporção aumente para 70% até 2050 e para que essas pessoas possam viver em um ambiente mais favorável, se torna importante que as cidades implementem medidas que visem mitigar os fenômenos de aquecimento, sabendo que eles provocam uma série de impactos sobre a população urbana, aumentando o consumo de energia para climatização, resfriamento e a demanda de pico durante o verão, além de causar efeitos danosos à saúde da população, prejudicando o conforto térmico interno e externo, aumentando a concentração de poluentes na baixa atmosfera e, conseqüentemente, prejudicando a saúde (SANTAMOURIS, 2015b). Existe ainda um impacto econômico advindo da queda da produtividade, humana e agrícola, causado por temperaturas elevadas (DERYUGINA e HSIANG, 2014).

Campos dos Goytacazes é uma cidade que registra desconforto térmico causado pelas elevadas temperaturas, já tendo registrado 40°C (ALENCAR, 2019), sendo que é possível observar um incremento da temperatura em mais de 1°C ao se comparar as médias de temperatura registradas entre o período de 1931 a 1960 e o período de 1991 e 2020 (INMET, 2022). O aumento de temperatura já registrado e os cenários que apontam que irão continuar aumentando acabam por intensificar a

necessidade de compreender a dinâmica climática local que causa essas temperaturas elevadas bem como formas de planejar a construção do espaço urbano a fim de mitigá-las.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Ilhas de Calor Urbano (ICU)

Ilhas de calor são caracterizadas pela manifestação de temperaturas notavelmente elevadas nas áreas urbanas em relação às áreas rurais de seu entorno, como ilustra a Figura 1. São formadas em áreas urbanas e suburbanas devido à transformação de nossas cidades e é resultado da redução da vegetação e da evapotranspiração, da prevalência de superfícies impermeáveis e com baixo albedo, além da produção antropogênica de calor, como é possível observar na Figura 2 (MOHAJERANI, 2017).

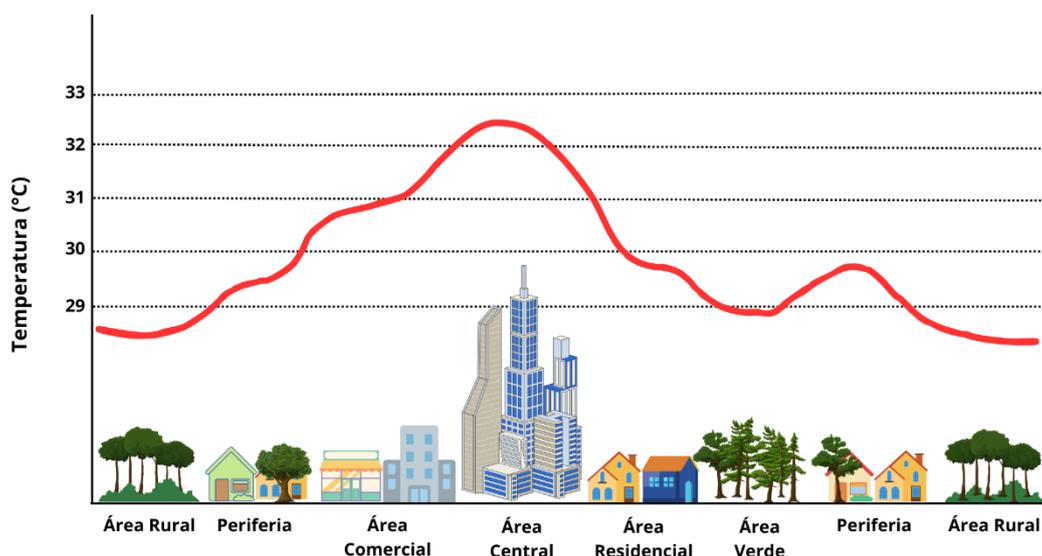


Figura 1 - Perfil da ilha de calor urbano (AZEVEDO et al., 2013)

Muitas cidades em todo o mundo experimentam a presença de ICU, sendo que sua intensidade depende fortemente das características urbanas, das condições sinóticas, das características meteorológicas locais, do tipo de materiais urbanos e da presença, ou falta, de áreas verdes. Além disso, o aquecimento e resfriamento artificiais de edifícios, transporte e processos industriais introduzem fontes antropogênicas de calor no ambiente urbano causando ilhas de calor distintas e até mesmo intensificadas (WILBY, 2007), com suas intensidades mostrando um aumento geral ao longo dos anos. A ICU está presente em qualquer latitude e pode ocorrer durante o dia ou noite em função do equilíbrio térmico local. Sua magnitude, ou intensidade, se dá pela diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural e apresenta um padrão de aumentar durante os

dias de ventos calmos e sem nuvens, embora seja altamente afetada pela brisa do mar e precipitação (SANTAMOURIS, 2015a).



Figura 2 - Fatores causadores da ICU. Fonte: Adaptado de Yamamoto (2006)

A ICU tem um sério impacto na qualidade da vida dos cidadãos urbanos, aumentando o consumo de energia para fins de resfriamento, aumentando o pico de eletricidade demandada durante o período de verão, deteriorando o conforto térmico externo e interno, aumentando a concentração de poluentes nocivos como o ozônio troposférico, e tendo um sério impacto nas condições de saúde da população urbana vulnerável (SANTAMOURIS, 2015b).

O conforto térmico é a condição da mente em que a satisfação é expressa com o ambiente térmico (ANSI/ASHRAE, 2004). Essa satisfação está diretamente ligada ao funcionamento do organismo humano que regula a temperatura corporal para cerca de 37°C (termorregulação corporal). Um indivíduo pode classificar-se confortável termicamente quando não ocorrem esforços para a termorregulação corporal tendo capacidade de trabalho máxima, caso as condições térmicas sejam calor ou frio o organismo ganha ou perde calor forçando a termorregulação o que faz o organismo trabalhar mais, gerando uma sobrecarga que por sua vez gera um desconforto térmico (FROTA e SCHIFFER, 1995).

No que se refere à saúde humana, Heaviside (2017) aponta que estudos têm mostrado maiores riscos à saúde em populações urbanas em comparação com populações rurais ou suburbanas em clima quente e um impacto desproporcional em grupos sociais mais vulneráveis e que as estimativas dos

impactos de várias técnicas de mitigação sugerem que uma série de medidas podem reduzir os impactos do calor na saúde e trazer outros benefícios para a saúde e o bem-estar.

A infraestrutura urbana também é vulnerável a eventos meteorológicos extremos que são causados devido à mudança do clima, dentre esses eventos estão as ondas de calor e chuvas extremas, que, a depender da localização geográfica no planeta, vão acontecer com maior frequência e intensidade. Eventos que causam a elevação da temperatura aumentam também a demanda por energia, que pode exceder a oferta e causar instabilidades e até mesmo queda no fornecimento de energia elétrica nas regiões afetadas, o que por sua vez leva a outras consequências negativas, tais como a perda de alimentos pela falta de refrigeração.

Gago (2013) aponta que o aumento do coeficiente de albedo, a geometria de cânions urbanos e a otimização do design/planejamento urbano podem aumentar entre 20 e 70% a economia de energia, sendo que cada uma dessas medidas possui um impacto específico. Em termos práticos, um projeto urbano ruim pode aumentar os impactos das mudanças climáticas, já que os edifícios que foram originalmente projetados para certas condições térmicas podem precisar operar em climas mais secos e quentes no futuro (WHO, 2008).

Sabendo dos efeitos causados pela ICU e da tendência de aumento global da temperatura e da ocorrência de ondas de calor, esforços têm sido feitos a fim de compreender o fenômeno de uma melhor forma. Não sendo possível avaliar a alteração climática desde a primeira presença dos seres humanos, a principal referência para se avaliar a interferência das cidades no clima urbano é a comparação com o entorno rural próximo, sendo a diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural denominada a intensidade da ICU, sua característica mais importante (AMORIM, 2019; OKE, 1978).

Amorim (2017) destaca três principais tipos de ICU, sendo elas a ilha de calor superficial, a ilha de calor atmosférica inferior (*urban canopy layer*) e a ilha de calor atmosférica urbana superior (*urban boundary layer*). Cada uma delas possuem especificidades em relação a ferramentas e técnicas de análise. Dentre esses tipos, podemos destacar a ilha de calor atmosférica inferior, que busca analisar a ilha de calor com base na temperatura do ar na faixa da atmosfera entre o solo e o nível médio dos telhados.

Lucena (2019) avalia 4 técnicas diferentes de análise (Quadro 1), dissertando que podem ser utilizadas de forma isolada ou complementar, e concorda com Amorim (2019) que o sensoriamento remoto e a modelagem permitem maior detalhamento das ICU no intraurbano e rural próximo, sendo que o primeiro autor aborda uma metrópole e o segundo aborda cidades de pequeno e médio porte.

Para a identificação de dados históricos e tendências do clima podem ser utilizadas a análise de série temporal a partir de dados presentes em estações meteorológicas padrão, que possuem até mesmo

dados de mais de um século e, junto de dados sobre mudanças no uso e cobertura do solo, podem auxiliar a compreender as mudanças locais e suas influências.

Transectos fixos e móveis permitem um melhor detalhamento do local a ser estudado tendo em vista que é realizada a medição da temperatura do ar a partir da escolha de locais e/ou trajetos que representem diferentes morfologias urbanas e, conseqüentemente, diferentes padrões de balanço energético que causam maior ou menor influência na temperatura do local.

Amorim (2017) destaca Amorim e Dubreuil (2017), que utilizaram sensores de temperatura do ar que registravam a temperatura do ar a cada 10 minutos e obtinham temperaturas médias, máximas e mínimas a cada hora. A partir desses dados com elevada resolução temporal, análises podem ser feitas dessas variações de temperatura e dos fatores que causam essas variações. Dados de diferentes estações do ano e condições meteorológicas podem ser estudados e comparados

<b>Técnicas</b>	<b>Aplicabilidade</b>
Análise de série temporal - Estação meteorológica padrão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudar tendências e apontar cenários do clima</li> </ul>
Transectos fixos e móveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar experimentação em áreas menores, como um bairro, que possuem diferentes usos do solo</li> </ul>
Sensoriamento remoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classificação do uso do solo urbano de acordo com a temperatura de superfície continental</li> <li>• Mapeamento espacial de uma grande área</li> </ul>
Modelagem numérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simular outros produtos além da temperatura</li> <li>• Mapeamento espacial de uma grande área</li> </ul>

*Quadro 1 - Técnicas para estudo das variáveis meteorológicas da ICU e suas respectivas aplicabilidades. Fonte: Montado pelo autor a partir de Lucena (2019)*

Stewart (2011), ao fazer uma análise sistemática da literatura de estudos sobre ICU, identificou fragilidades nos estudos, onde cerca de metade falhava no controle das medições para os efeitos do clima, do relevo ou do tempo, mas especialmente relacionados ao método, que muitas vezes falhavam em comunicar a precisão dos equipamentos e a natureza física das superfícies ao entorno desses equipamentos no momento da medição. A partir desses dados, Stewart (2011) trouxe recomendações para a melhoria da qualidade metodológica dos estudos de ICU e das estimativas da magnitude da ilha de calor urbana.

As pesquisas inicialmente buscavam entender o fenômeno das ilhas de calor e depois buscaram identificar mudanças potenciais na estrutura urbana buscando promover mudanças que afetariam o uso de energia em edifícios urbanos no verão (AKBARI, 1992). Hoje podemos ver o desenvolvimento de tecnologias e estratégias para mitigação do efeito da ICU, que levam a redução de consumo e gastos com energia, melhoria na qualidade do ar e contribuem no combate ao aquecimento global (Akbari *et al.*, 2016).

Mohajerani *et al.* (2017) destaca as propriedades térmicas do asfalto e do concreto como fator que contribui de forma expressiva na ICU, mas também que existem diversas medidas mitigadoras propostas na literatura, como é possível observar na figura 3, e que frequentemente a melhor estratégia é usar as medidas em conjunto. Diversos métodos têm sido investigados e mais estudos são necessários para garantir que a melhor solução possível seja encontrada, considerando que as condições variam em cada ambiente urbano, variando também suas demandas.

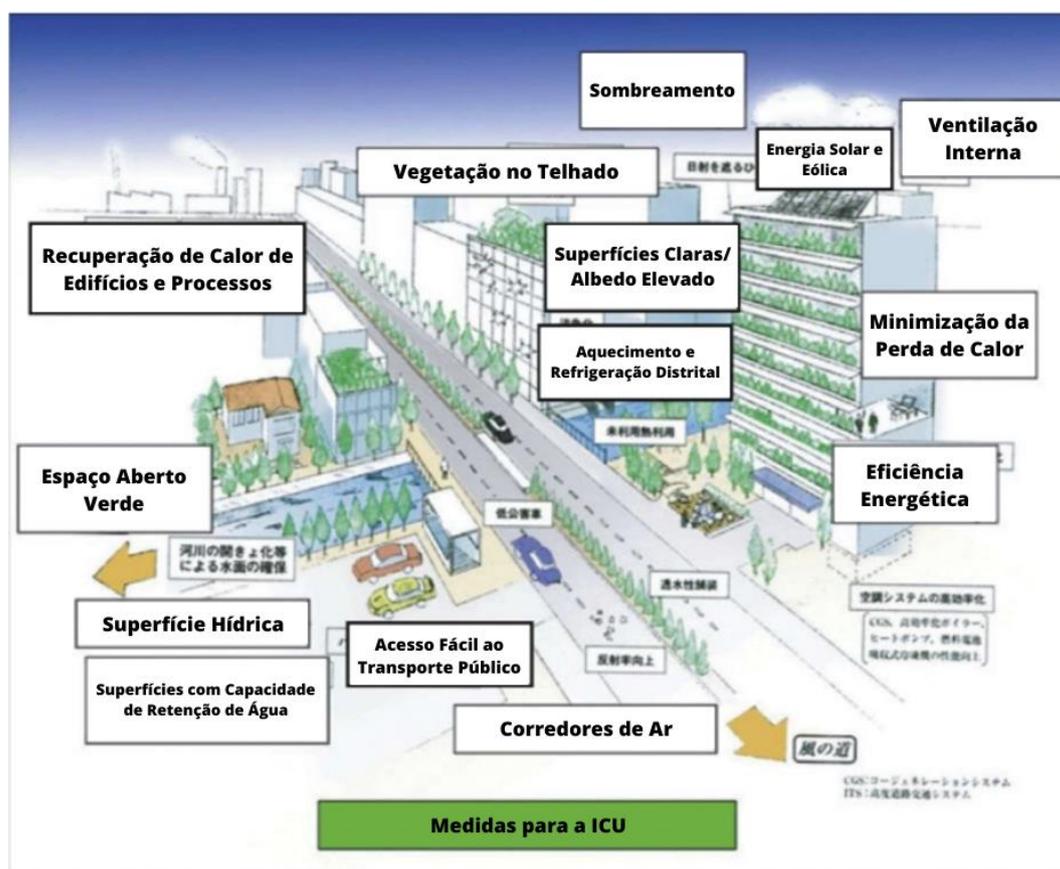


Figura 3 - Medidas mitigadoras da ICU. Fonte: Adaptado de Ichinose *et al.* (2008)

## 2.2. Zonas Climáticas Locais

A partir da identificação das lacunas em estudos anteriores, uma nova proposta metodológica foi apresentada por Stewart e Oke (2012), sendo denominada como Zonas Climáticas Locais (ZCL). Essa metodologia classifica as áreas urbanas e rurais de forma mais específica, considerando o padrão de construções e a cobertura do solo, existindo 10 padrões construtivos e 7 diferentes tipos de cobertura do solo a serem usados na classificação, com 4 propriedades de cobertura do solo que são variáveis e podem ser incorporados à classificação (Figura 4).

Essa metodologia promove uma padronização universal da classificação das áreas que serão analisadas em estudos de clima urbano em geral. No que se refere a ICU, ele promove uma mudança da do cálculo de sua magnitude, possibilitando não só a comparação entre o ambiente urbano e rural,

mas também a comparação entre todas as diferentes áreas disponíveis em sua classificação. Essas magnitudes encontradas, por sua vez, podem ser comparadas com magnitudes encontradas em outras cidades, sejam elas semelhantes ou diferentes em relevo, clima ou outros fatores. Esses atributos fazem com que as técnicas de análise sejam mais efetivas e que os estudos realizados sejam otimizados.



Figura 4 - Tipologia das Zonas Climáticas Locais. Fonte: Adaptado de WUDAPT (2022)

Apesar de facilitar o estudo da ICU, existe um desafio que foi criado pelas ZCL que se encontra na metodologia utilizada para classificar as áreas urbanas. Existe uma diversidade na morfologia

urbana ao redor do planeta e, apesar de Stewart e Oke (2012) já apresentarem uma metodologia, novas podem surgir para otimizar o processo de classificação das ZCL. Geletic *et al.* (2019) destaca 4 diferentes formas de classificar, sendo elas:

1. Manual – classificação manual, baseada em dados primários e secundário;
2. Baseada em SIG – classificação automatizada a partir de dados primários e secundários sobre o uso do solo;
3. Sensoriamento remoto – classificação automatizada a partir do uso de imagens aéreas ou de satélite junto de áreas de treinamento
4. Método combinado – classificação que une o método baseado em SIG e por sensoriamento remoto.

### 2.3 Campos dos Goytacazes

Campos dos Goytacazes é um município localizado no Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na Mesorregião do Norte Fluminense, à 234 quilômetros da capital. Sua população, conforme estimado pelo IBGE em 2021, é de 514643 pessoas, o que permite classificar como uma cidade de grande porte (acima de 500 mil habitantes). A densidade demográfica é de 115,16 hab/km<sup>2</sup>.

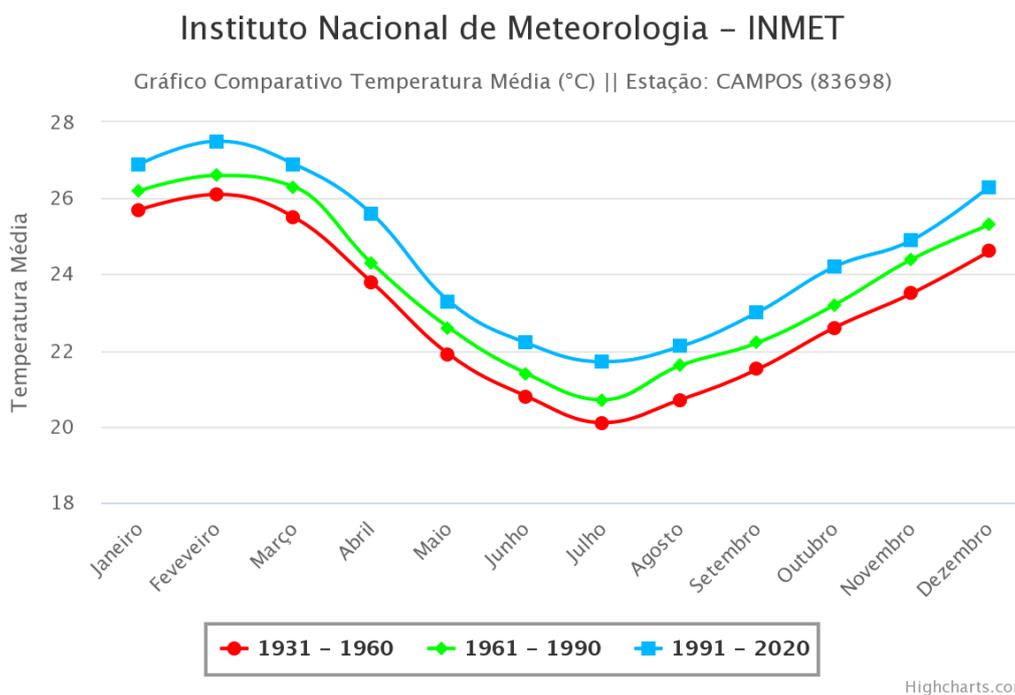
Campos dos Goytacazes possui 4032487 km<sup>2</sup> de área, está em 14m acima do nível do mar, no bioma Mata Atlântica, seu clima é tropical, tendo como padrão um volume maior de chuvas no verão em relação ao inverno, como é possível observar na figura 5. A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger e possui média anual de pluviosidade de 1112 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

A temperatura média anual em Campos dos Goytacazes, é de 23,6°C, a média das máximas, 29,7°C e a das mínimas, 19,0°C. Fevereiro é o mês mais quente, com máximas de 33,1°C e julho o mais frio, com mínimas de 15,2°C.

O município está dentre os que serão impactados pela implementação do Projeto de lei 1440/2019, que dispõe sobre a criação do Fundo de Desenvolvimento Econômico da Mesorregião Geográfica do Norte e Noroeste Fluminense como áreas de seminário. Esse projeto de lei visa lidar com a tendência de queda das médias pluviométricas e com o aumento das temperaturas na região.

O município de Itaperuna, que se situa a 106 Km de Campos dos Goytacazes, também será impactado pelo Projeto de lei. Xavier *et al.* (2000) analisou esse município e identificou que existem indícios de que o clima da região vem se tornando mais seco e mais quente, sendo classificado como clima Megatérmico Subúmido Seco, com precipitação insuficiente em todas as estações do ano. Observando os dados de Campos e comparando períodos de 30 anos, que se iniciam em 1931, 1961 e 1991 é possível observar um aumento das temperaturas na região bem como uma mudança no padrão

de precipitação acumulada, havendo uma redução da precipitação no intervalo mais recente, que se dá principalmente nos períodos de primavera e verão, que são os mais chuvosos.



*Figura 5 - Gráfico demonstrando a sazonalidade da temperatura média do ar em Campos dos Goytacazes.  
Fonte: INMET (2022)*

Amorim (2019) destaca a importância da realização de estudos em cidades de pequeno e médio porte, além dos realizados nas metrópoles, porque essas cidades possuem especificidades climáticas que devem ser consideradas, podem interferir além da escala local do clima e são habitadas por grande parte das pessoas tanto na escala nacional quanto na escala planetária, possuindo assim grande importância. Cardoso (2017), destaca estudos onde cidades desse porte apresentam um padrão diferente de aquecimento, onde bairros distantes do núcleo exibem temperaturas mais altas em razão de sua geometria.

Uma das particularidades da área urbana a ser estudada se encontra no fato de ser uma cidade plana, o que influencia algumas variáveis, tais como a quantidade de radiação solar recebida, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a direção do vento. Essas influências são importantes para formação da ICU, principalmente tendo em vista que Oke (1982) destaca que a velocidade do vento é a variável meteorológica mais significativa para a intensidade da ICU, seguida da cobertura de nuvens. O relevo plano faz com que existam poucas barreiras para o vento e, conseqüentemente, para a transferência de temperatura entre as diferentes áreas da cidade, bem como faz com que a radiação seja mais igualmente disposta. Outro fator importante é a proximidade com o mar, com a presença de um vento predominantemente advindo do sentido nordeste, o que confere um importante fator para trocas térmicas.

Já houve a investigação da ICU em Campos dos Goytacazes em dois estudos. Sales (2020) realizou a análise da temperatura da superfície através de sensoriamento remoto e realizou simulações no programa WRF (*Weather Research and Forecasting*), o que permitiu identificar uma ICU diurna que oferecia desconforto para a maioria dos habitantes e uma ICU noturna de fraca intensidade, sugerindo o aumento da densidade da vegetação como medida mitigatória, e permitiu também modelar diferentes cenários relacionados às configurações da cidade quanto a implementação ou não de medidas mitigadoras da ICU.

Beraldi (2020), através de uma pesquisa de percepção ambiental e da medição da temperatura do ar através de transectos móveis, identificou a desigualdade na arborização da cidade, os fatores que limitam o interesse dos habitantes em arborizarem seu entorno, uma ICU de média intensidade e um alinhamento entre a percepção dos habitantes e as temperaturas medidas. Foram destacadas a baixa percepção da população acerca da qualidade ambiental, especialmente nos bairros de menor poder aquisitivo, que também é onde existe uma menor distribuição de áreas verdes públicas.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1. Método

Foi realizada uma revisão sistemática de artigos que envolvem Ilhas de Calor Urbano e a metodologia de classificação de uso e cobertura da terra chamada de Zonas Climáticas Locais na escala da área urbana. A pesquisa foi realizada na base de pesquisa *Web of Science*, conforme é possível observar na Quadro 2.

<b>Base de Pesquisa</b>	<i>Web of Science</i>
<b>Termos de Pesquisa</b>	"urban heat island" AND ( lcz OR "local climate zones" )
<b>Filtro pelo Idioma</b>	Inglês e português
<b>Filtro pela área de pesquisa</b>	<i>Environmental Sciences Ecology, Meteorology Atmospheric Sciences, Urban Studies, Engineering</i>
<b>Critério de inclusão</b>	Aderência ao tema, acesso ao texto, artigo completo primário período de publicação entre 2013 e 2021

Quadro 2 – Termos de filtro epistemológico. Fonte: Elaboração própria

Os termos de pesquisa utilizados buscaram encontrar apenas publicações que envolvessem ICU e

ZCL em conjunto, sendo que o operador booleano “AND” foi utilizado para esse fim e o operador “OR” foi usado para encontrar as palavras e a sigla referente a ZCL na língua inglesa. No que se refere aos idiomas, o inglês foi utilizado por ser o principal idioma utilizado para publicações e o português permite encontrar publicações realizadas no Brasil. As áreas de pesquisa foram selecionadas em razão de sua aderência ao tema da pesquisa.

O recorte de tempo para a seleção dos artigos se deu em 2013 em razão da publicação de Stewart e Oke (2012), referência fundamental na pesquisa e para colocar um limite bem definido de tempo, em razão desta pesquisa estar sendo realizada no início de 2022. Através da seleção e leitura da metodologia desses artigos buscou-se investigar esse novo paradigma nos estudos de ICU em dois principais aspectos, que são relacionados ao método usado para a classificação das ZCL e ao método análise dos dados meteorológicos.

A quantidade de artigos encontrados a partir dos termos de pesquisa foi de 264 na plataforma Web of Science e foi reduzida até 79 após a aplicação de diferentes critérios de seleção.

<b>Crítérios de seleção</b>	<b>Total de artigos</b>
Termos de Pesquisa	264
Limitação entre 2013 e 2021	244
Idioma	243
Área de Pesquisa	187
Aderência ao tema e acesso ao texto	79

*Quadro 3 – Quantidade de artigos resultantes após a aplicação de cada um dos critérios de seleção. Fonte: Elaboração própria*

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Ao ser realizada uma análise na quantidade de publicações ao longo dos anos, é possível observar um aumento das publicações ao longo dos anos, o que corrobora com a relevância do método de classificação para estudos de ilha de calor e do clima urbano (Figura 6). Quase 90% de toda a produção se dedica aos continentes da Ásia e da Europa, com a China sendo o país que representa quase 40% de toda a produção (Figura 7). Quatro publicações tratam de cidades brasileiras, sendo duas em Aracaju-SE, uma em Franca-SP e outra em Londrina-SC.

### Publicações por ano

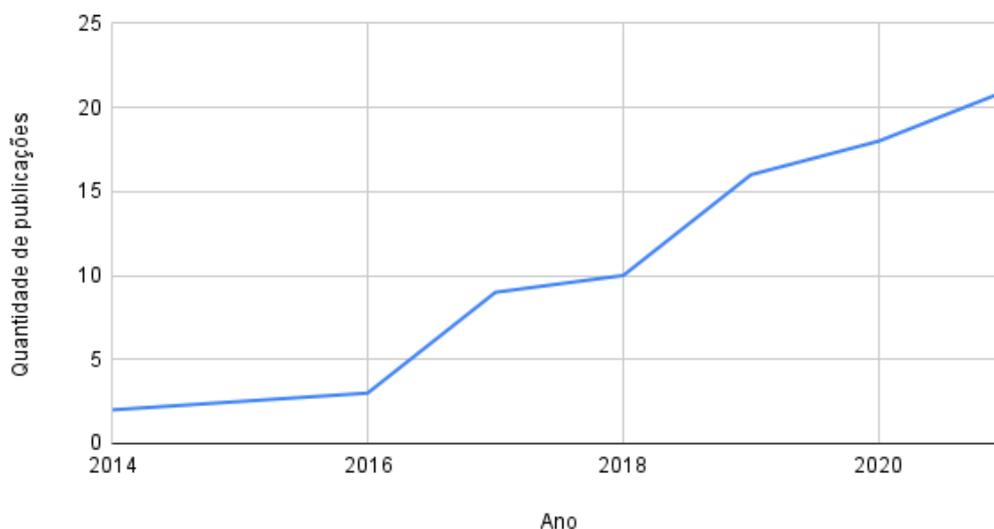


Figura 6 - Artigos que passaram no processo de pesquisa e sua quantidade de publicações por ano. Fonte: Elaboração própria

### Países onde os artigos foram produzidos

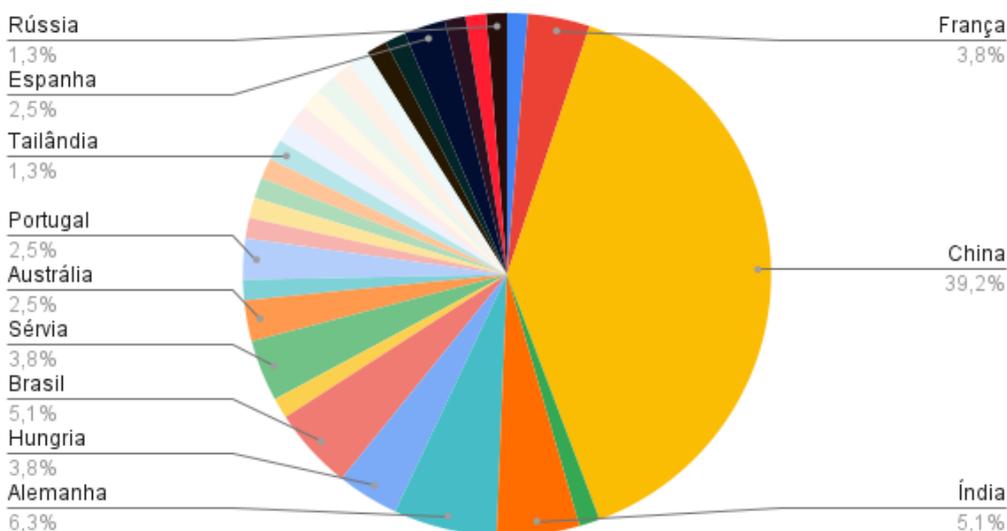


Figura 7 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por país. Fonte: Elaboração própria

No que se refere à classificação do uso do solo, é possível observar um predomínio no uso do método por sensoriamento remoto (Figura 8), com um total de 39 artigos ao incluir na contagem o artigo que também usou o método baseado em GIS a fim de comparar os dois métodos. A razão para o maior uso desse método recai sobre o fato de depender de uma menor quantidade de informações acerca do local a ser analisado, de utilizar informações facilmente disponíveis em plataformas como Google Earth e ao uso de programas abertos, tais como SAGA GIS e Google Earth. Outro fator que

se destaca esse método é a plataforma WUDAPT (*World Urban Database and Access Portal Tools*), que busca organizar a informação acerca da forma e da função das áreas urbanas relevantes para estudos ambientais e climáticos, sendo uma plataforma dedicada ao levantamento de informações através de colaboração coletiva.

O método baseado em SIG se destaca pela maior precisão no resultado da classificação, mas depende de muitos dados sobre o uso e cobertura do solo que muitas vezes não estão disponíveis, o que leva a existência do método combinado, que busca criar uma complementação entre os métodos para otimizar a classificação. O método manual continua a ser utilizado e possui novas metodologias, como a “*coarse to fine*” (grosseiro ao fino) de Kotharkar e Bagade (2018), e o método combinado, que junta os demais métodos a fim de produzir um resultado mais representativo na classificação, tendo em vista que pode haver falha na classificação de algumas configurações urbanas, tais como a altura dos edifícios.

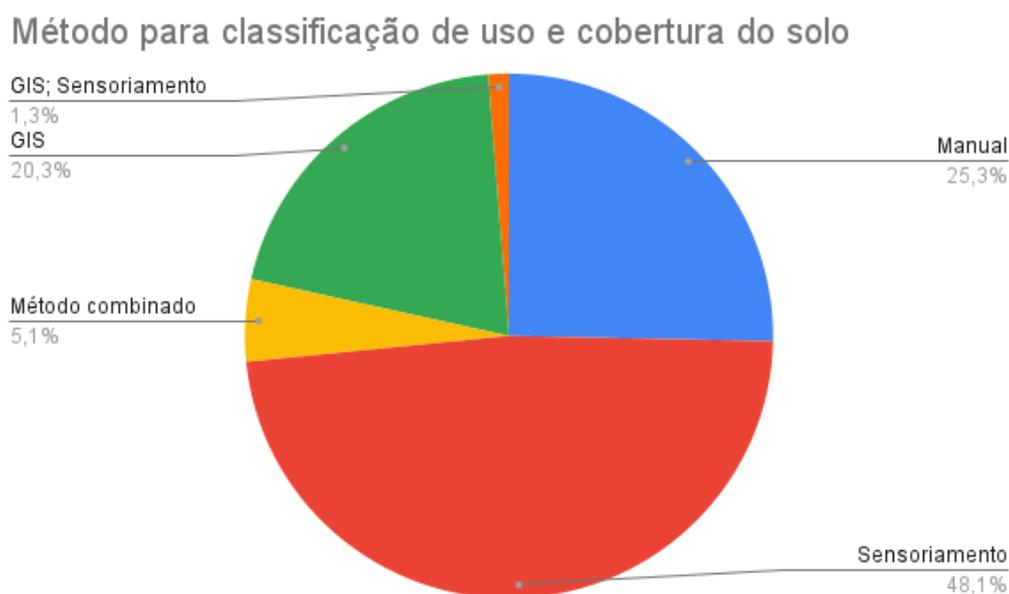


Figura 8 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por método de classificação. Fonte: Elaboração própria

Os programas mais utilizados para a classificação refletem o predomínio do método de sensoriamento remoto desenvolvido pela plataforma WUDAPT, que utiliza o Google Earth e o SAGA GIS o mapeamento das ZCL (Figura 9). Vale destacar que 22 publicações não informaram o programa utilizado para a classificação e o LCZ Generator que, mesmo sendo utilizado em apenas um artigo, se trata de uma nova versão do método do projeto WUDAPT e foi apresentado por Demuzere *et al.* (2021). Inicialmente, o método de classificação WUDAPT dependia, por parte da pessoa responsável pela classificação, da aquisição de imagens Landsat, da preparação das imagens no programa SAGA GIS e da classificação das áreas nesse mesmo programa. O LCZ Generator

eliminou esses passos, podendo se tornar importante na classificação em função da otimização do processo.

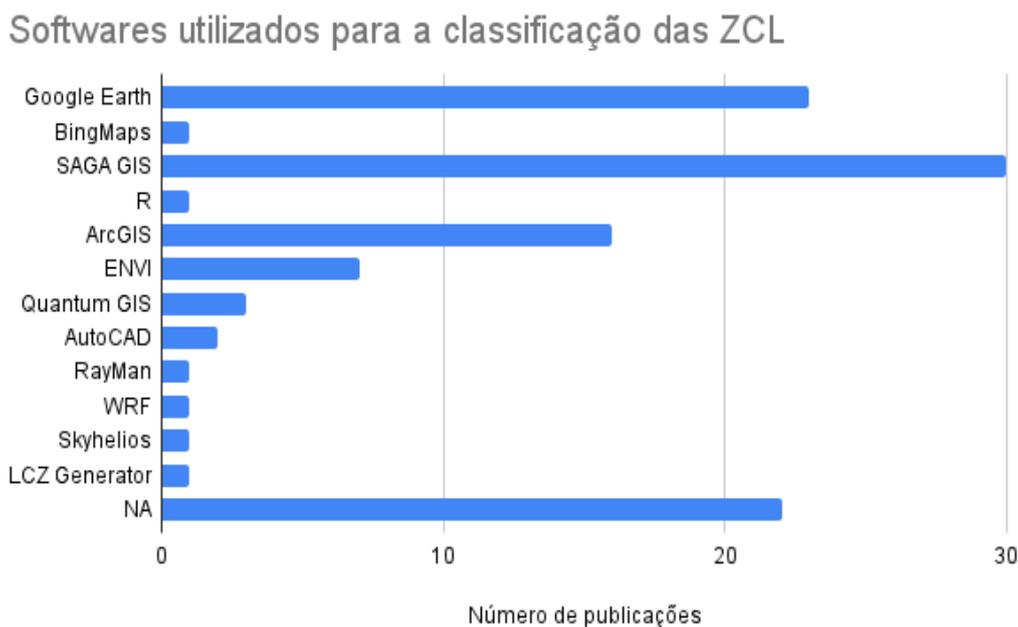


Figura 9 - Gráfico indicando os programas utilizados na classificação das ZCL e a quantidade de artigos que utiliza esses programas. Fonte: Elaboração própria

Outra observação importante está relacionada a análise dos dados meteorológicos, que, apesar das ZCL terem sido criadas para estudos da temperatura do ar da ICU, existe uma relevante participação do uso da temperatura de superfície através do sensoriamento remoto (Figura 10). Dois fatores podem ajudar a explicar tal fenômeno que seriam:

1. Facilidade de obtenção dos dados de temperatura com uma grande resolução espacial e temporal, diferentemente dos transectos fixos e móveis que dependem de uma grande rede de sensores e de dados históricos;
2. As restrições impostas pela pandemia à realização de idas à campo.

Os transectos fixos e/ou móveis ainda assim são os mais utilizados, ao considerar as diferentes combinações encontradas, e suas posições e trajetos podem ser melhor definidos de acordo com as ZCL existentes na área urbana. Isso facilita inclusive a implementação de redes permanentes de medição de dados meteorológicos na cidade, como realizado na Hungria por Skarbit *et al.* (2017). Os transectos fixos permitem uma excelente resolução temporal das temperaturas, podendo até ser num intervalo de poucos minutos, o que possibilita identificar como a ICU se desenvolve em diferentes horários do dia. Há que se destacar a modelagem em razão de que a metodologia de ZCL permite um melhor detalhamento urbano nas simulações, viabilizando um resultado mais correto das projeções realizadas, o que já pode ser realizado no programa WRF.

### Técnica de análise dos dados meteorológicos

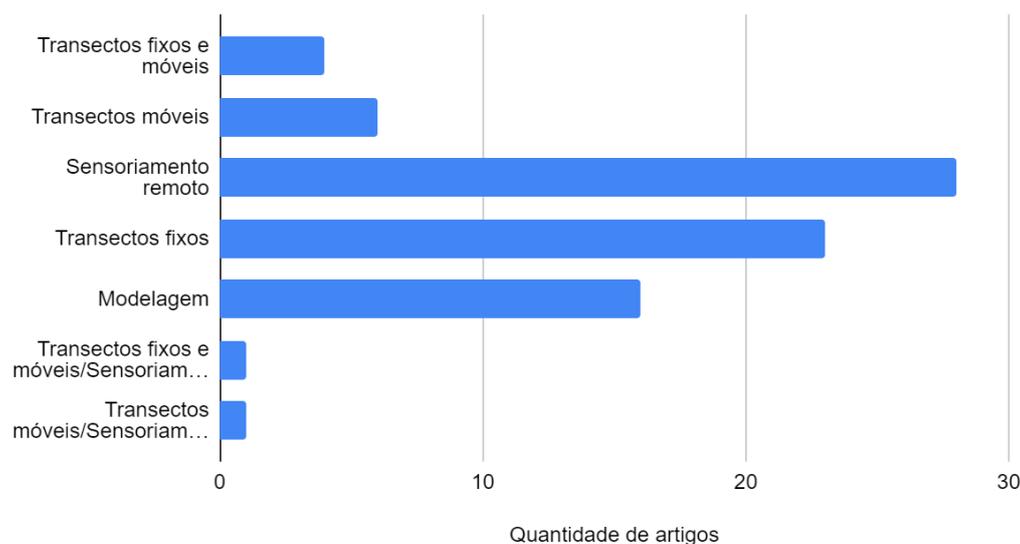


Figura 10 - Gráfico indicando as técnicas de análise utilizados e a quantidade de artigos que utiliza esses programas. Fonte: Elaboração própria

### Plataforma ou equipamento utilizado para medição da temperatura por sensoriamento remoto

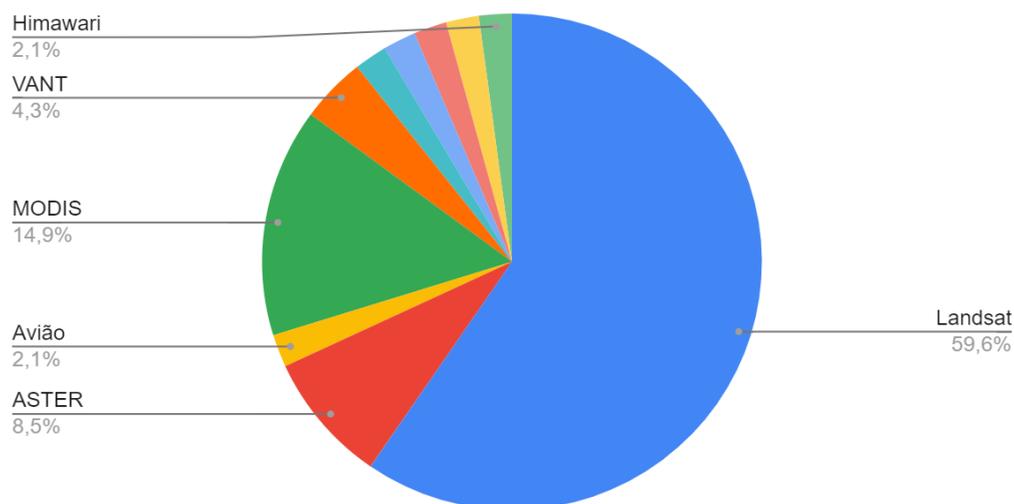


Figura 11 - Gráfico indicando as plataformas/equipamentos utilizados para obtenção da temperatura de superfície e a parcela de artigos que as utilizou. Fonte: Elaboração própria

A medição de temperatura da superfície utilizou principalmente o programa Landsat (Figura 11), utilizando principalmente o satélite 8, com um dos artigos utilizando também o 5 e o 7 a fim de obter um maior recorte de tempo. Após o Landsat podemos ver o MODIS e o ASTER sendo utilizados, com destaque para a obtenção de informações da temperatura da superfície a noite, o que não é disponível no Landsat, e é relevante tendo em vista que a intensidade da ICU tende a ser maior no início da noite.

Quanto aos programas utilizados para a análise dos dados, foi possível observar que 42 artigos não reportaram os programas e que existe uma grande diversidade de programas utilizados, como pode ser visto na Figura 12, variando em suas funções e especificidades no tratamento de dados de acordo com as demandas criadas pela metodologia utilizada no estudo.

Software utilizado para a análise dos dados meteorológicos

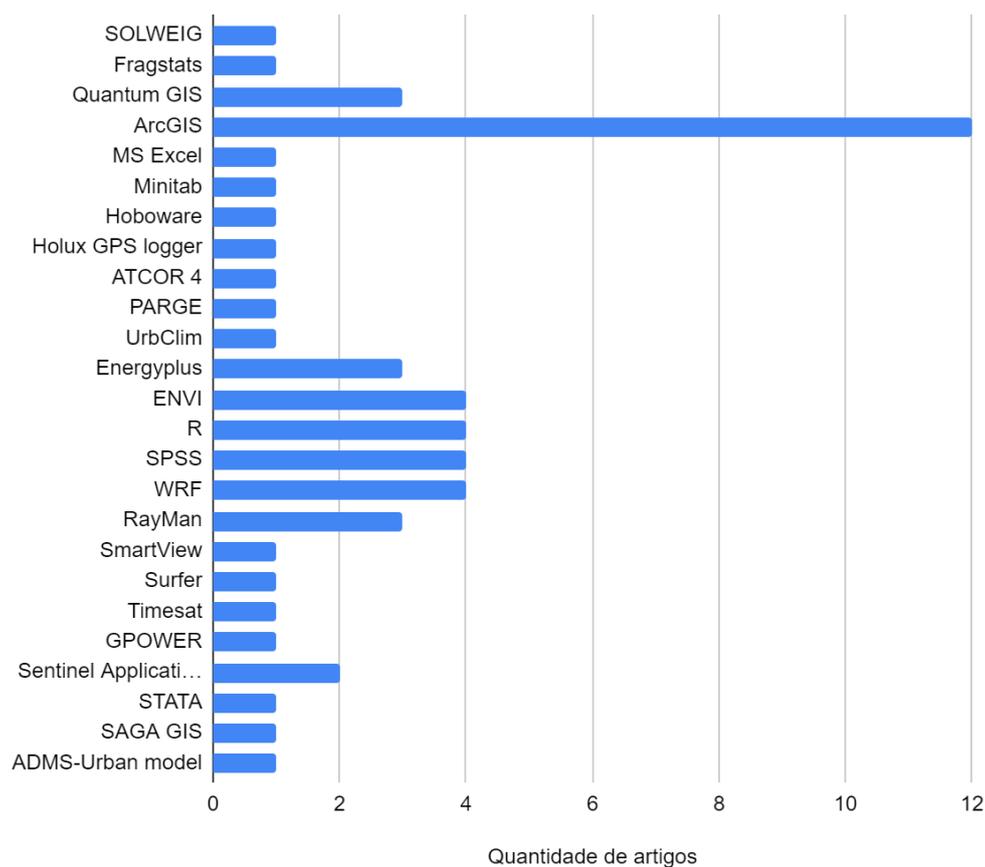


Figura 12 - Gráfico mostrando os programas utilizados para a análise dos dados meteorológicos e a quantidade de artigos que os utilizou. Fonte: Elaboração própria

Por fim, é importante destacar a percepção de uma continuidade nos estudos utilizando as ZCL, tendo em vista que artigos mais recentes possuem uma menor descrição do processo de classificação por utilizar dados de estudos anteriores para realizar novas análises nas ZCL já classificadas. Um exemplo é Beckmann (2021) que pesquisou sobre limiares de temperaturas dentro de apartamentos tomando como base a classificação de ZCL realizada por Beck (2018), que havia feito uma análise da temperatura do ar nas diferentes zonas.

## 5. CONCLUSÃO

Diante das metodologias analisadas, destacamos a relevância da implementação da classificação do município em Zonas Climáticas Locais, a fim de descrever com maior especificidade as características da diversidade de uso e cobertura do solo, e sua consequente influência na temperatura do ar, presente na área urbana do município de Campos dos Goytacazes. As ZCL têm se provado eficientes em refletir a influência das diferentes configurações do espaço urbano e rural, então se tornam um meio de refinar e complementar as investigações realizadas na ICU da cidade.

A existência de diferentes metodologias para a classificação colabora com as diferentes condições e realidades encontradas ao redor do planeta, facilitando a realização da classificação mesmo em uma realidade onde os dados sobre o uso e ocupação do solo não existem ou são escassos, como é o caso do método de classificação realizado por sensoriamento remoto. Esse método se destaca não só pelo aproveitamento de imagens e programas disponibilizados gratuitamente, como pelo fato de a maior parte dos estudos que utilizam esse método serem parte de um projeto que busca organizar a informação acerca das cidades ao redor do planeta.

No que se refere à obtenção e análise dos dados meteorológicos, se faz importante observar as limitações de tempo e de dados disponíveis. Sendo um estudo que possui outros Sales (2020) e Beraldi (2020) como referência, seria relevante uma medição da temperatura do ar (ilha de calor atmosférica inferior) ao longo de alguns dias a fim de conhecer o comportamento da temperatura ao longo de diferentes horários do dia, método que não foi utilizado por eles. O período de primavera e verão são os mais importantes em razão exibirem elevadas temperaturas, que por sua vez causam impactos econômicos e sociais negativos. Sabendo de padrões existentes, algumas tendências podem ser observadas e a partir do foco em dias representativos ou de uma análise da variação do comportamento dessa temperatura superficial ao longo dos anos nessas estações do ano, auxiliando próximas etapas desse e de demais estudos.

Uma das principais questões a serem respondidas por esse estudo é sobre como as temperaturas variam nas diferentes ZCL e quais são as principais influências para essas variações nessa cidade. Similaridades e diferenças em relação aos resultados encontrados anteriormente podem e devem ser discutidas a fim de que a investigação seja mais aprofundada e que lacunas do conhecimento sejam preenchidas, buscando também propor medidas mitigatórias da ICU em Campos dos Goytacazes. Então a análise comparativa dos dados permitirá identificar melhor os padrões existentes na cidade, o que possibilitará a elaboração de novas hipóteses e a elaboração de diferentes cenários para identificar as melhores soluções disponíveis na literatura para a adaptação da cidade à nova realidade climática através da mitigação do efeito da ICU.

Sendo assim, a análise das temperaturas por meio de transectos fixos e das características do entorno podem permitir uma compreensão da dinâmica dessa variável meteorológica com uma grande

resolução temporal, auxiliando a desvendar as causas da manifestação de temperaturas elevadas nessa área urbana e, conseqüentemente, formas de combater seus impactos negativos a população.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. **Cooling our communities: a guidebook on tree planting and light colored surfaces**. Lawrence Berkeley National Laboratory, Heat Island Group LBNL, USA. 245 p, 1992
- AKBARI, H *et al.* **Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art**. Journal of Civil Engineering and Management, v. 22, n. 1, p. 1-16, 2016.
- ALENCAR, C. S. e V. Campos bate 40°C e tem maior temperatura do ano. Folha1, 2019. Disponível em: < [https://www.folha1.com.br/\\_conteudo/2019/11/geral/1254511-campos-bate-40-c-e-tem-maior-temperatura-do-ano.html](https://www.folha1.com.br/_conteudo/2019/11/geral/1254511-campos-bate-40-c-e-tem-maior-temperatura-do-ano.html) >. Acesso em: 16 setembro 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.] p. 22-46, jun. 2019
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. **Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates**. Climate, v. 5, n. 4, p. 91, 2017.
- ANSI/ASHRAE. Standard 55—**Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE, Atlanta, 2004.
- AZEVEDO, T. S. *et al.* **Ilhas de calor e Aedes aegypti: um estudo preliminar para a cidade de Santa Bárbara d’Oeste, SP-BRA, utilizando sensoriamento remoto**. Geografia da Saúde: experiências do grupo de pesquisas sobre desastres (NUPED) da UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brasil. Herstellung: Novas Edições Acadêmicas, p. 19-33, 2013.
- BECK, C. *et al.* **Air temperature characteristics of local climate zones in the Augsburg urban area (Bavaria, southern Germany) under varying synoptic conditions**. Urban Climate, v. 25, p. 152-166, 2018.
- BECKMANN, S. K.; HIETE, M.; BECK, C. **Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments—Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany**. Climate Risk Management, v. 32, p. 100286, 2021.
- BERALDI, W.S. **Estudo da Conformação da Ilha de Calor e da Percepção Sensorial e Ambiental a Ela Relacionada no Município de Campos dos Goytacazes-RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.
- CARDOSO, R. D. S., DORIGON, L. P., TEIXEIRA, D. C. F., & AMORIM, M. C. D. C. T. **Assessment of urban heat islands in small-and mid-sized cities in Brazil**. Climate 5.1 (2017): 14.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2021. **Clima Campos dos Goytacazes: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Campos dos Goytacazes** - Climate-Data.org. Climate-data.org. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/campos-dos-goytacazes-4053/> >. Acesso em: 30 Apr. 2021.
- DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. **LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps**. Frontiers in Environmental Science, 2021.
- DERYUGINA, T.; HSIANG, S. M. **Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States**. National Bureau of Economic Research, 2014.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.
- GAGO, E. J., ROLDAN, J., PACHECO-TORRES, R., & ORDÓÑEZ, J. **The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects**. Renewable and sustainable energy reviews. v. 25, p. 749-758, 2013.
- GELETIČ, J., LEHNERT, M., SAVIĆ, S., & MILOŠEVIĆ, D. (2019). **Inter-/intra-zonal seasonal variability of the surface urban heat island based on local climate zones in three central European cities**. Building and Environment, v. 156, p. 21-32, 2019.
- HEAVISIDE, C.; MACINTYRE, H.; VARDOULAKIS, S. **The urban heat island: implications for health in a changing environment**. Current environmental health reports, v. 4, n. 3, p. 296-305, 2017.

HUANG, K., LI, X., LIU, X., & SETO, K. C. **Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050**. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 11, p. 114037, 2019.

ICHINOSE, T., MATSUMOTO, F., & KATAOKA, K. **Counteracting urban heat islands in Japan**. *Urban Energy Transition*. Elsevier, 2008. 365-380.

INMET. Gráficos Climatológicos. Disponível em: < <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 16 setembro 2022.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. 2018.

KOTHARKAR, R.; BAGADE, A. **Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city**. *Landscape and Urban Planning*, v. 169, p. 92-104, 2018.

LUCENA, A. **Uma análise de técnicas nos estudos de clima urbano para a região metropolitana do Rio de Janeiro**. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 34, e,40954, 2019

MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J; JEFFREY-BAILEY, T. **The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete**. *Journal of environmental management*, v. 197, p. 522-538, 2017.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. Routledge, 2002.

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

SALES, R.S.B. **Caracterização e Modelagem Microclimática da Ilha de Calor Urbana Utilizando Parâmetros Biofísicos em Campos dos Goytacazes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.

SANTAMOURIS, M. **Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions**. *Science of the Total Environment* 512–513: 582–598, 2015a.

SANTAMOURIS, M. **Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges**. *Energy and Buildings*, v. 91, p. 43-56, 2015b.

SKARBIT, N., STEWART, I. D., UNGER, J., & GÁL, T. **Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary**. *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 582-596, 2017.

STEWART, I. D. **A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature**. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 2, p. 200-217, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Local climate zones for urban temperature studies**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

TAKAHASHI *et al.* **Chuvas e secas em São Paulo estão mais intensas com aquecimento, mostram dados**. *Folha de S.Paulo*. 2020. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/03/chuvas-e-secas-em-sao-paulo-estao-mais-intensas-com-aquecimento-mostram-dados.shtml>>. Acesso em: 4 Dec. 2020.

The New York Times, 2018. **How Much Hotter Is Your Hometown Than When You Were Born?** Disponível em: <<https://www.nytimes.com/interactive/2018/08/30/climate/how-much-hotter-is-your-hometown.html>>. Acesso em: 30 Apr. 2021.

WHO, 2008. **Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health: Commission on Social Determinants of Health final report**. WHO COMMISSION ON SOCIAL DETERMINANTS OF HEALTH; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008.

WILBY, R. L. **A review of climate change impacts on the built environment.** Built environment, v. 33, n. 1, p. 31-45, 2007.

WUDAPT. **LCZ resources – World Urban Database.** Wudapt.org. 2022. Disponível em: <<https://www.wudapt.org/lcz-resources/>>. Acesso em: 5 maio 2022.

XAVIER, M. C. A.; PAIVA, C. M.; ALVES, G. S. **Classificação e índice de mudança climática em Itaperuna, RJ.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2000.

YAMAMOTO, Y. **Measures to mitigate urban heat islands.** NISTEP Science & Technology Foresight Center, 2006.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### **Classificação do perímetro urbano de Campos dos Goytacazes em Zonas Climáticas Locais: Padrões de uso da terra e da Ilha de Calor Urbano**

*Classification of the Urban Perimeter of Campos dos Goytacazes into Local Climate Zones: Land Use Patterns and Urban Heat Island*

Rílden Gomes Rodrigues - IF Fluminense/PPEA

#### **RESUMO**

As áreas urbanas do planeta, em razão da redução da cobertura vegetal, do aumento da presença de superfícies impermeáveis e das fontes de calor oriundas das atividades humanas, sofrem com o efeito da Ilha de Calor Urbano (ICU). O fenômeno é nomeado dessa forma em razão da mancha de calor presente em cidades que diferencia do entorno rural de temperaturas menores, sendo através do contraste dessas temperaturas que a intensidade do fenômeno é calculada. A partir da compreensão de que a morfologia e função de áreas urbanas e rurais variam de forma significativa, foi criado o paradigma das Zonas Climáticas Locais a fim de criar um sistema de classificação onde essas diferentes características pudessem ser contempladas, a fim de que os estudos de ICU pudessem melhorar qualitativamente. Campos dos Goytacazes já foi estudada no que diz respeito a ICU por meio de transectos móveis, sensoriamento remoto e modelagem numérica, mas ainda sob a ótica do paradigma anterior no que diz respeito a classificação do espaço urbano. A partir disso, o objetivo desse trabalho foi classificar o perímetro urbano central do município de Campos dos Goytacazes em ZCL através da plataforma LCZ Generator a fim de que o resultado obtido permita analisar a área e a ICU, através da sobreposição de dados de estudos anteriores. O resultado obtido da classificação foi o mapa do perímetro urbano central em ZCL que permitiu identificar um padrão composto apenas por zonas de baixa elevação com áreas densamente construídas na região central que se tornam esparsas ao se aproximar dos limites do perímetro, que é predominantemente constituído por zonas de vegetação rasteira. A sobreposição de dados de temperaturas de estudos anteriores ao mapa classificado permitiu observar que os padrões coincidem, validando o mapa como subsídio para estudos futuros e planejamento municipal. Sendo assim, medidas de mitigação e adaptação podem ser tomadas e outros estudos podem ser desenvolvidos a fim de contemplar zonas relevantes ainda não investigadas e de que outras análises possam ser feitas a partir do mapa classificado.

**Palavras-chave:** Planejamento Urbano. Mudanças Climáticas. Aquecimento Global. Sensoriamento Remoto

### **ABSTRACT**

*The urban areas of the planet, due to the reduction of vegetation cover, the increase in the presence of impermeable surfaces, and heat sources arising from human activities, suffer from the effect of the Urban Heat Island (UHI). The phenomenon is named in this way because of the heat spot present in cities that differs from the rural surroundings of lower temperatures, and through the contrast of these temperatures the intensity of the phenomenon is calculated. From the understanding that the morphology and function of urban and rural areas vary significantly, the paradigm of Local Climate Zones was created to provide a classification system where these different characteristics could be contemplated, so that studies of UHI could improve qualitatively. Campos dos Goytacazes has already been studied with regard to UHI through mobile transects, remote sensing and numerical modeling, but still under the perspective of the previous paradigm with regard to the classification of urban space. Knowing this, the objective of this work was to classify the central urban perimeter of the municipality of Campos dos Goytacazes in LCZ through the LCZ Generator platform so that the result obtained allows the analysis of the area and the UHI, through the overlapping of data from previous studies. The result obtained from the classification was the map of the central urban perimeter in LCZ, which allowed the identification of a pattern composed only of low-elevation zones with densely built up areas in the central region that become sparse when approaching the limits of the perimeter, which is predominantly constituted by undergrowth zones. The overlapping of temperature data from previous studies to the classified map allowed observing that the patterns coincide, validating the map as a subsidy for future studies and municipal planning. Therefore, mitigation and adaptation measures can be taken and other studies can be developed to contemplate relevant areas not yet investigated and that other analyses can be made from the classified map.*

**Keywords:** *Urban planning. Global warming. Climate change. Remote sensing.*

## 1. INTRODUÇÃO

A Ilha de Calor Urbano é um fenômeno que afeta a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população. Durante períodos de inverno e em regiões frias, eventualmente, pode auxiliar na manutenção do conforto térmico, mas em regiões tropicais esse fenômeno se torna um fator de preocupação, principalmente nas estações mais quentes. Essa é uma mudança climática em nível local, mas que também se soma ao aquecimento global antropogênico.

A forma e a função do espaço urbano são fatores importantes que influenciam na intensidade da ICU. A altura e arranjo das edificações, a proporção de área destinada à superfícies permeáveis, impermeáveis e áreas vegetadas, além do tipo das atividades humanas variam significativamente entre as cidades tornam um desafio a comparação entre diferentes áreas urbanas e até mesmo as diferentes áreas rurais.

Os estudos da ICU se concentravam na comparação da temperatura entre as áreas rurais e urbanas e acabavam tendo como fragilidade, entre outras coisas, a carência na comunicação da natureza física das superfícies no entorno dos equipamentos no momento da medição, o que tornava a comparação entre estudos mais complexa. Com a finalidade de melhorar a qualidade dos estudos de ICU, foi criada a estrutura de classificação de áreas urbanas e rurais denominada Zonas Climáticas Locais (ZCL), que tem sido cada vez mais utilizada uma vez que reflete de forma eficiente as características térmicas das 17 diferentes zonas existentes nesse sistema de classificação (RODRIGUES *et al.*, 2023).

O processo de georreferenciamento de uma área extensa em ZCL pode ser feito de forma manual, por sensoriamento remoto, por Sistemas de Informações Geográficas ou por um método que combina sensoriamento remoto e SIG (GELETIC *et al.* 2019). O método por sensoriamento remoto se destaca por utilizar imagens e programas gratuitos para realizar a classificação automatizada e por fazer parte de um projeto que busca organizar as informações acerca das cidades ao redor do planeta (RODRIGUES *et al.*, 2023).

O perímetro urbano central de Campos dos Goytacazes já foi objeto de estudo no que se refere a ICU, tendo Sales (2020) feito a análise por meio de sensoriamento remoto e da modelagem numérica e Beraldi (2020) e Teixeira e Leite (2018) feito a análise da temperatura por meio de transectos móveis. Esses estudos identificaram uma diferença de temperatura de até 2,3°C, o que indica uma ICU de média intensidade, mas que se torna um valor considerável tendo em vista que a cidade apresenta temperaturas elevadas e que impactam na qualidade de vida da população.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Ilhas de Calor Urbano (ICU)

Ilhas de calor são caracterizadas pela manifestação de temperaturas notavelmente elevadas nas áreas urbanas em relação às áreas rurais de seu entorno. São formadas em áreas urbanas e suburbanas devido à transformação de nossas cidades e é resultado da redução da vegetação e da evapotranspiração, da prevalência de superfícies impermeáveis e com baixo albedo, além da produção antropogênica de calor em equipamentos e processos das atividades humanas (MOHAJERANI, 2017).

Muitas cidades em todo o mundo experimentam a presença de ICU, sendo que sua intensidade depende fortemente das características urbanas, das condições sinóticas, das características meteorológicas locais, do tipo de materiais urbanos e da presença, ou falta, de áreas verdes. Além disso, o aquecimento e resfriamento artificiais de edifícios, transporte e processos industriais introduzem fontes antropogênicas de calor no ambiente urbano causando ilhas de calor distintas e até mesmo intensificadas (WILBY, 2007), com suas intensidades mostrando um aumento geral ao longo dos anos.

A ICU está presente em qualquer latitude e pode ocorrer durante o dia ou noite em função do equilíbrio térmico local. Sua magnitude, ou intensidade, se dá pela diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural e apresenta um padrão de aumentar durante os dias de ventos calmos e sem nuvens, embora seja altamente afetada pela brisa do mar e precipitação (SANTAMOURIS, 2015).

Arnfield (2003) destaca algumas generalizações sobre a ICU a partir da análise de estudos publicados em duas décadas, sendo estas:

- A intensidade UHI diminui com o aumento da velocidade do vento
- A intensidade UHI diminui com o aumento da cobertura de nuvens
- A intensidade de UHI é maior durante condições anticiclônicas
- A intensidade UHI é mais acentuada no verão ou na metade quente do ano
- A intensidade da UHI tende a aumentar com o aumento do tamanho da cidade e/ou da população
- A intensidade UHI é maior à noite
- UHI pode desaparecer durante o dia ou a cidade pode ser mais fria que os arredores rurais
- As taxas de aquecimento e resfriamento são maiores no campo do que na cidade

Esses padrões encontrados abrangem uma diversidade de locais do planeta, com suas diferentes configurações climáticas, de relevo e de padrões do uso da terra. No entanto, a ICU é um fenômeno

local, devido a transformação de áreas naturais em áreas urbanas, que geram uma dinâmica diferente no microclima. Oke (1982) destaca 5 principais causas da ICU sendo elas:

1. Maior absorção de radiação solar devido a múltiplas reflexões e radiações, aprisionamento através da construção de muros e superfícies verticais na cidade.
2. Maior retenção de radiação infravermelha em cânions de rua devido à visão restrita do hemisfério do céu radiativamente “frio”.
3. Maior absorção e liberação retardada de calor por edifícios e superfícies pavimentadas na cidade.
4. A maior parte da radiação solar absorvida na superfície é convertida em formas de calor sensível em vez de latente.
5. Maior liberação de calor sensível e latente da combustão de combustíveis para transporte urbano, processamento industrial e aquecimento/resfriamento de ambientes domésticos.

Desta forma, é possível destacar que a maior absorção do calor não se deve apenas a falta de arborização e às superfícies urbanas, mas também à interação entre as superfícies horizontais e verticais tanto para transferir a radiação incidente como para refletir e reter o calor que foi armazenado na estrutura, o que retarda ainda mais a perda do calor, que possui uma liberação lenta em materiais como concreto e asfalto. Além disso, a impermeabilização das superfícies e a produção antropogênica de calor resultam em maior produção de calor sensível, que é a quantidade de calor que gera apenas variações de temperatura, enquanto o calor latente resulta na mudança de estado físico de uma substância na troca de calor.

A impermeabilização reduz a retenção de umidade e, conseqüentemente, reduz também a conversão da radiação solar em calor latente, resultando apenas na elevação de temperatura e contribuindo para uma maior intensidade da ICU. Junto a isso, zonas urbanas centrais e zonas industriais tendem a possuir uma maior quantidade de equipamentos tais como motores, climatizadores e refrigeradores que liberam calor como um subproduto que, por ser oriundo da atividade humana, é denominado calor antropogênico.

O aquecimento urbano tem sido muitas vezes associado ao aquecimento global, muito embora os dois sejam de escalas e natureza diferentes. Entretanto, a acumulação dos efeitos térmicos, as diferentes escalas ocasionam efeitos graves nas áreas urbanas (LOMBARDO, 2009). Algumas soluções podem ajudar a combater ambos, como é o caso da arborização, mas as abordagens se diferenciam em forma e escala.

Gago *et al.* (2013) destaca que medidas para combater a ICU dependem de uma vasta gama de fatores, enfatizando que edifícios, áreas verdes e pavimentos são três elementos que tem grande impacto na variação da temperatura na cidade em uma escala local e que a distribuição de edifícios e infraestruturas urbanas afetam a ICU, tendo em vista que esse padrão determina como ocorrerá a absorção da radiação solar e a formação de fluxos de ar. Desta forma, estratégias de planejamento urbano permitem que o desenvolvimento das áreas urbanas mitigue a ICU.

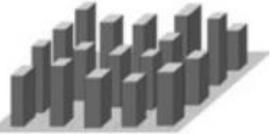
Gago *et al.* (2013) então aponta ainda que o aumento do coeficiente de albedo, a geometria de cânions urbanos e a otimização do design/planejamento urbano podem aumentar entre 20 e 70% a economia de energia, sendo que cada uma dessas medidas possui um impacto específico. Em termos práticos, um projeto urbano ruim pode aumentar os impactos das mudanças climáticas.

Além do efeito sobre o conforto térmico e a saúde da população, a infraestrutura urbana também é vulnerável a eventos meteorológicos extremos que são causados devido à mudança do clima, dentre esses eventos estão as ondas de calor, que, dependendo da localização no planeta, vão acontecer com maior frequência e intensidade. Eventos que causam a elevação da temperatura aumentam também a demanda por energia, que pode exceder a oferta e causar instabilidades e até mesmo queda no fornecimento de energia elétrica nas regiões afetadas, o que por sua vez leva a outras consequências negativas, tais como a perda de alimentos pela falta de refrigeração.

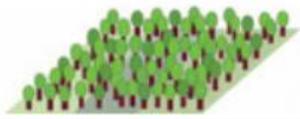
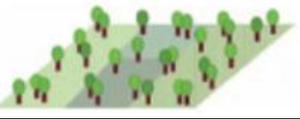
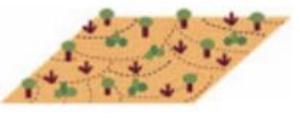
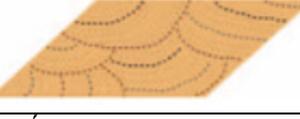
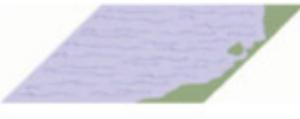
Sabendo dos efeitos causados pela ICU, da tendência de aumento global da temperatura e da ocorrência de ondas de calor, esforços têm sido feitos a fim de compreender o fenômeno de uma melhor forma. Não sendo possível avaliar a alteração climática desde a primeira presença dos seres humanos, a principal referência para se avaliar a interferência das cidades no clima urbano é a comparação com o entorno rural próximo, sendo a diferença entre temperaturas máximas e mínimas dentro da área urbana avaliada denominada a intensidade da ICU, sua característica mais importante. Anteriormente os estudos comparavam as temperaturas máximas e mínimas de áreas urbanas e rurais, respectivamente, mas novos métodos, tais como Wang e Ouyang (2016) e Stewart e Oke (2012), têm criado segmentado do espaço urbano em zonas de acordo com a forma e a função, o que permite a comparação entre diferentes zonas, sejam elas bem semelhantes ou distintas.

### **2.1.1. Zonas Climáticas Locais**

A grande questão relacionada a ICU é que as condições não são idênticas em todos os ambientes urbanos. Cidades ao redor do mundo possuem diferenças significativas, e as soluções devem ser encontradas a fim de alcançar e exceder as necessidades de cada área urbana ao redor do globo (MOHAJERANI, 2017). A tipologia de classificação do espaço urbano denominada Zonas Climáticas Locais (ZCL) permite categorizar as áreas de acordo com as características que influenciam a ICU.

Tipos de Construção	Descrição
1. Edifícios altos compactos 	Mix denso se edifícios altos com dezenas de andares. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção são concreto, aço, pedra e vidro.
2. Edifícios médios compactos 	Mix denso se edifícios médios (3 a 9 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção são pedra, tijolo, azulejo e concreto.
3. Edifícios baixos compactos 	Mix denso se edifícios médios (1 a 3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção são pedra, tijolo, azulejo e concreto.
4. Edifícios altos espaçados 	Arranjo espaçado de edifícios altos com dezenas de andares. Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores). Materiais de construção são concreto, aço, pedra e vidro.
5. Edifícios médios espaçados 	Arranjo espaçado de edifícios médios (3 a 9 andares). Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores). Materiais de construção são Concreto, aço, pedra e vidro.
6. Edifícios baixos espaçados 	Arranjo espaçado de edifícios baixos (1 a 3 andares). Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores). Materiais de construção são concreto, aço, pedra e vidro.
7. Edifícios baixos leves 	Mix denso de edifícios com um único andar. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente compactada. Materiais de construção leves (madeira, palha, chapas de metal.
8. Edifícios baixos grandes 	Arranjo espaçado de edifícios baixos grandes (1 a 3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção são aço, concreto, metal e pedra.
9. Edifícios dispersos 	Arranjo disperso de edifícios pequenos e médios em um cenário natural. Abundância cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
10. Indústria pesada 	Estruturas industriais baixas e médias (torres, depósitos, pilhas). Poucas ou nenhuma árvore. Materiais de construção são metais, aço e concreto.

Quadro 1 – Tipos de construção da tipologia das Zonas Climáticas Locais. Fonte: Adaptado de WUDAPT (2023)

<b>Tipos de Cobertura do Solo</b>	<b>Descrição</b>
<p>A. Arborização densa</p> 	<p>Paisagem densamente arborizada com árvores decíduas ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). Função da zona é de floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>B. Arborização dispersa</p> 	<p>Paisagem levemente arborizada com árvores decíduas ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). Função da zona é de floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</p>
<p>C. Arbustos, moitas</p> 	<p>Arranjo espaçado de arbustos, moitas e árvores lenhosas baixas. Cobertura do solo principalmente permeável (solo exposto ou areia). Função da zona é de arbústea natural ou agricultura.</p>
<p>D. Plantas baixas</p> 	<p>Paisagem homogênea de relva ou plantas/cultivos herbáceos. Poucas ou nenhuma árvore. Função da zona é de pradaria natural, agricultura ou parque urbano.</p>
<p>E. Rocha nua ou pavimentação</p> 	<p>Paisagem homogênea de pedra ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. Função da zona é de deserto natural (pedra) ou transporte urbano.</p>
<p>F. Solo exposto ou areia</p> 	<p>Paisagem homogênea de solo exposto ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. Função da zona é de deserto natural ou agricultura.</p>
<p>G. Água</p> 	<p>Corpos hídricos grandes e amplos, como mares e lagos, ou pequenos, como rios, reservatórios e lagoas</p>

*Quadro 2 – Tipos de cobertura do solo da tipologia das Zonas Climáticas Locais. Fonte: Adaptado de WUDAPT (2023)*

Essa metodologia classifica as áreas urbanas e rurais de forma mais específica, considerando o padrão de construções e a cobertura do solo, existindo 10 padrões construtivos e 7 diferentes tipos de cobertura do solo a ser usados na classificação, com 4 propriedades de cobertura do solo que são variáveis e podem ser incorporados à classificação (Quadros 1 e 2). Esse tipo de normalização garante que esses atributos sejam controlados e que a comparação entre estudos se torne mais viável, considerando as grandes variações existentes entre as áreas urbanas distribuídas pelo planeta.

A documentação dos dados dos locais para fins de comparação entre diferentes áreas foi o primeiro objetivo da criação dessa tipologia, sendo o segundo objetivo a provisão de um protocolo

objetivo para medir a intensidade da ICU em qualquer cidade (STEWART e OKE, 2012). Esse segundo objetivo é importante tendo em vista que, por mais que os atributos que influenciam a ICU sejam conhecidos e medidos, a influência de cada um pode variar e outros fatores desconhecidos podem interferir na variação da temperatura dentro do ambiente urbano. Pinton (2021) e Stewart (2014) corroboram para a potencialidade do sistema em promover a generalização das informações a partir da comparação entre as intensidades da ICU medidas entre zonas de mesma classificação, mas em cidades de diferentes lugares do planeta

A medição de temperatura para a realização de estudos é importante para o esforço científico de compreender a variação de temperaturas entre as diferentes ZCL de diferentes áreas urbanas, mas é importante também destacar a importância para cada cidade, tendo em vista que a medições e o monitoramento são passos importantes para, inicialmente, compreender a realidade atual das localidades e, posteriormente, acompanhar o impacto de medidas implementadas para mitigar o efeito da ICU.

O monitoramento de informações para direcionar a tomada de decisão sobre problemas urbanos é uma das questões centrais dentro dos conceitos de cidades inteligentes<sup>2</sup> e de cidades responsivas. Este último conceito se difere do conceito de cidades inteligentes tendo em vista que procura dar mais ênfase ao compartilhamento de dados para a participação da população na tomada de decisão. O Acordo de Escazú se soma a esses conceitos, tendo em vista que se apresenta como um marco na promoção dos direitos de acesso à informação, à participação e à justiça em questões ambientais. O acordo recomenda que os governos implementem ações como (VICK, 2023):

1. Criar sistemas de informações ambientais atualizados;
2. Promover consultas públicas sobre políticas ambientais;
3. Promover assistência jurídica gratuita para grupos vulneráveis;
4. Prevenir, investigar e punir ataques a defensores ambientais;
5. Promover a educação e a conscientização ambiental;
6. Formar e capacitar agentes públicos sobre questões ambientais.

Ainda que o Brasil figure como um de seus signatários, o tratado ainda não ratificado no Congresso Nacional, mas se apresenta como uma tendência regulatória para a promoção de tais direitos

---

<sup>2</sup> São cidades comprometidas com o desenvolvimento urbano e a transformação digital sustentáveis, em seus aspectos econômico, ambiental e sociocultural, que atuam de forma planejada, inovadora, inclusiva e em rede, promovem o letramento digital, a governança e a gestão colaborativas e utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos, criar oportunidades, oferecer serviços com eficiência, reduzir desigualdades, aumentar a resiliência e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação.

que pode incentivar uma adoção antecipada de tais medidas da parte de algumas instituições públicas e privadas.

Ainda que existam dados para orientar, a escolha e implementação das soluções para mitigar os efeitos da ICU é um desafio por serem diversas tendo em vista que existe uma grande variedade de demandas no espaço urbano que podem entrar em conflito. Oke (1988) destaca que a essência do planejamento e do design envolve escolher alternativas e que isso envolve questões sociais e econômicas diversas, que tornam a tarefa difícil.

Tais desafios podem ser exemplificados por conflitos existentes causados por movimentos como o NIMBY<sup>3</sup>, que é composto por pessoas que resistem a mudanças a serem implementadas nas proximidades de onde vivem. Essa resistência pode ser gerada tanto pelo conhecimento do possível impacto de um grande empreendimento na região, tais como usinas de geração de energia, quanto pelo receio sem fundamento de que uma medida a ser implementada possa trazer prejuízos à população afetada pelas consequências das alterações feitas.

### **2.1.2. LCZ Generator**

O projeto WUDAPT (*World Urban Database and Access Portal Tools*) é uma iniciativa baseada em comunidade que busca de obter um censo de cidades ao redor do planeta. Além de buscar adquirir e fornecer informações de forma e funções da morfologia urbana que são relevantes para estudos climáticos e ambientais, o projeto também busca fornecer um portal com ferramentas para extrair parâmetros urbanos relevantes e propriedades para estudos climáticos e ambientais (WUDAPT, 2023).

Um dos produtos desse projeto é a plataforma online LCZ Generator, que mapeia a cidade de interesse em ZCL, solicitando apenas um arquivo válido de áreas de treinamento e alguns metadados como entrada. O procedimento completo de submissão de informações, processamento e obtenção de resultados estão descritos na Figura 1.

O processo de classificação é realizado na plataforma Google Earth Engine, em razão de hospedar os 34 recursos de entrada de imagens de satélite pré-processados (GORELICK *et al.* 2017). Essas imagens combinadas com as áreas de treinamento são alimentadas em um classificador florestal aleatório para mapear a área de interesse em ZCL. A fim de avaliar a qualidade do processo de classificação é repetido 25 vezes, cada vez com amostragem aleatória da proporção de 70% das amostras para treino e 30% para testagem.

---

<sup>3</sup> Not In My Backyard (“No meu quintal, não”, em português)

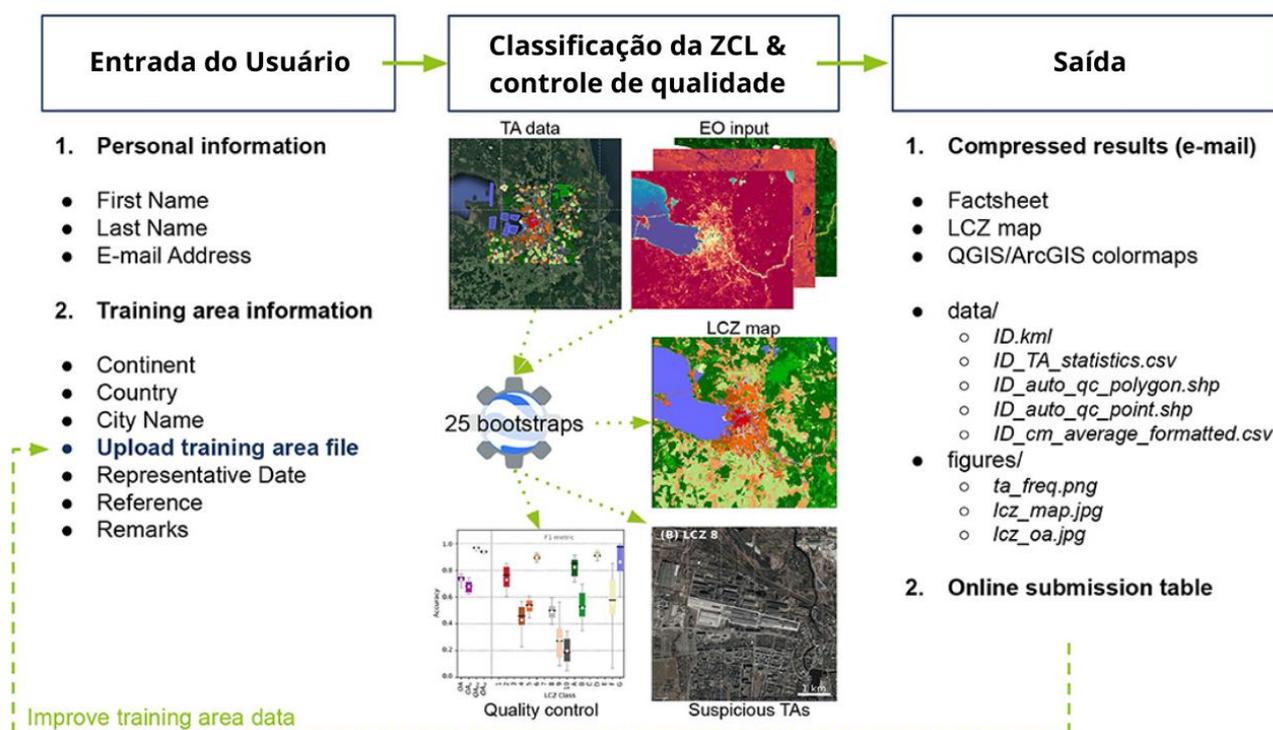


Figura 1 - Fluxograma do procedimento de classificação do LCZ Generator. Fonte: Adaptado de WUDAPT (2023)

## 2.2. Desigualdades e ICU

No que se refere aos estudos do efeito da ICU, Stewart (2011) destaca que a Europa e a América do Norte estão super-representadas, enquanto o Norte da África, o Sudoeste Asiático, a América do Sul e a América Central estão todos sub-representados. Essa é uma realidade que faz com que, nesses locais, esse fenômeno possua características distintas que ainda não foram pesquisadas a fundo e, dessa forma, também dificulta a investigação de soluções.

Essa é uma questão que se destaca ainda em razão da diferença representar, em geral, a mesma divisão entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos, sendo que estes últimos se localizam em sua maioria na zona tropical e devem sofrer mais constantemente com a elevação das temperaturas causadas pelo aquecimento global antropogênico. Isso ocorre apesar de não figurarem entre os países que mais emitiram gases de efeito estufa ao longo do tempo e essa desigualdade entre os países mais responsáveis pelas causas e que mais sofrem as consequências não se restringe ao calor, mas também a outros efeitos da mudança do clima (GORE, 2020).

No que se refere ao aquecimento global, mesmo locais em zonas temperadas ou até mesmo polares podem sofrer impacto em razão das temperaturas, tendo em vista que a infraestrutura e o ecossistema não estão adaptados a essa nova realidade, como é possível observar durante ondas de calor que ocorrem na Europa e até mesmo de incêndios florestais em áreas do Ártico. Isso é sentido em áreas urbanas devido ao impacto na morbidade e mortalidade, mas não se restringe a saúde humana,

tendo em vista que até serviços podem ser interrompidos como foi o caso da onda de calor no Reino Unido no verão de 2022, onde os trens não puderam operar por conta da dilatação dos trilhos e os servidores da Google e da Oracle pararam de operar por falhas no resfriamento.

Lombardo (2009) aponta que o clima urbano, além de apresentar alterações dos elementos climáticos, pode ser considerado um indicador das alterações da qualidade ambiental e de vida. O desenho da ilha de calor sinaliza o contexto do espaço urbano fragmentado e articulado, e indiretamente representa uma expressão espacial dos processos sociais que ocorrem na área urbana

Amorim (2020) destaca que grupos sociais que habitam as áreas urbanas sofrem de maneira diferenciada as consequências que as ICU e Cardoso (2017) salienta que os habitantes nem sempre podem contrabalançar as condições mais quentes nas cidades e isso os torna cada vez mais vulneráveis às ondas de calor ou outras condições extremas. Sendo assim, esse se torna mais um fator que atua na manutenção das desigualdades ao impactar a saúde dessa população e até mesmo os gastos com energia para a manutenção do conforto térmico.

Desta forma, estudos em cidades em zonas tropicais se tornam relevantes a fim de que suas características climáticas e urbanas sejam devidamente consideradas e que as soluções existentes possam ser adaptadas a essa realidade, bem como novas soluções possam ser desenvolvidas ao considerar esses atributos distintos.

### **2.3. Campos dos Goytacazes**

Campos dos Goytacazes é um município localizado no Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na Mesorregião do Norte Fluminense, à 234 quilômetros da capital. Sua população, conforme o censo realizado pelo IBGE em 2022, é de 483551 pessoas, o que permite classificar como uma cidade de médio porte (entre 100 e 500 mil habitantes). A densidade demográfica é de 119,91 hab/km<sup>2</sup>.

Campos dos Goytacazes possui 4032487 km<sup>2</sup> de área, está em 14m acima do nível do mar, no bioma Mata Atlântica, seu clima é tropical, tendo como padrão um volume maior de chuvas no verão em relação ao inverno, como é possível observar na figura 2. A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen e Geiger e possui média anual de pluviosidade de 1112 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

A temperatura média anual em Campos dos Goytacazes, é de 23,6°C, a média das máximas, 29,7°C e a das mínimas, 19,0°C. Fevereiro é o mês mais quente, com máximas de 33,1°C e julho o mais frio, com mínimas de 15,2°C.

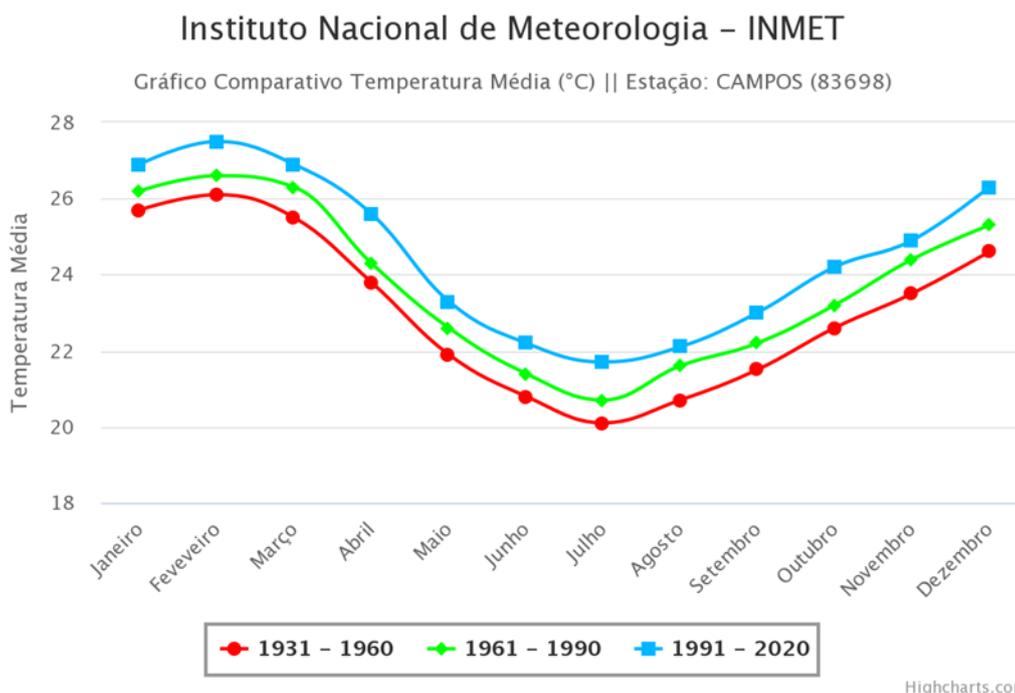


Figura 2 - Gráfico demonstrando a sazonalidade da temperatura média do ar em Campos dos Goytacazes.  
Fonte: INMET (2022)

O município está dentre os que serão impactados pela implementação do Projeto de lei 1440/2019, que dispõe sobre a criação do Fundo de Desenvolvimento Econômico da Mesorregião Geográfica do Norte e Noroeste Fluminense como áreas de seminário. Esse projeto de lei visa lidar com a tendência de queda das médias pluviométricas e com o aumento das temperaturas na região.

O município de Itaperuna, que se situa a 106 Km de Campos dos Goytacazes, também será impactado pelo Projeto de lei. Xavier *et al.* (2000) analisou esse município e identificou que existem indícios de que o clima da região vem se tornando mais seco e mais quente, sendo classificado como clima Megatérmico Subúmido Seco, com precipitação insuficiente em todas as estações do ano. Observando os dados de Campos e comparando períodos de 30 anos, que se iniciam em 1931, 1961 e 1991 é possível observar um aumento das temperaturas na região bem como uma mudança no padrão de precipitação acumulada, havendo uma redução da precipitação no intervalo mais recente, que se dá principalmente nos períodos de primavera e verão, que são os mais chuvosos.

Amorim (2019) destaca a importância da realização de estudos em cidades de pequeno e médio porte, além dos realizados nas metrópoles, porque essas cidades possuem especificidades climáticas que devem ser consideradas, podem interferir além da escala local do clima e são habitadas por grande parte das pessoas tanto na escala nacional quanto na escala planetária, possuindo assim grande importância. Cardoso (2017), destaca estudos onde cidades desse porte apresentam um padrão

diferente de aquecimento, onde bairros distantes do núcleo exibem temperaturas mais altas em razão de sua geometria.

Uma das particularidades da área urbana a ser estudada se encontra no fato de ser uma cidade plana, o que influencia algumas variáveis, tais como a quantidade de radiação solar recebida, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a direção do vento. Essas influências são importantes para formação da ICU, principalmente tendo em vista que Oke (1982) destaca que a velocidade do vento é a variável meteorológica mais significativa para a intensidade da ICU, seguida da cobertura de nuvens. O relevo plano faz com que existam poucas barreiras para o vento e, conseqüentemente, para a transferência de temperatura entre as diferentes áreas da cidade, bem como faz com que a radiação seja mais igualmente disposta. Outro fator importante é a proximidade com o mar, com a presença de um vento predominantemente advindo do sentido nordeste, o que confere um importante fator para trocas térmicas.

Já houve a investigação da ICU em Campos dos Goytacazes em três estudos. Sales (2020) realizou a análise da temperatura da superfície através de sensoriamento remoto e realizou simulações no programa WRF (Weather Research and Forecasting), o que permitiu identificar uma ICU diurna que oferecia desconforto para a maioria dos habitantes, com temperaturas menores no interior de corpos hídricos e áreas com vegetação adensada, e uma ICU noturna de fraca intensidade, sugerindo o aumento da densidade da vegetação como medida mitigatória. Numa segunda parte, diferentes cenários relacionados às configurações da cidade quanto a implementação ou não de medidas mitigadoras da ICU foram modelados, sendo obtidos melhores resultados com a implementação de telhados verdes, apesar de não apresentar forte impacto.

Teixeira e Leite (2018) realizou a investigação da ICU noturna na cidade por meio de transectos móveis e destacou uma intensidade de até  $1,1^{\circ}\text{C}$  e a correlação das maiores temperaturas com regiões mais urbanizadas e com maior circulação de pessoas e veículos, e de maior verticalização. Beraldi (2020), através de uma pesquisa de percepção ambiental e da medição da temperatura do ar através de transectos móveis, identificou a desigualdade na arborização da cidade, onde a população com menor poder aquisitivo tende a ter menos arborização em espaços particulares e públicos. Essa população também tendia a possuir um menor conhecimento para qualificar as condições ambientais. Também foi verificado que a manutenção exigida pelas árvores, a pavimentação para uso no lazer e o adensamento são fatores que limitam o interesse dos habitantes em arborizarem seu entorno. Na segunda parte, foi medida e verificada ICU de média intensidade e um alinhamento entre a percepção dos habitantes e as temperaturas medidas.

Por fim, no que se refere a ZCL, já foram empregadas por Sales *et al.* (2022) para investigar o balanço energético no perímetro urbano. Algumas áreas dentro do perímetro foram classificadas e um algoritmo foi empregado com o objetivo de produzir as cartas de saldo de radiação, fluxo de calor do solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível. Também foi utilizado um índice para calcular o índice de estresse hídrico. Os principais destaques foram a importância da ZCL G para a manutenção de temperaturas menores e a ZCL 8 pelo aumento da temperatura na área urbana, além de que o estresse hídrico influencia fortemente a temperatura da superfície.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1. Método

Foi realizada a classificação do perímetro urbano central do município de Campos dos Goytacazes utilizando a plataforma LCZ Generator, que é o método de classificação por sensoriamento remoto do projeto WUDAPT. Demuzere *et al.* (2021) foi utilizado como referência para compreender o funcionamento do LCZ Generator e, dessa forma, proceder com a realização do procedimento necessário para a classificação.

Primeiramente foi feito o download do modelo das áreas de treinamento, onde foram demarcadas as áreas dentro do perímetro urbano central que possuem a morfologia e a função de acordo com as ZCL específicas, conforme ilustrado na Figura 3. O perímetro urbano é referente ao utilizado no plano diretor de 2019.

A criação das áreas de treinamento foi feita no Google Earth Pro e seguiu as orientações disponíveis no site da plataforma LCZ Generator que orientam em relação às propriedades de tamanho, forma, homogeneidade, bordas & distância, persistência & sazonalidade e distribuição espacial dos polígonos das áreas de treinamento a serem criados, a fim de evitar possíveis problemas no processamento dos dados durante a classificação automatizada. A relação e quantidade de áreas de treinamento para cada ZCL pode ser observada na Figura 4. A definição da ZCL de cada área de treinamento foi feita a partir da comparação das imagens das fichas técnicas disponíveis no apêndice G de Stewart (2011), como ilustra a Figura 5, com as características de cada área a partir da observação *in loco* dessas regiões e com o apoio de imagens de satélite e do Google *Streetview*.

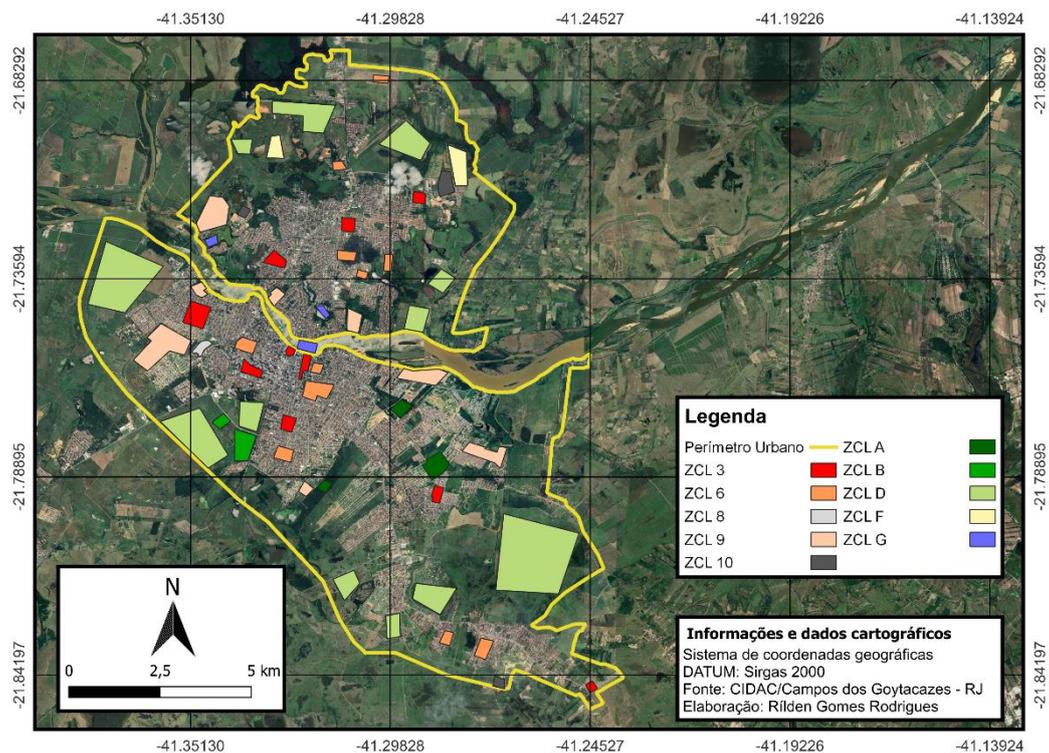


Figura 3 - Áreas de treinamento demarcadas e submetidas para o processo de classificação no LCZ Generator. Fonte: Elaboração própria

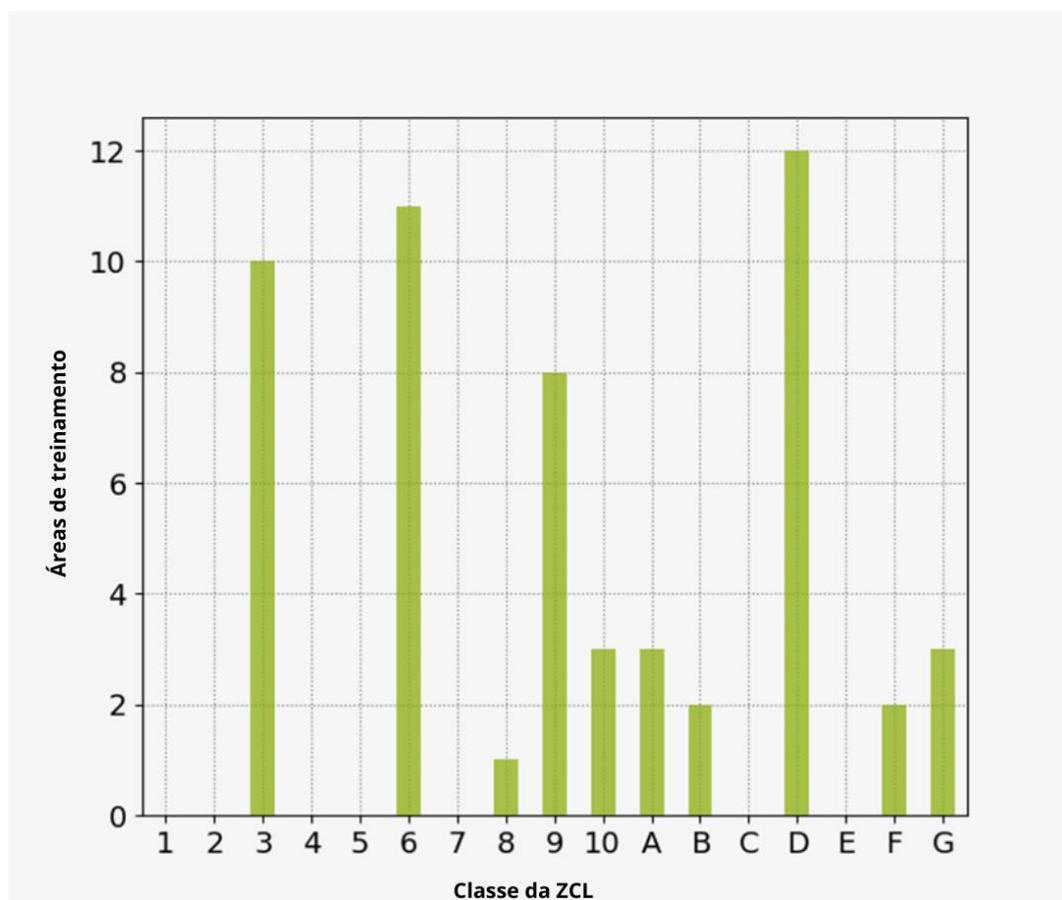


Figura 4 - Relação da quantidade de áreas de treinamento por classe de ZCL. Fonte: WUDAPT (2023)

Ao final da criação das áreas de treinamento, todos os dados referentes às informações pessoais e das áreas de treinamento para a submissão foram informados no endereço virtual da plataforma LCZ Generator e foi obtida por e-mail a resposta da plataforma com os resultados consolidados, além da disponibilização dos dados no endereço eletrônico do LCZ Generator, que podem ser acessados e obtidos por quaisquer interessados.

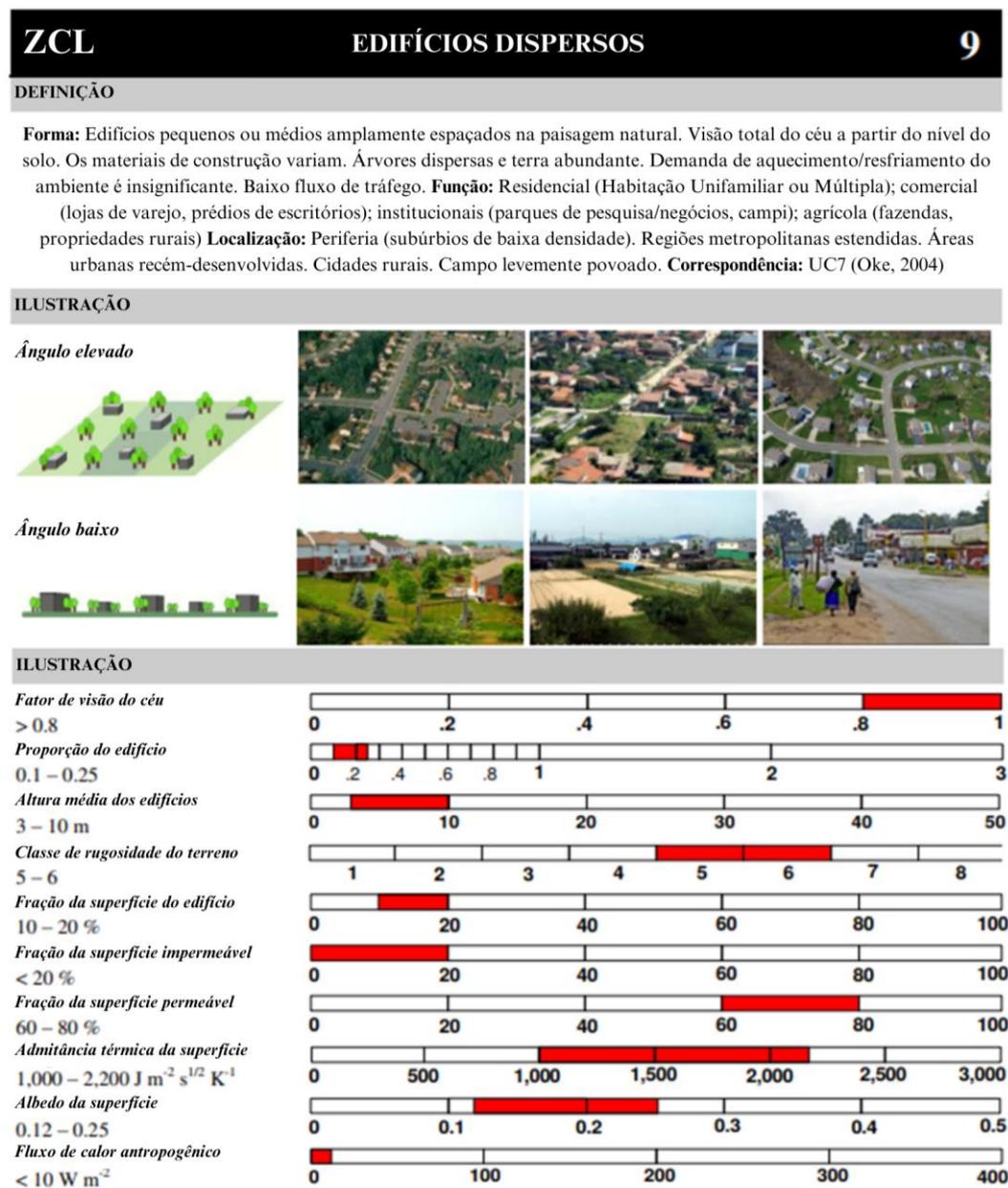


Figura 5 - Ficha técnica da ZCL 9 criada por Stewart (2011)

A partir disso foi feita uma análise dos resultados obtidos relacionados as ZCL existentes na cidade e sobre como a distribuição dessas zonas se dá, além de observar os dados de medição da ICU da cidade realizados por Beraldi (2020) e Sales (2020) a fim de que seja possível investigar a capacidade que o esquema de ZCL possui para otimizar os estudos de ICU na cidade de Campos dos Goytacazes

e, conseqüentemente, em demais cidades. Os dados georreferenciados foram processados no programa QGIS.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa georreferenciado final (Figura 6) não se limita ao perímetro urbano central que foi utilizado como recorte para a criação de áreas de treinamento, mas também mais áreas do entorno, chegando até a cobrir pequenas frações dos municípios vizinhos de São Joao da Barra e São Francisco do Itabapoana. É possível observar ao centro o perímetro urbano em destaque, mas observando a totalidade da imagem é possível destacar o predomínio das ZCL D e 9. Poucas são as ZCL A, ou mesmo B no entorno, sendo a que mais se destaca, fora do perímetro urbano central, a referente a APA Municipal Serra do Itaóca.

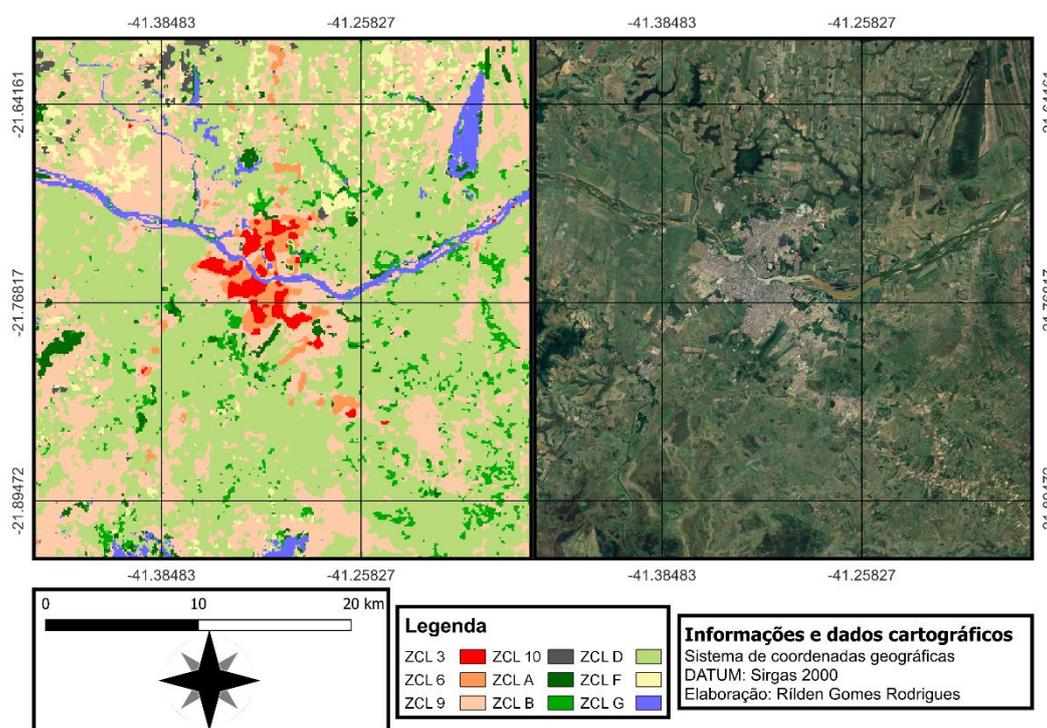


Figura 6 - Mapa de Campos dos Goytacazes classificado em ZCL. Fonte: Elaboração própria

No que se refere à precisão geral do mapa, o resultado da validação cruzada automatizada foi de 63%, sendo observada uma maior precisão na classificação das zonas de cobertura do solo do que nas zonas construídas, o que representa o desafio de identificar com exatidão as áreas bem como pode demonstrar pequenas variações que podem existir, como é o caso da ZCL 10, que obteve a menor precisão, tendo como função a produção industrial mas possuindo uma maior área permeável e até mesmo áreas verdes, mesmo que seja composta por vegetação rasteira (Figura 7).

Há também que se destacar que a ZCL 8 obteve apenas uma área encontrada e demarcada como área de treinamento, que corresponde ao Shopping Boulevard, mas que não foi determinada como tal ao final da classificação automatizada. Possivelmente por ser uma área pequena, apesar de possuir dimensões suficientes para ser classificada de tal forma, pela falta de mais áreas que pudessem entrar na ZCL 8 e pela influência do entorno e de pequenas áreas permeáveis no terreno. Essa área demarcada coincidiu com o que foi demarcado por Sales *et al.* (2022), que encontrou maiores valores de fluxos de calor sensível e calor do solo.

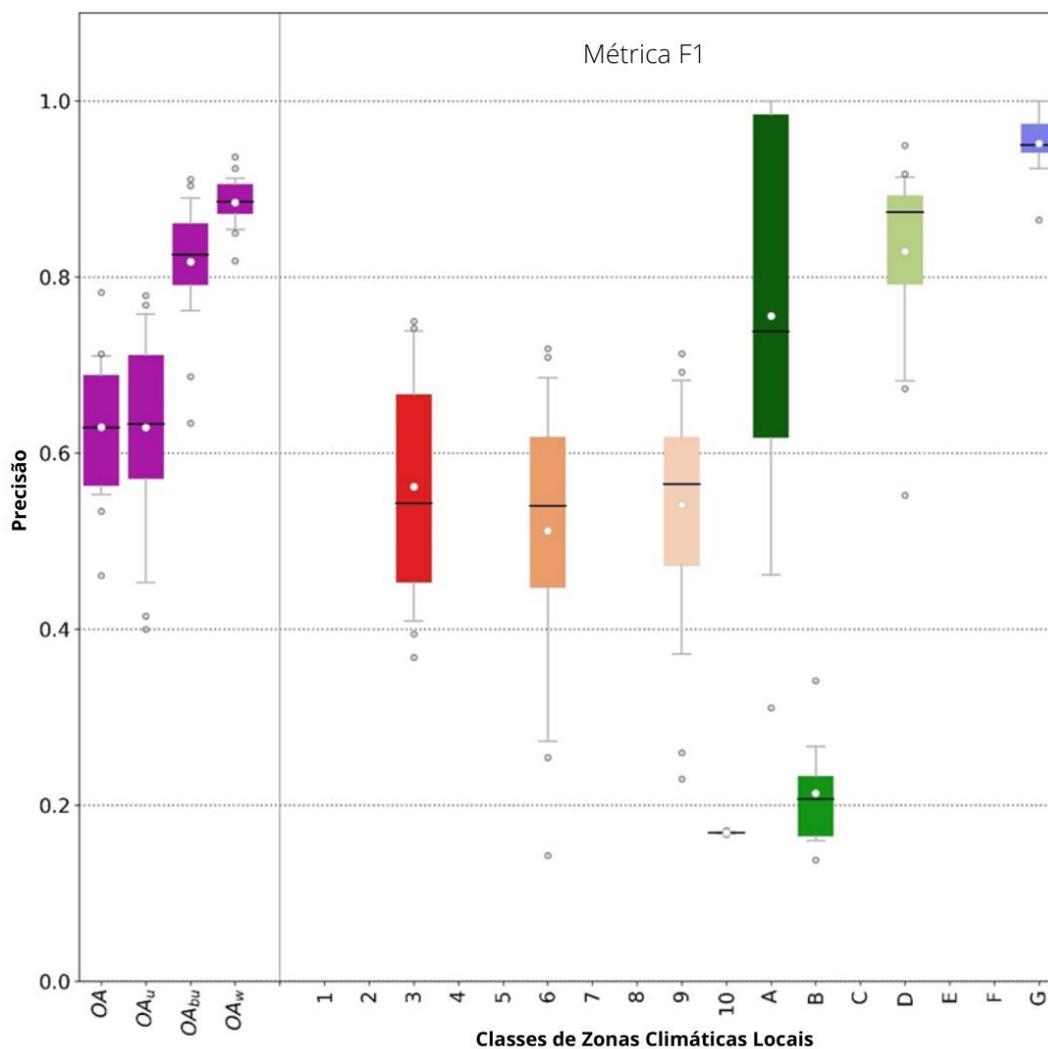


Figura 7 - Precisão das ZCL classificadas. Fonte: WUDAPT (2023)

Considerando que está situado no bioma Mata Atlântica, que é o mais impactado no Brasil pelo desmatamento e exploração humana no geral, essa é uma situação que se repete em toda a extensão do bioma no país. No total restam 12,5% remanescentes do bioma em território nacional, considerando fragmentos com mais de 3 hectares, sendo que em Campos dos Goytacazes restam

cerca de 8,0% do que já existiu dentro do município, que ficam situados em sua maior parte mais distantes do perímetro urbano central (SOS MATA ATLÂNTICA, 2023).

A existência de ZCL A e B em maior proporção no entorno poderia ajudar a mitigar a elevação de temperatura dentro do perímetro urbano e, conseqüentemente, os prejuízos causados pelo calor elevado. No que se refere a ICU e observando o apontado por Stewart (2011), é esperado que as ZCLs A e B tenham uma menor diferença de temperatura com as zonas construídas. Essas zonas tendem a ser mais quentes que a ZCL D, porém mais frias que as zonas construídas. Isso se dá em razão da magnitude da diferença entre morfologia e os materiais de cada ZCL, como pode ser visto na Figura 8.

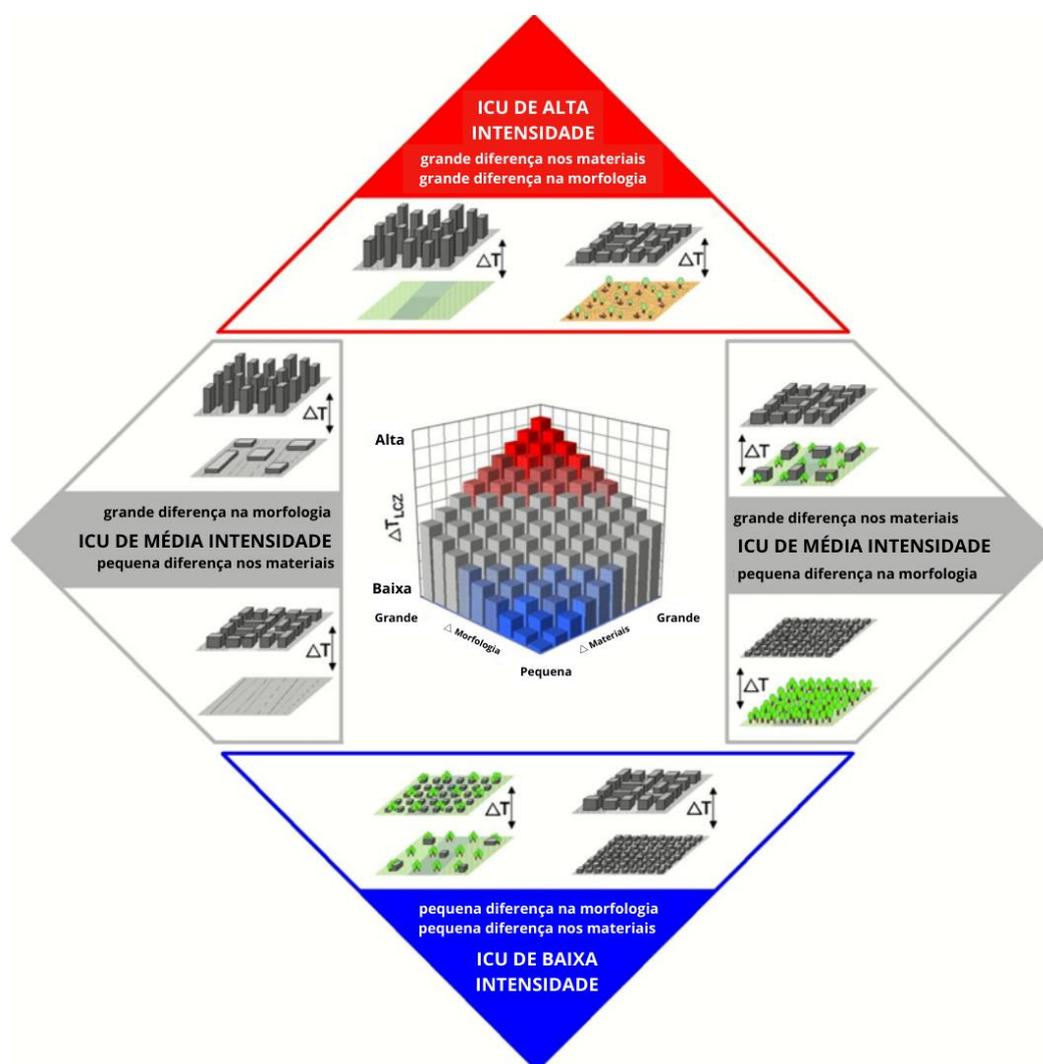


Figura 8 - Tipologia conceitual das intensidades da ICU baseados em diferenças de temperaturas síncronas entre Zonas Climáticas Locais. Fonte: Adaptado de Stewart (2011)

Isso também ajuda a explicar o resultado modelado por Sales (2020), que indicou uma Ilha Fria Urbana (IFU) e apontou como uma das razões o clima semiárido. Stewart (2011) destaca que a

amplitude térmica na ZCL D tende a ser maior que na ZCL 3 e que solos secos possuem uma baixa inércia térmica. Isso significa que, ao início da manhã, a ZCL D se aquece mais rápido que zonas construídas, fazendo com que apresente essas temperaturas mais elevadas. O solo úmido possui elevada inércia térmica e diminui a possibilidade de ocorrência de IFU nessa disposição de zonas. A área urbanizada possui o solo impermeabilizado, fazendo com que a umidade não seja retida e, conseqüentemente, que aumente os fluxos de calor latente e calor do solo, conforme observado por Sales *et al.* (2022) no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes.

No que se refere ao perímetro urbano central definido pelo Plano Diretor de 2019, podemos observar uma maior proporção de área urbana. Apesar disso, a ZCL que possui a maior área é a D, seguida então das ZCL 9, 6 e 3, nessa ordem, conforme a Tabela 1.

*Tabela 1 - Área total das Zonas Climáticas Locais dentro do perímetro urbano central de Campos dos Goytacazes. Fonte: Elaboração própria*

<b>LCZ</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha<sup>2</sup>)</b>
<b>D</b>	56,404	5640,25
<b>9</b>	42,765	4276,77
<b>6</b>	20,341	2033,731
<b>3</b>	15,078	1507,718
<b>B</b>	5,939	593,7
<b>A</b>	4,472	446,77
<b>F</b>	1,672	167,125
<b>G</b>	1,145	114,445
<b>10</b>	0,434	43,331
<b>Total</b>	148,25	14823,84

A área total do perímetro urbano com as ZCL foi reduzida em cerca de 48 hectares em razão da resolução em pixels de 100 metros da área classificada, que deixa um serrilhado nas bordas e fica ligeiramente menor do que o polígono georreferenciado do perímetro urbano que foi usado para recortar o mapa classificado (Figura 9).

As zonas que se referem a cobertura do solo se distribuem de forma diferente entre elas. As zonas D, B e F se localizam nos limites do perímetro urbano, sendo que a ZCL F se encontra apenas na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. Apesar de serem classificadas como ZCL F (solo exposto ou areia) é possível observar que elas variam ao longo do tempo e recuperam a vegetação ou recebem recortes de ruas, indicando que estão sendo utilizadas para produção agrícola e para loteamentos.

As ZCL A e G são um pouco mais integradas a área urbana. A zona G em razão do rio Paraíba do Sul e das lagoas que ficam situadas à margem esquerda do Paraíba do Sul, e que ficaram cercadas

por edificações. A zona A se situa no entorno das lagoas e em áreas que não se situam demarcadas em bairros, mas que ficam na fronteira de loteamentos criados mais recentemente e podem correr o risco de serem desmatada para a expansão da área urbanizada.

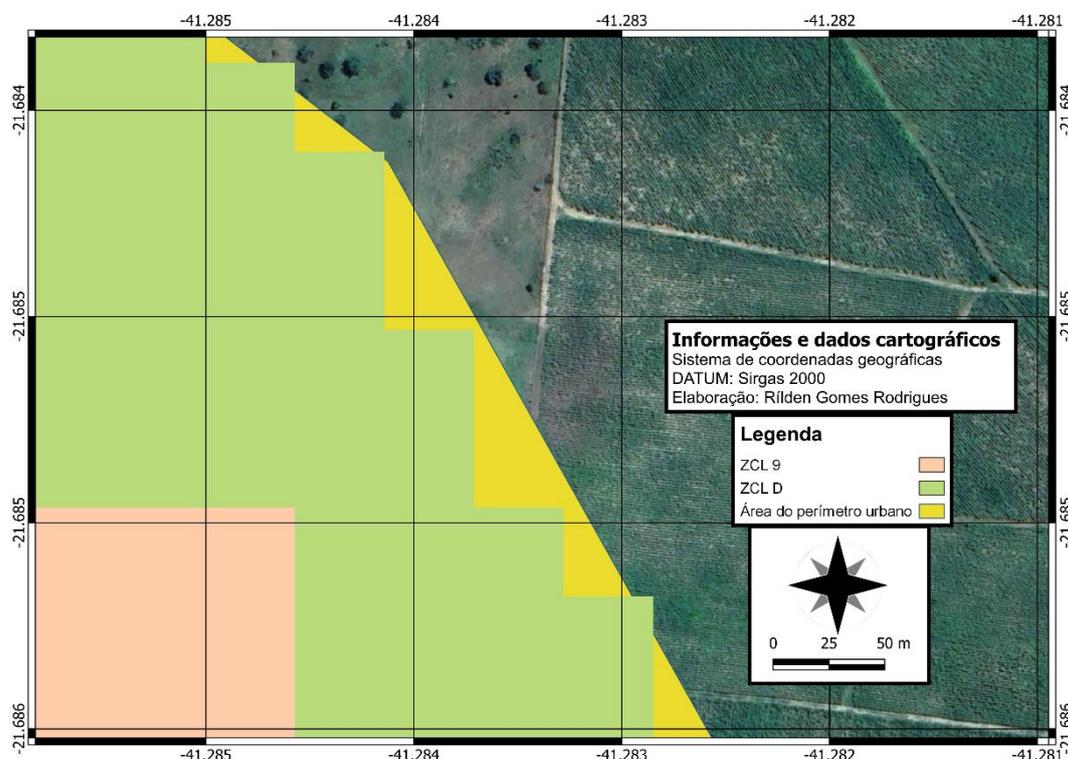


Figura 9 - Limite do perímetro urbano com diferenças entre o polígono usado para recorte, em amarelo, e o polígono recortado das ZCL em verde. Fonte: Elaboração própria

Em relação ao núcleo urbanizado, podemos ver uma concentração maior de construções nas regiões centrais da cidade, com variações de adensamento que tendem a reduzir quando chega as margens do perímetro, o que pode ser comum em cidades que estão crescendo horizontalmente e, ao observar as áreas classificadas como ZCL 9, podemos confirmar essa realidade ao identificar uma variedade de loteamentos que expandem a área urbanizada no perímetro urbano central. Também foram classificadas como ZCL 9 as áreas de instituições como a UENF, PESAGRO-RIO e a Segunda companhia de Infantaria do Exército Brasileiro.

Excetuando a região central, que possui em sua maior parte edificações que ocupam todo o lote e ruas bem estreitas, as zonas 3 e 6 são semelhantes entre si e costumam distinguir-se nas imagens de satélite em razão da quantidade arborização e de espaços verdes presentes. Esse é um fator importante de ser observado em razão do impacto gerado por essas áreas e pela razão de existirem fatores socioeconômicos e políticos que moldam os espaços urbanos. Algo a se destacar é a presença de um centro denso com um entorno imediato onde essa densidade é reduzida e um outro

adensamento em áreas mais periféricas, o que pode indicar uma mudança dos padrões de temperatura onde a periferia acaba sofrendo com temperaturas elevadas semelhantes a regiões centrais.

Isso corrobora com o relato de Cardoso (2017), que aponta para uma realidade onde cidades pequenas e médias do Brasil apresentam bairros distantes do núcleo urbano que apresentam temperaturas mais altas. Amorim (2017) destaca que o espaço urbano nas cidades tropicais prioriza os aspectos econômicos em detrimento dos sociais e ambientais, subdividindo o terreno em pequenos lotes, retirando a cobertura vegetal e utilizando elementos construtivos que elevam a temperatura ambiente. Esse adensamento foi citado por Beraldi (2020) como um dos fatores que explicam a menor quantidade de áreas verdes.

Uma característica a se destacar é que todas as zonas urbanas são de baixa elevação ou seja, com o predomínio de edificações com até 3 andares. Apesar de existir regiões onde prédios de média e alta elevação se distribuem em maior concentração, acaba não sendo o suficiente para classificar essas regiões de tal forma. Essa configuração auxilia na dispersão do ar por meio dos ventos e é uma das características que colabora para que a intensidade de ICU não seja maior.

A presença de edificações de média e alta elevação em uma organização compacta pode reduzir o fluxo de ar pelo tecido urbano, mas arranjos mais espaçados e dispersos, junto a outras configurações de posicionamento e desenho dessas edificações, podem reduzir a interferência gerada nos ventos e reduzir significativamente a influência desse fator no fenômeno da ICU. Essa é uma questão de importante destaque para demonstrar que é possível conciliar diferentes demandas no espaço urbano, como a necessidade de criar mais densidade em áreas da cidade, onde já existe uma série de serviços e infraestruturas urbanas, ao mesmo tempo em que causa o mínimo de perturbações na temperatura, e até mesmo da dispersão de poluentes, que são influenciadas pelo vento.

Ao sobrepor os transectos fixos e móveis realizados por Beraldi (2020) e Sales (2020) ao mapa de ZCL é possível observar quais zonas foram representadas nas medições e compreender com uma melhor resolução as variações de temperatura encontradas nos respectivos estudos (Figura 10). Ao realizar transectos sob as mesmas condições encontradas anteriormente, mas se estendendo as demais ZCL que não foram cobertas pela medição de temperatura, é provável que seja encontrada uma maior intensidade de ICU no perímetro urbano da cidade, pelo fato de serem classificadas como ZCL que, apesar de estarem em área delimitada como urbana, possuem características rurais, e, conseqüentemente, tendem a possuir temperaturas menores em relação às áreas urbanizadas. A ZCL 10 também pode aumentar a intensidade de ICU por representar uma área que possui atividades industriais que podem contribuir para a elevação da temperatura nessa região.

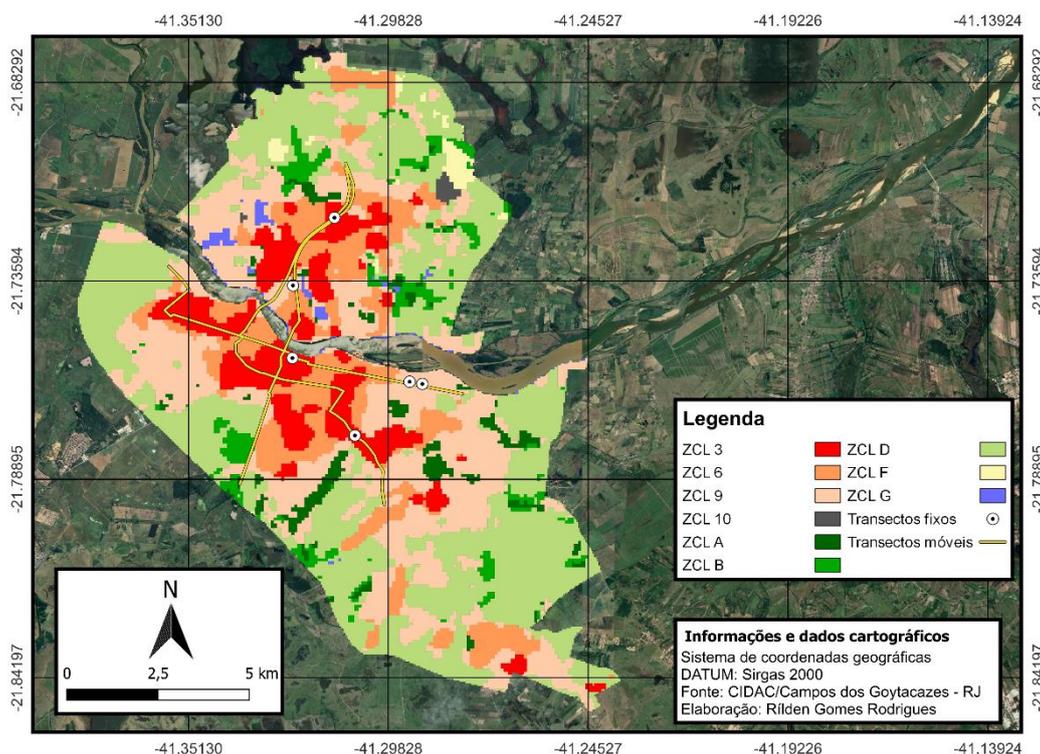


Figura 10 - Transectos realizados por Beraldi (2020) e Sales (2020) sobrepostos às ZCL. Fonte: Elaboração própria

O zoneamento térmico realizado por Sales (2020) cria um padrão bem semelhante às ZCL construídas, com as maiores temperaturas coincidindo com as ZCL 3, 6 e 10 (Figura 11). O transecto móvel realizado por Beraldi (2020) demonstrava um pico de temperatura na região central e possuía outras variações que podem ser mais bem compreendidas com a sobreposição dos pontos medidos no transecto móvel conforme visto nas Figura 12, 13 e 14.

Os transectos móveis, assim como demais técnicas de medição, estão sujeitas contaminações em razão de fontes de calor ou frio que se situam nas proximidades durante a medição, o que causa variações inesperadas da temperatura, mas é importante salientar a variação observada dentro de ZCL de mesma classificação que podem ocorrer devido a essa contaminação térmica, mas podem ser também por pequenas variações morfológicas nessas áreas, pela variação das atividades humanas e também pela dispersão das temperaturas através do vento, que fazem com que as zonas do entorno tornem variem a temperatura em razão da velocidade e direção do vento.

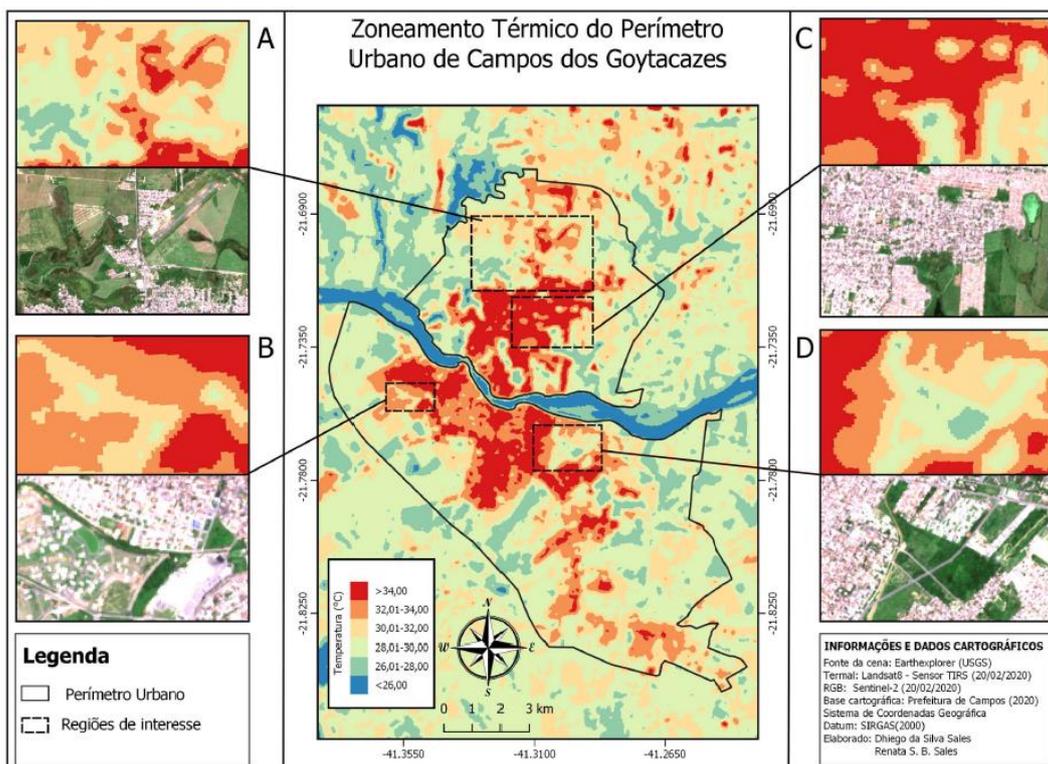


Figura 11 - Zoneamento térmico realizado por Sales (2020). Fonte: Sales(2020)

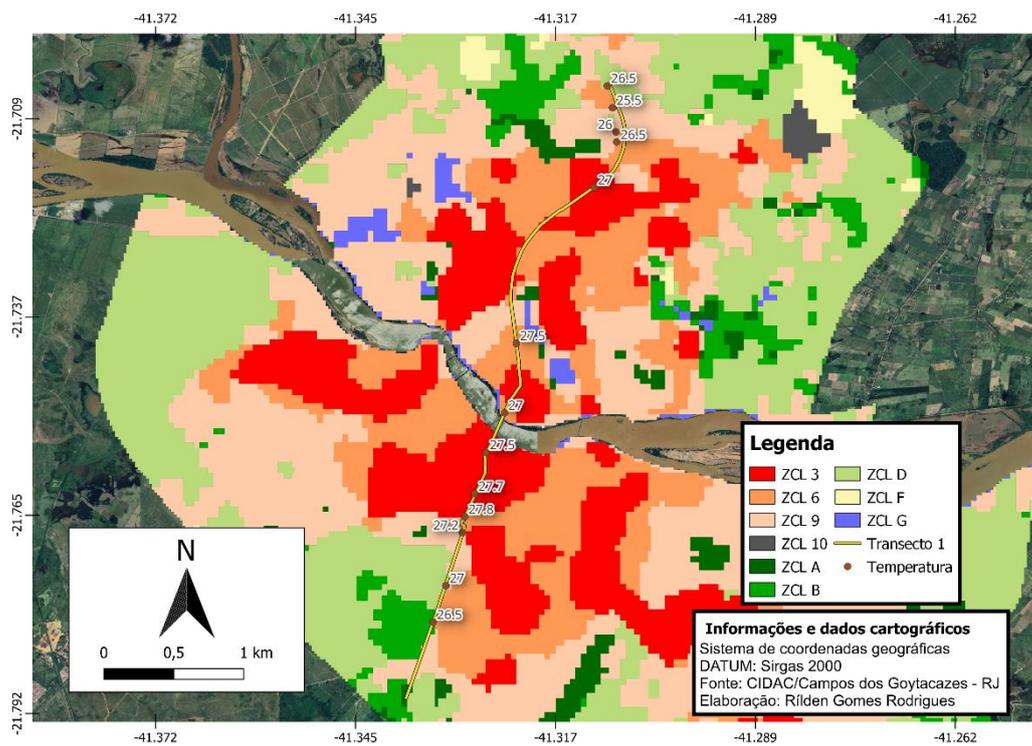


Figura 12 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 1 (2020). Fonte: Elaboração própria

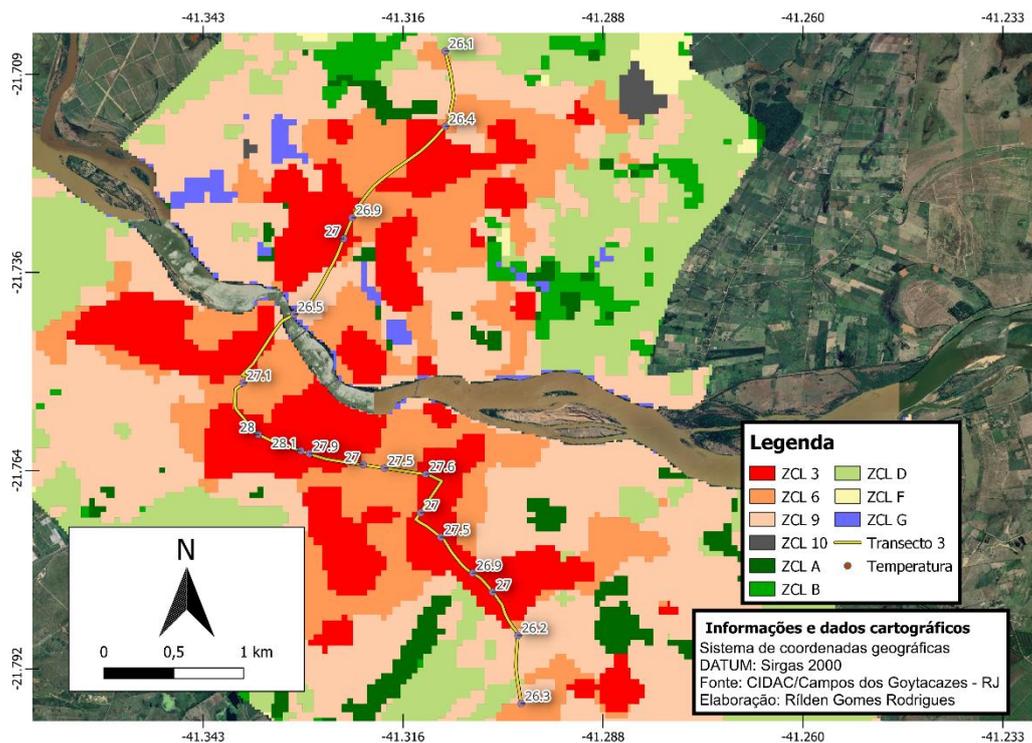


Figura 13 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 2 (2020). Fonte: Elaboração própria

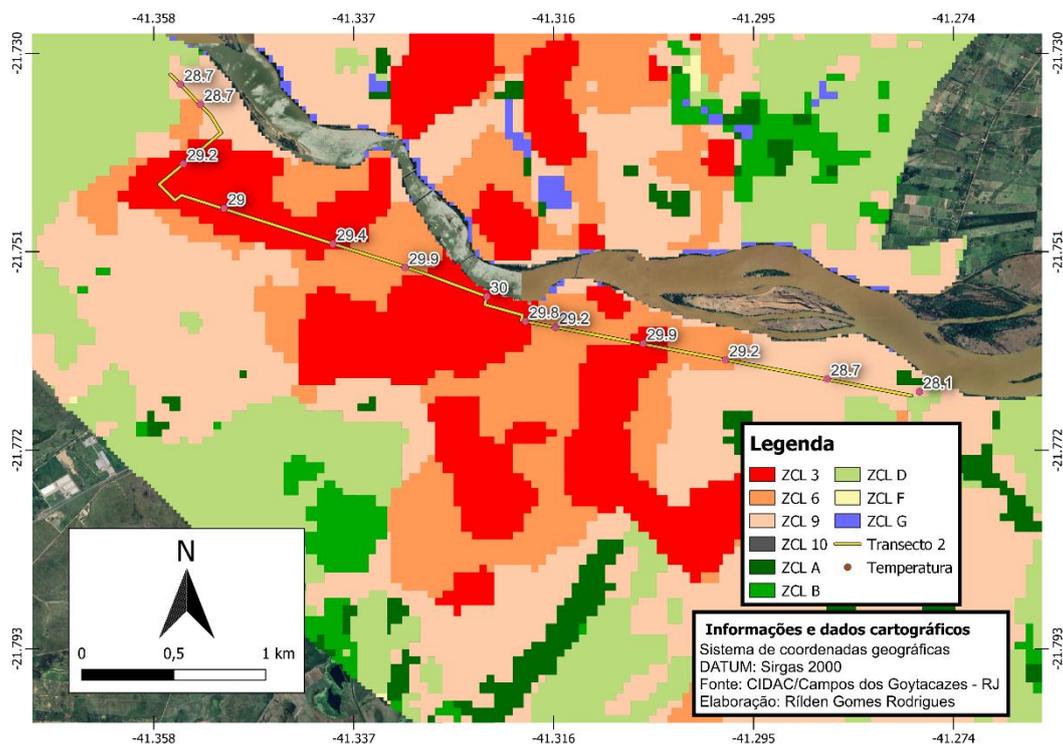


Figura 14 - Temperaturas georreferenciadas obtidas por Beraldi no transecto 3 (2020). Fonte: Elaboração própria

Outra questão que pode ser destacada com a sobreposição são as ZCL onde foram realizadas as medições, que foram predominantemente as zonas 3, 6 e 9. Sob esse novo paradigma das ZCL seria

então possível esperar que seja encontrada uma diferença de temperatura ainda maior ao realizar medições seguindo o mesmo método dos estudos anteriores, mas modificando a localização dos sensores no perímetro urbano. Nesse sentido, zonas de classificação diferentes poderiam ser utilizadas, assim como zonas de mesma classificação a fim de que seja possível compreender as variações que ocorrem em função de diferenças entre zonas distintas bem como entre zonas igualmente classificadas, mas que possuem pequenas variações na forma, nas atividades e no entorno.

No que se refere a ZCL de mesma classificação, seria importante identificar áreas que se diferem morfológicamente, como os presentes na LCZ 3. A Figura 15 ilustra como Centro possui um perfil de construções mais compacto com ruas mais estreitas, o bairro da Pelinca é menos compacto e com a maior presença de prédios de média e alta elevação, enquanto bairros periféricos possuem uma pequena quantidade de prédios de média e alta elevação, especialmente na margem esquerda do rio. A presença dessas edificações mais elevadas e das vias mais estreitas pode diminuir o fluxo de ventos que ajudam a reduzir a temperatura. Além disso, regiões mais centrais tendem a possuir mais fluxo de calor antropogênico em razão dos diversos equipamentos nas edificações e dos veículos que transitam a área. Essas e outras características vão fazer não só com que a ICU seja mais acentuada em algumas áreas do que outras, mas que possua dinâmicas diferentes com a variação das estações do ano e de condições meteorológicas e climáticas.

A influência das áreas verdes também pode ser avaliada, tendo em vista que podem ter influência significativa na variação de temperatura no entorno, como Doick *et al.* (2014) identificou um resfriamento de até 4°C e com distâncias de até 440 metros promovidos por uma área verde nas temperaturas do ar à noite em Londres. Desta forma, estas áreas vegetadas e seu entorno são regiões relevantes para a compreensão da variação da ICU nas cidades, compreender como essa solução pode ser implementada da melhor forma a fim de mitigar as elevadas temperaturas e a adaptar as áreas urbanas a essa condição, que deve se manifestar cada vez mais no futuro.

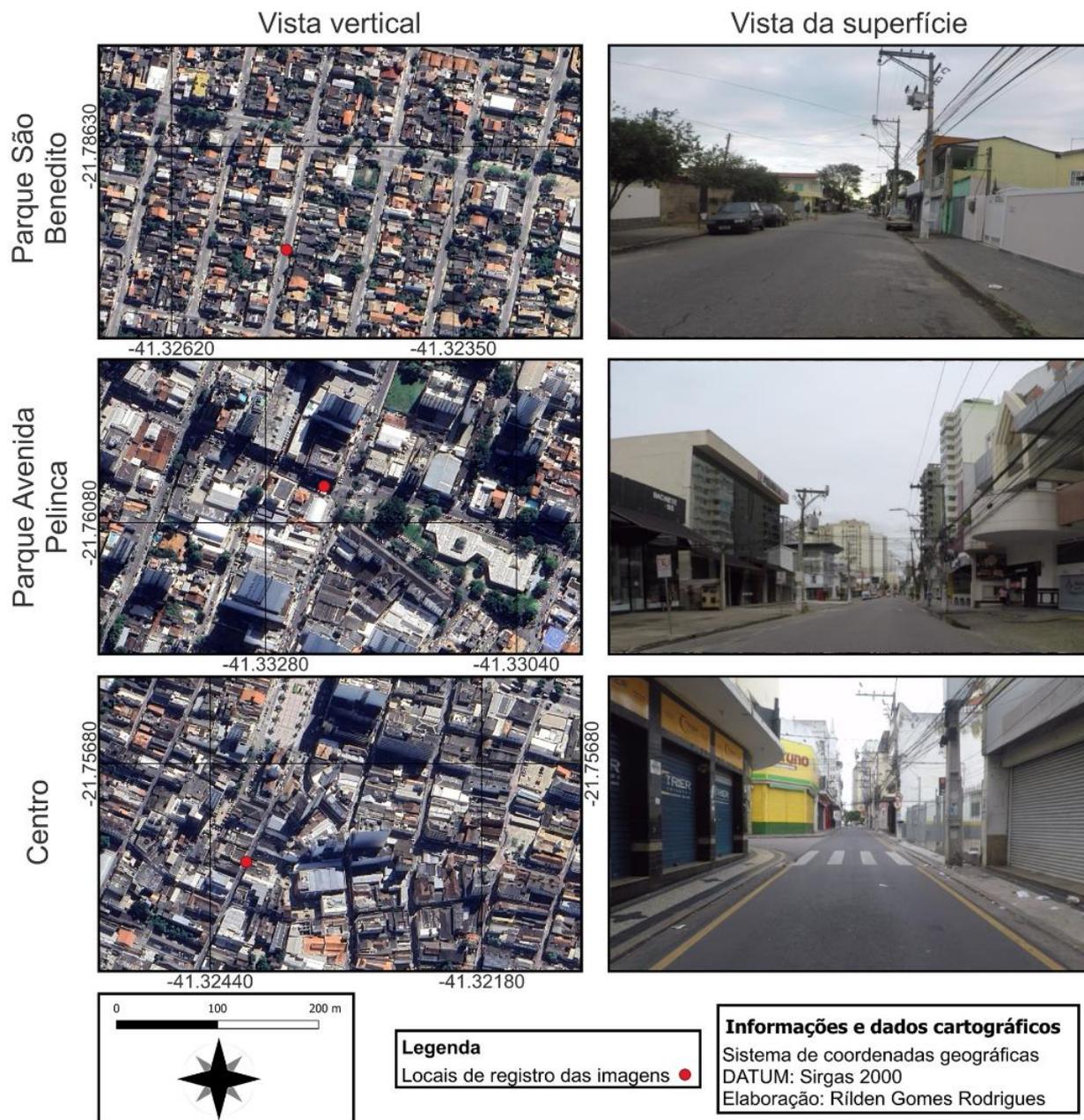


Figura 15 – Vistas vertical e da superfície que ilustram diferenças morfológicas de regiões do perímetro urbano classificadas como ZCL 3. Fonte: Adaptado de WUDAPT (2023)

Stewart (2011) destaca que a definição da localização dos sensores de temperaturas em transectos fixos deve observar essas questões, buscando locais que representam a maior parte da área e calculando uma rosa dos ventos (Figura 16) que considere os ventos predominantes para escolher a região da ZLC onde o sensor será instalado a fim de captar as características térmicas da ZCL em questão, minimizando a influência que zonas vizinhas venham a ter sobre a temperatura.

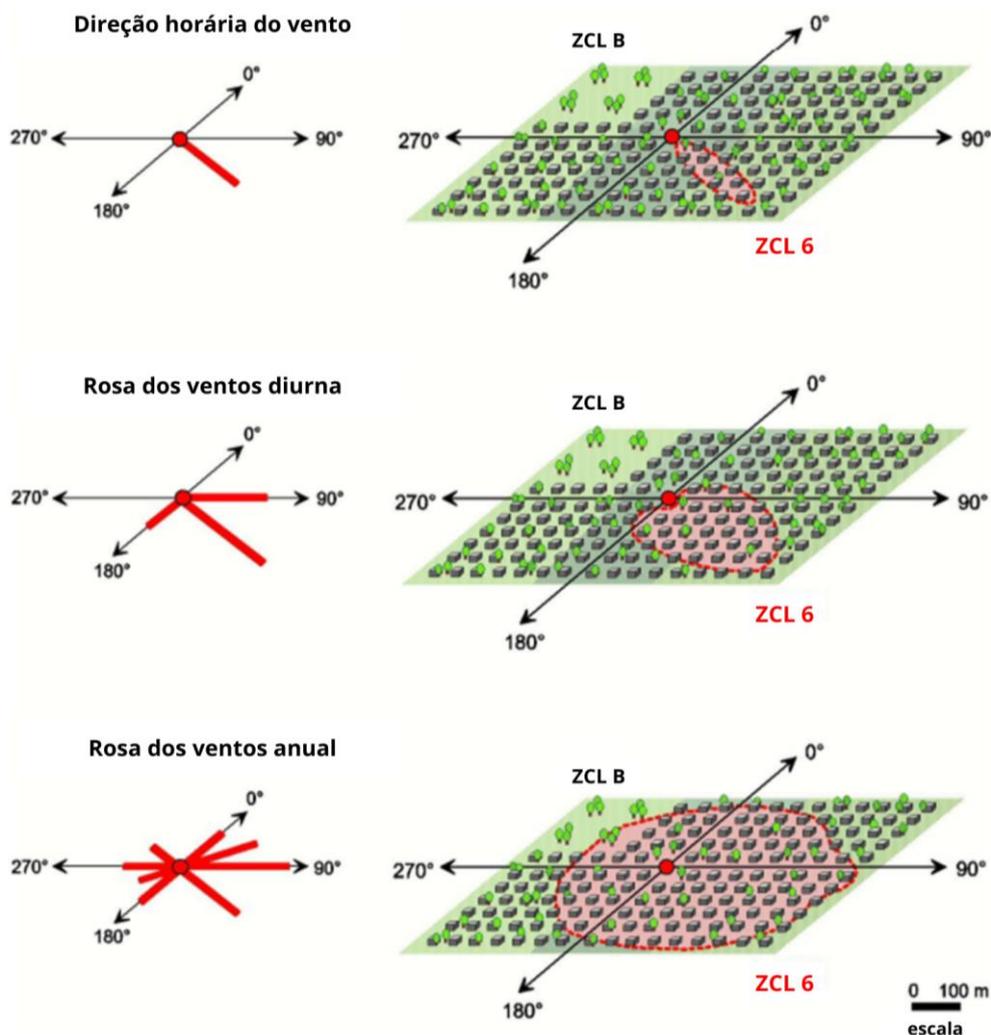


Figura 16 - Áreas de influência de rosa dos ventos para medição da temperatura. Fonte: Adaptado de Stewart (2011)

A instalação desses sensores pode ser feita de forma temporária em transectos fixos, que é uma técnica de análise da ICU que ainda não foi utilizada nesse perímetro urbano e que permite uma maior resolução temporal da variação da temperatura em diferentes pontos da área. Pode ser interessante também a construção de uma rede permanente de medição de dados meteorológicos na cidade, como realizado na Hungria por Skarbit *et al.* (2017), que registra as informações e disponibiliza em tempo real para instituições locais, governo, autoridades de saúde e público geral. A construção de tal rede poderia abranger questões além de dados meteorológicos e permitiria direcionar a cidade para a coleta e uso de dados para o gerenciamento urbano como se apresentam nos conceitos de cidades inteligentes e de cidades responsivas. Essa é uma questão especialmente importante em razão da tendência apresentada também pelo Acordo de Escazú.

## 5. CONCLUSÃO

A classificação em ZCL realizada através da plataforma LCZ Generator apresentou um processo simplificado que permite classificar uma extensão territorial grande a partir de áreas de treinamento pequenas e apresentou um resultado que pode ser sobreposto a estudos anteriores, demonstrando uma boa comparabilidade dos padrões de temperaturas com as características das zonas classificadas. Sendo assim, é uma forma de classificar que exige entendimento básico do funcionamento de programas de georreferenciamento para obtenção de resultados confiáveis, dependendo apenas do conhecimento da forma e função das áreas a serem classificadas a fim de que se obtenha um resultado satisfatório.

O mapa classificado em ZCL que foi obtido permitiu observar como ocorre a distribuição das ZCL na cidade, sendo possível compreender melhor os resultados obtidos em estudos anteriores de Beraldi (2020), Sales (2020) e Sales *et al.* (2022) através da segmentação do espaço urbano em diferentes ZCL que destacam as influências nas variações de temperatura encontradas. Isso também permite que novos estudos sejam orientados na realização de medições ao observar esse novo paradigma e identificar localidades relevantes, além de se tornar um subsídio para a gestão do espaço da parte do poder público e para a ação da parte da sociedade civil, seja de forma individual ou coletiva e dentro de locais privados ou nos espaços públicos. Colabora com isso o fato dos dados gerados e georreferenciados estarem disponíveis para download no endereço eletrônico da plataforma.

Dentre as zonas relevantes estão as ZCL A e B, que localizadas dentro ou no entorno a área urbana podem servir para aliviar as temperaturas elevadas em períodos críticos, melhorando o conforto térmico e reduzindo a morbidade e a mortalidade em decorrência do calor. Outro fator que demonstra a importância de focar nessas áreas é a expansão da área urbana que está se aproximando e até mesmo tomando essas áreas arborizadas. Sendo assim a realização de estudos como esse pode contribuir para conservação desses espaços.

Novos estudos também podem se concentrar nas características urbanas existentes, os fatores que as geraram e as possibilidades existentes para a transformação do espaço, seja para tratar da ICU ou de outras demandas e necessidades existentes. Pode ser inclusive ser realizada sob a perspectiva socioeconômica a fim de que, além de compreender as influências nas características urbanas geradas por esses fatores, seja também possível entender a influência dessas características urbanas na sociedade e na economia. A distribuição socioeconômica desigual das zonas aliadas a falta de infraestrutura de moradia da parte da população mais pobre pode ser um fator que permite a manutenção da desigualdade e os mecanismos que geram isso podem ser investigados.

A realização de novos estudos relacionados a ICU podem buscar realizar novamente os métodos já empregados de medição tendo em vista que os transectos podem ser modificados a fim de possuir mais ZCL representadas, bem como a modelagem pode ser realizada novamente com a inclusão do mapa classificado a fim de otimizar a integração do modelo as características da área para a simulação de cenários. É importante também que outros métodos de obtenção e análise de dados meteorológicos sejam utilizados, como é o caso dos transectos fixos, que permitirão analisar a variação da temperatura no espaço e no tempo, além da comparação entre as zonas, trazendo uma grande resolução de tempo na variação da temperatura entre as diferentes áreas e permitindo compreender os fatores ambientais e antropogênicos que diferem e influenciam o comportamento dessa variável.

Por mais que a medição desses transectos fixos possa ser realizada de maneira temporária, seria importante que tal medida seja desenvolvida como um projeto contínuo, que realiza o monitoramento constante e a divulgação contínua dos dados referentes as condições meteorológicas em diferentes ZCL da cidade a fim de que isso assegure não só uma melhor compreensão do fenômeno na área acadêmica como também o acesso a informação para instituições governamentais e para a população, o que ajuda a garantir também a participação dos cidadãos interessados nos processos decisórios no que tange a essas questões.

Sendo assim, pôde ser obtida uma classificação em ZCL que reflete a realidade local, permitindo que a região objeto desse estudo seja inserida nesse paradigma dos estudos de ICU, que permite não só comparar a variação de temperatura entre os espaços classificados dentro da cidade como entre a realidade de temperatura e da forma e função da cidade com outras em diferentes regiões do planeta. A partir disso novos estudos podem ser realizados e soluções podem ser investigadas e desenvolvidas a fim de adaptar a cidade aos cenários de aquecimento global e das mudanças climáticas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, M. C. C. T; DUBREUIL, V. **Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates.** *Climate*, v. 5, n. 4, p. 91, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise.** *Revista Brasileira de Climatologia*, [S.l.] p. 22-46, jun. 2019
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas.** *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 46, 2020.
- ARNFIELD, A. J. **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island.** *International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.
- BERALDI, W.S. **Estudo da Conformação da Ilha de Calor e da Percepção Sensorial e Ambiental a Ela Relacionada no Município de Campos dos Goytacazes-RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.
- CARDOSO, R. D. S., DORIGON, L. P., TEIXEIRA, D. C. F., & AMORIM, M. C. D. C. T. **Assessment of urban heat islands in small-and mid-sized cities in Brazil.** *Climate* 5.1 (2017): 14.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2021. **Clima Campos dos Goytacazes: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Campos dos Goytacazes** - Climate-Data.org. Climate-data.org. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/campos-dos-goytacazes-4053/>>. Acesso em: 30 Apr. 2021.
- DEMUZERE, M., KITNER, J., & BECHTEL, B. **LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps.** *Frontiers in Environmental Science*, 2021.
- DOICK, K. J., PEACE, A., & HUTCHINGS, T. R. (2014). **The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island.** *Science of the total environment*, 493, 662-671.
- GAGO, E. J., ROLDAN, J., PACHECO-TORRES, R., & ORDÓÑEZ, J. **The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects.** *Renewable and sustainable energy reviews*. v. 25, p. 749-758, 2013.
- GELETIČ, J., LEHNERT, M., SAVIĆ, S., & MILOŠEVIĆ, D. (2019). **Inter-/intra-zonal seasonal variability of the surface urban heat island based on local climate zones in three central European cities.** *Building and Environment*, v. 156, p. 21-32, 2019.
- GORE, T. (2020). **Confronting carbon inequality: Putting climate justice at the heart of the COVID-19 recovery.** Oxfam, 21 set. 2020. Disponível em: <https://www.oxfam.org/en/research/confronting-carbon-inequality> Acesso em 06 nov. 2022.
- GORELICK, N. *et al.* **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone.** *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031
- INMET. **Gráficos Climatológicos.** Disponível em: < <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 16 setembro 2022.
- LOMBARDO, M. A. **Análise das mudanças climáticas nas metrópoles o exemplo de São Paulo e Lisboa. Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano** [online], p. 111-146, 2009.
- MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J; JEFFREY-BAILEY, T. **The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete.** *Journal of environmental management*, v. 197, p. 522-538, 2017.
- OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island.** *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

- OKE, T. R. (1988). **Street design and urban canopy layer climate**. *Energy and buildings*, 11(1-3), 103-113.
- PINTON, L. G., RIBEIRO, M. C. A., SUIZU, T. M., & AMORIM, M. C. D. C. T. **Magnitudes do fenômeno da ilha de calor urbana em sacramento (mg): perspectivas de aplicação do sistema das zonas climáticas locais em cidade de pequeno porte**. *Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 79, p. 161-179, 2021.
- RODRIGUES, R., JUNIOR, L. D. P. Q., & GOMES FILHO, H. Ilhas de calor urbano: **Revisão sistemática das metodologias para classificação da área urbana em zonas climáticas locais**. In: Anais do Xx Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/ilhas-de-calor-urbano-revisao-sistemica-das-metodologias-para-classificacao-da?lang=pt-br>> Acesso em: 16 ago. 2023.
- SALES, R.S.B. **Caracterização e Modelagem Microclimática da Ilha de Calor Urbana Utilizando Parâmetros Biofísicos em Campos dos Goytacazes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPEA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Campos dos Goytacazes. p. 54. 2020.
- SALES, R. S. B., DA SILVA SALES, D., & MENDONÇA, J. C. (2022). **Balanco de energia e ilhas de calor no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(06), 3093-3105.
- SANTAMOURIS, M. **Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions**. *Science of the Total Environment* 512– 513: 582–598, 2015a.
- SKARBIT, N., STEWART, I. D., UNGER, J., & GÁL, T. **Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary**. *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 582-596, 2017.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Aqui tem Mata?**. Disponível em: < <https://www.aquitem-mata.org.br/#/busca/rj/Rio%20de%20Janeiro/Campos%20dos%20Goytacazes>>. Acesso em: 16 junho 2023.
- STEWART, I. D. **A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature**. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 2, p. 200-217, 2011.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. **Local climate zones for urban temperature studies**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R.; KRAYENHOFF, E. Scott. **Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations**. *International journal of climatology*, v. 34, n. 4, p. 1062-1080, 2014.
- TEIXEIRA, F. G.; LEITE, A. F. **Formação de Ilhas de Calor Noturnas na estação de inverno no município de Campos dos Goytacazes (rj)**. In: Semana de Geografia – Dinâmicas Geográficas do Norte e Noroeste Fluminense, v. 6, 2018, Campos dos Goytacazes, 2018, Anais... Campos dos Goytacazes: ISBN: 978-85-94029-22-5.
- VICK, Mariana. **O que é o Acordo de Escazú. E o que ele pode fazer pelo clima**. *Nexo Jornal*. 2023. Disponível em: <<https://www.nexojournal.com.br/expresso/2023/04/20/O-que-%C3%A9-o-Acordo-de-Escaz%C3%BA.-E-o-que-ele-pode-fazer-pelo-clima>>. Acesso em: 25 out. 2023.
- WANG, J; OUYANG, W. **Attenuating the surface Urban Heat Island within the Local Thermal Zones through land surface modification**. *Journal of environmental management*, v. 187, p. 239-252, 2017.
- WILBY, R. L. **A review of climate change impacts on the built environment**. *Built environment*, v. 33, n. 1, p. 31-45, 2007.
- WUDAPT. **LCZ resources – World Urban Database**. *Wudapt.org*. 2023. Disponível em: <<https://www.wudapt.org/lcz-resources/>>. Acesso em: 5 maio 2023.
- XAVIER, M. C. A.; PAIVA, C. M.; ALVES, G. S. **Classificação e índice de mudança climática em Itaperuna, RJ**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2000.

