



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

ARIADNE FERNANDA FERRAZ VIEIRA

**Zoneamento Climático Local no campo térmico do município de Olinda-PE e
abordagem escolar**

RECIFE-PE

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS - DCG
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

ARIADNE FERNANDA FERRAZ VIEIRA

**Zoneamento Climático Local no campo térmico do município de Olinda-PE e
abordagem escolar**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Geográficas, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte

Coorientador: Prof. Dr. Edmário Marques de Menezes Júnior

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Vieira, Ariadne Fernanda Ferraz.

Zoneamento Climático Local no campo térmico do município de Olinda-
PE e abordagem escolar / Ariadne Fernanda Ferraz Vieira. - Recife, 2023.
p.89 : il., tab.

Orientador(a): Cristiana Coutinho Duarte

Coorientador(a): Edmário Marques de Menezes Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia -
Licenciatura, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Clima urbano. 2. Zonas climáticas locais. 3. Ilhas de calor superficiais.
4. Morfologia urbana. 5. Olinda. I. Duarte, Cristiana Coutinho. (Orientação). II.
Menezes Júnior, Edmário Marques de. (Coorientação). IV. Título.

910 CDD (22.ed.)

ARIADNE FERNANDA FERRAZ VIEIRA

**Zoneamento Climático Local no campo térmico do município de Olinda-PE e
abordagem escolar**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Geográficas, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Aprovado em: 02/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cristiana Coutinho Duarte (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^º. Dr. Daniel Rodrigues de Lira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^º. Msc. Tânelly Neriah dos Santos (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Rondônia

A Deus, a todos que partilham a vida comigo e ao mundo que me espera.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi fácil, mas teria sido impossível, chegar até aqui sozinha!

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida, a todos os anjos e santos e à Nossa Senhora, por toda proteção e zelo. Ao universo, pelas energias positivas. Ao mundo, por existir e me possibilitar conhecê-lo.

À minha família, sem a qual eu não seria nada. Meus pais, Gilcélia e Edimilson Júnior, sem o cuidado e amor de vocês nada disso seria possível. Muito obrigada por sempre investir na minha educação, por ser base sólida na construção da pessoa que eu sou, por respeitar e acolher minhas ausências, por aconselhar sempre que preciso, por tornarem as coisas mais leves e por serem o motivo de eu nunca ter cogitado desistir de alguma coisa que eu tenha me proposto a fazer nessa vida. À minha irmã Arthemis, minha alma gêmea. Obrigada por ser tudo o que você é para mim. À minha filha pet Luna, pelo amor incondicional. Eu amo vocês.

Aos amores da minha vida, meus avós - Ina, Adegilson, Carmen e Edimilson (*in memorian*). Tenham certeza que o amor de vocês e os olhos de admiração me fizeram chegar até aqui, assim como, todo o suporte que me deram nos estudos e na vida. Essa vitória é nossa! À minha madrinha Zira, meus tios, tias, primos e agregados, a torcida de vocês foi fundamental.

Aos meus amigos de escola, em especial, à minha amiga Manu, que acompanhou de perto (mesmo longe), todos os passos que dei até aqui e que me apoiou muitas vezes em decisões muito difíceis. Obrigada!

A todos os professores do Colégio Santa Cristina que passaram pela minha formação, faço questão de me recordar de cada um de vocês. Em especial, aos professores Paula Cristina e Jadiael Berto, pelo qual eu aprendi a amar a Geografia.

Na Universidade Federal de Pernambuco, muitos momentos foram vivenciados e muitos atores importantes contribuíram para a minha formação pessoal e profissional, dentre eles, o Programa de Educação Tutorial – PET Geografia, que foi minha casa durante toda a graduação. Como âncora, o programa me manteve firme e me possibilitou incontáveis aprendizados, e não sozinho, todas as pessoas que eu tive a honra de conviver ao longo desse tempo, muito obrigada. Aos meus tutores Ranyére Nóbrega e Cláudio Ubiratan, obrigada por tudo.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Ciências Geográficas e a todos aqueles que estiveram comigo nos projetos de extensão desenvolvidos ao longo desses anos, especialmente à Carla Barreto por ter insistido na minha simpatia ao dar aulas e à Talitha Lucena, que também como coordenadora de curso, foi excepcional. Às orientadoras de monitoria, Carol Leite e Candy Laurendon, e Daniel Lira por todo apoio e orientação ao longo dos semestres, obrigada.

À secretaria do curso de Geografia, em especial à Juliana Felix, pela competência e agilidade em atender às tantas solicitações e dúvidas ao longo desses anos, sempre com muita simpatia e bom humor, muito obrigada!

Ao Colégio de Aplicação, por ter sido o *locus* mais importante da minha formação docente. Neste espaço eu aprendi sobre lecionar, sobre inclusão, sobre planejamento e sobre tantas outras coisas. Em especial, agradeço a Edmário Menezes, por ter sido além de orientador de estágio, meu coorientador neste trabalho e uma grande referência no ensino de Geografia, “tu é fera!”.

Aos sempre membros do Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos – TROPOCLIMA, pela referência que são na área e aos amigos que fiz dentro do grupo, nosso café com Tarot deixaram os dias na UFPE mais leves.

À minha orientadora, Cristiana Coutinho, por acreditar em mim e nas minhas ideias, e pelas tantas coisas que vivenciamos ao longo da minha formação: SigaGeo Jr., monitoria, extensão, Iniciação Científica e agora, monografia. Obrigada por tudo!

A todos que participaram direta ou indiretamente da construção desse trabalho, muitíssimo obrigada. Aos amigos que estiveram comigo nesta e em outras caminhadas (algumas gigantes em aula de campo), seja no início ou na reta final do curso e a todos os geografinhos, conseguimos!

Sem todos vocês, nada disso seria possível, mas certamente, foram os momentos em que estive sozinha com a minha própria companhia, as noites mal dormidas, as madrugadas em que acordei para viajar até Recife, todos os perrengues que estão envolvidos em morar longe da faculdade e todas as renúncias que eu fiz a mim e aos meus, para dedicar tempo a minha formação, que me fizeram chegar aqui. Nada disso foi em vão e eu faria tudo novamente. Valeu a pena!

*[...] Que o céu também te traga luz
pra ir além das montanhas e vales
desse mundo tão imenso a te esperar [...]*
(Edimilson Júnior, 2002)

RESUMO

O clima e as cidades exercem influências entre si, nas mais diferentes escalas. A climatologia urbana é responsável pela realização de estudos acerca do comportamento da atmosfera e suas interações com atividades humanas e com a superfície terrestre. Ao tratar-se de crescimento urbano e adensamento populacional num cenário em que há ausência de planejamento, como é o caso da maioria das cidades brasileiras, alguns fenômenos atuam como resultantes da resposta térmica da superfície diante de uma configuração morfológica, como por exemplo, as Ilhas de Calor Urbanas (ICU) que exercem efeitos negativos para a população. Entre as metodologias que são eficazes no diagnóstico dessas anomalias térmicas, considerando a classificação da paisagem, estão as Zonas Climáticas Locais (ZCLs). Portanto, o objetivo desse trabalho é evidenciar a partir do zoneamento climático local, áreas suscetíveis à ocorrência de Ilhas de Calor Urbanas no campo térmico do município de Olinda-PE, o qual passou por um processo de urbanização sem planejamento, com ocupações espontâneas e sem considerar os aspectos climáticos em seu ordenamento territorial. Para tal, considerou-se a análise do processo de urbanização e da dinâmica climática da área de estudo, a servirem como base teórica para discussão dos resultados obtidos por meio da delimitação das ZCLs, realizada por meio da classificação morfológica da paisagem urbana com base na altura, rugosidade, cobertura e admissão térmica dos materiais propostas pelos percussores da metodologia. Para o mapeamento térmico da área de estudo, visando identificar pontos de suscetibilidade à ICU, foi feita a estimativa da temperatura de superfície terrestre (TST) a partir do processamento de imagens Sentinel-3. Em função dos dados de temperatura estarem limitados à superfície, considerou-se apenas a suscetibilidade à ICU superficial (ICU_{sup}), apresentadas juntamente aos aspectos naturais e artificiais, em fichas técnicas dos pontos de análise escolhidos ao longo da pesquisa. De forma geral, identificou-se pontos ao longo do campo térmico de Olinda que correspondem à ZCLs e apresentam suscetibilidade à ICU_{sup}, influenciados pelo fluxo antropogênico, tipo de cobertura do solo e registro de TST na data de análise. Ao considerar a relevância do estudo do clima urbano para a população suscetível às anomalias térmicas urbanas decorrentes dos arranjos morfológicos, propôs-se uma sequência didática para intervenção escolar que permite ao docente, trabalhar em sala de aula e de forma prática, a análise da resposta térmica aos variados espaços com cobertura e estruturas diferentes.

Palavras-chave: Clima urbano; Zonas climáticas locais; Ilhas de calor superficiais; Morfologia urbana; Olinda.

ABSTRACT

Climate and cities influence each other on many different scales. The urban climatology is responsible for conducting studies on the behavior of the atmosphere and its interactions with human activities and the earth's surface. When it comes to urban growth and population densification in a scenario where there is a lack of planning, as is the case in most Brazilian cities, some phenomena act as a result of the thermal response of the surface to a morphological configuration, such as Urban Heat Islands (UHI), which have negative effects on the population. Among the methodologies that are effective in diagnosing these thermal anomalies, considering the classification of the landscape, are the Local Climate Zones (LCZs). Therefore, the aim of this work is to highlight, based on local climate zoning, areas susceptible to the occurrence of Urban Heat Islands in the thermal field of the municipality of Olinda-PE, which has undergone a process of urbanization without planning, with spontaneous occupations and without considering climatic aspects in its territorial planning. To this end, we considered the analysis of the urbanization process and the climatic dynamics of the study area, to serve as a theoretical basis for discussing the results obtained through the delimitation of the LCZs, carried out by means of the morphological classification of the urban landscape based on height, roughness, coverage and thermal admission of the materials proposed by the pioneers of the methodology. For the thermal mapping of the study area, in order to identify points of susceptibility to UHI, the land surface temperature (SST) was estimated using Sentinel-3 image processing. As the temperature data is limited to the surface, only the susceptibility to Surface Urban Heat Island (SUHI) was considered, presented together with the natural and artificial aspects in technical sheets for the analysis points chosen throughout the research. In general, we identified points along Olinda's thermal field that correspond to LCZs and are susceptible to SUHI, influenced by anthropogenic flow, type of land cover and SST recorded on the date of analysis. Considering the relevance of the study of urban climate for the population susceptible to urban thermal anomalies resulting from morphological arrangements, we proposed a didactic sequence for school intervention that allows teachers to work in the classroom and in a practical way, analyzing the thermal response to different spaces with different roofs and structures.

Keywords: Urban climate; Local climate zones; Surface urban heat islands; Urban morphology; Olinda.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Representação esférica e bidimensional da abóbada celeste (h), o seu ponto central (C) e os obstáculos visuais (“obs”).....	23
Figura 2:	Propriedades físicas das Zonas Climáticas Locais.....	32
Figura 3:	Sistema de classificação da paisagem através de zonas climáticas locais (ZCL).....	33
Figura 4:	Estrutura das classes do sistema ZCL (H/W corresponde à height/widht ou altura/largura do arranjo dos elementos).....	34
Figura 5:	Exemplo de ficha técnica com os perfis de uma ZCL.....	36
Figura 6:	Mapa de localização do município de Olinda-PE.....	38
Figura 7:	Limite dos setores censitários do tipo rural em Olinda-PE no ano de 2010.....	39
Figura 8:	Valores referentes ao uso e ocupação do solo de Olinda-PE.....	47
Figura 9:	Dados Climatológicos para Olinda-PE.....	48
Figura 10:	Zona de Convergência Intertropical em atuação no Hemisfério Sul.....	50
Figura 11:	Mapa de Zonas Climáticas Locais nível 0 para ROI Olinda-PE.....	52
Figura 12:	Áreas de Treinamento originais.....	53
Figura 13:	Teste de acurácia (boxplot com precisões).....	54
Figura 14:	Informações das áreas de treinamento.....	55
Figura 15:	Zonas Climáticas Locais nível 0 de Olinda-PE.....	56
Figura 16:	Estimativa da temperatura de superfície de Olinda-PE.....	57
Figura 17:	Estimativa da Suscetibilidade à ICU _{sup} em Olinda-PE.....	58
Figura 18:	Dados sinóticos da análise.....	59
Figura 19:	Indicação das áreas de análise e discussão dos dados de TST, ZCL e MDT.....	61
Figura 20:	Ficha técnica do ponto de análise 1.....	63
Figura 21:	Ficha técnica do ponto de análise 2.....	64
Figura 22:	Ficha técnica do ponto de análise 3.....	65
Figura 23:	Ficha técnica do ponto de análise 4.....	66
Figura 24:	Ficha técnica do ponto de análise 5.....	67
Figura 25:	Ficha técnica do ponto de análise 6.....	68
Figura 26:	Ficha técnica do ponto de análise 7.....	69
Figura 27:	Exemplos de termo-higrômetro digital e aparelho medidor de CO ₂	72

Figura 28: Mapa de localização dos pontos de coleta de dados sugeridos.....	73
---	----

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1:	Coordenadas dos pontos de análise e discussão dos dados.....	59
Quadro 1:	Dados das imagens Sentinel-3.....	35
Quadro 2:	Caracterização dos pontos de coleta de dados sugeridos.....	72

LISTA DE ABREVIACÕES

A-M-J-J	Abril, Maio, Junho, Julho
AO	Acurácia Geral
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
AT	Áreas de Treinamento
ATSM	Anomalia de Temperatura de Superfície do Mar
BC	Brisa Continental
BM	Brisa Marinha
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAC	Centro de Artes e Comunicação
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CCSA	Centro de Ciências Sociais Aplicadas
CFCH	Centro de Filosofia e Ciências Humanas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTG	Centro de Tecnologias e Geociências
D-J-F-M	Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
ESA	Agência Espacial Europeia
FPA	Frente Polar Atlântica
FVC	Fator Visão do Céu
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
ICU	Ilha de Calor Urbana
ICUatm	Ilha de Calor da Atmosfera Inferior
ICUsub	Ilha de Calor Subsuperficial
ICUsup	Ilha de Calor Superficial
ICUubl	Ilha de Calor da Atmosfera Superior
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LCZ	Local Climate Zones
LI	Linhas de Instabilidade

MDT	Modelo Digital de Terreno
mTa	Massa Tropical Atlântica
N/A	Sigla inglesa para “no answer” ou informação de célula não fornecida
NEB	Nordeste do Brasil
NIATE	Núcleo Integrado de Atividade de Ensino
OAbu	Acurácia Feral para Classes Urbanas <i>versus</i> Naturais
OAu	Acurácia Geral para Classes Urbanas
OAw	Acurácia Ponderada
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PDLI	Plano de Desenvolvimento Local Integrado
PNAD	Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
POA	Perturbação Ondulatória dos Alísios
QGis	Quantum GIS
RMR	Região Metropolitana do Recife
RI	Região de Interesse
RPA	Região Político-Administrativa
SCU	Sistema Clima Urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNAP	Sentinel Application Platform
S-O-N-D	Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro
SR	Sensoriamento Remoto
SVF	Sky View Factor
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
TSTmax	Temperatura de Superfície Terrestre Máxima
TSTmin	Temperatura de Superfície Terrestre Mínima
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
WUDAPT	World Urban Database and Access Portal Tools
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCL	Zonas Climáticas Locais

ZCO	Zona de Consolidação de Ocupação
ZEPEC	Zona Especial de Proteção Cultural e Urbanística
ZIE	Zona de Interesse Estratégico
ZVE	Zona de Verticalização Elevada
ZVM	Zona de Verticalização Moderada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	A CLIMATOLOGIA URBANA E AS ILHAS DE CALOR COMO UM DE SEUS FENÔMENOS.....	21
2.2	A METODOLOGIA DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA IDENTIFICAR ÁREAS SUSCETÍVEIS A ILHAS DE CALOR URBANAS.....	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	31
3.2	DELIMITAÇÃO DAS ZCL E IDENTIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À ICUsup.....	31
3.3	DESCRIÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS.....	35
3.4	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ESCOLAR.....	36
4	CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.1	HISTÓRICO DE URBANIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.2	OS PLANOS DIRETORES E O PLANEJAMENTO URBANO EM OLINDA.....	44
4.3	CLIMATOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO – INFLUÊNCIAS DO NEB E RMR EM OLINDA.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	DELIMITAÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS.....	52
5.1.1	Processamento da classificação e geração do mapa de ZCL	54
5.1.2	Estimativa da Temperatura de Superfície e identificação da suscetibilidade à ICUsup	56
5.2	DESCRIÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS.....	62
6	ALTERNATIVA PARA O ENSINO DO CLIMA URBANO NA REALIDADE ESCOLAR: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	84
APÊNDICE B – FICHA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS..	87

1 INTRODUÇÃO

A expansão demográfica mundial, impulsionada pelos avanços tecnológicos dos mais variados setores, resultou em um crescimento urbano intenso nos últimos 200 anos, que gerou e continua gerando, sérios problemas ambientais, como as mudanças climáticas.

Como um reflexo do aumento populacional, a urbanização, geralmente, atua na substituição da cobertura superficial existente previamente, por materiais e edificações impermeáveis e desencadeiam atividades que descartam resíduos no ar, solo e água (Borges *et al.*, 2022). Esse processo também desencadeia problemas a níveis globais, como as mudanças climáticas e ambientais, que de acordo com o IPCC (2022), tem as cidades como principais propulsoras e ao mesmo tempo que promovem tais mudanças, são as mais impactadas por elas.

O clima local, influenciado pelas diferentes coberturas e uso do solo, tem passado por alterações no fluxo de matéria e energia sobre a atmosfera, e por isso, existe uma correlação de pontos que constroem esse clima urbano, o que significa dizer que há uma série de particularidades em cada localidade. Tais diferenciações morfológicas da cidade desencadeiam as chamadas Ilhas de Calor, que é o efeito que se dá pelo aquecimento das superfícies urbanas e/ou da atmosfera em comparação com áreas rurais ou menos urbanizadas (Voogt e Oke, 2003; Stewart e Oke, 2012).

As Ilhas de Calor Urbanas, tem o potencial de se tornarem um dos maiores problemas associados à urbanização e industrialização, uma vez que o aumento da temperatura tende a desenvolver riscos à saúde humana, alterando também a circulação do ar e a dispersão dos poluentes (Manik e Syaukat, 2017; Siqueira-Gay, Dibo e Giannotti, 2017).

O sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), com a publicação das contribuições do grupo de trabalho 2 sobre os impactos, adaptações e vulnerabilidade às mudanças climáticas, destaca que os impactos provocados pelo aquecimento de 1,5°C, serão sentidos diferentemente no espaço térmico das cidades, dadas as diferentes infraestruturas, permeabilidade, materiais e atividade humana, principalmente nas cidades que passaram e ainda estão passando por uma urbanização sem planejamento, com ocupações espontâneas e sem ordenamento territorial.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD, 2015), a população brasileira tem 84,72% da população vivendo em áreas urbanas, numa realidade em que as cidades do país não passaram por esse processo com o efetivo e devido planejamento,

incluindo os municípios da Região Metropolitana do Recife, no litoral do estado de Pernambuco, entre eles, o município de Olinda, área de estudo da presente pesquisa.

O município de Olinda, que é o quinto mais populoso do estado de Pernambuco, tem pelo menos 98% da sua população residindo em área urbana (Prefeitura de Olinda, 2012) e passou por um processo desordenado e influenciado pelos dinamismos metropolitanos, de urbanização, tendo substituído grandes áreas vegetais por habitações. Assim, a urbanização desenfreada modificou a paisagem, o tipo de uso do solo, o sistema de drenagem e consequentemente, o comportamento climático local.

Apesar de ser evidente a relação dos efeitos climáticos com o crescimento urbano, pouco se é feito de forma prática para melhoria de ambos, principalmente no panorama brasileiro, em que o processo de urbanização é complexo e somado às condições climáticas tropicais. Olinda apresenta, do ponto de vista termodinâmico, a temperatura do ar como reflexo das transformações da superfície, que tende a continuar sendo intensiva e extensiva (Moreira *et al.*, 2022).

A análise desses fenômenos em escala microclimática demanda metodologias que sejam eficazes no diagnóstico de anomalias térmicas nestes ambientes, como por exemplo, as Ilhas de Calor, identificadas pela aplicação do sistema de classificação de paisagem de Zonas Climáticas Locais (Stewart e Oke, 2012; Castro, 2022).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Evidenciar a partir do zoneamento climático local, áreas suscetíveis à ocorrência de Ilhas de Calor Urbanas no campo térmico do município de Olinda e propor uma proposta didática a respeito da temática do clima urbano.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar o processo de urbanização e dinâmica climática da área de estudo;
- b) Delimitar as Zonas Climáticas Locais do município de Olinda;
- c) Mapear a temperatura da superfície para identificar a suscetibilidade a ilhas de calor superficiais;
- d) Descrever as Zonas Climáticas Locais da área de estudo quanto aos aspectos naturais, artificiais e suscetibilidade à ilhas de calor superficiais;

e) Confeccionar uma proposta de intervenção escolar visando o ensino do Clima Urbano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CLIMATOLOGIA URBANA E AS ILHAS DE CALOR COMO UM DE SEUS FENÔMENOS

Os estudos de clima urbano analisam o comportamento da atmosfera e suas interações com atividades humanas e com a superfície terrestre, e por isso, são importantes para uma melhor organização do espaço, assim como, contribuem para intervenções mais conscientes (Mendonça, Danni-Oliveira, 2007).

Os tecidos urbanos e seus tipos de coberturas e estrutura, como prédios, vegetação e rodovias, por exemplo, vão determinar temperatura, fluxo de radiação e umidade das superfícies (OKE *et al.*, 2017). Nesse sentido, a dimensão e a forma urbana atuam, significativamente, nas mudanças atmosféricas, e a Climatologia Geográfica ao compreender a dinâmica atmosférica de um local, considera um conjunto de variáveis físicas, sociais e biológicas, da interação das atividades humanas com a superfície do planeta (Zavattini, 2000; Mendonça, Danni-Oliveira, 2007).

De acordo com Barbosa e Amorim (2021), as primeiras preocupações com o clima nas cidades surgiram antes da Revolução Industrial, sendo o mais antigo indício a respeito da temática clima urbano, encontrado no livro *Fumifugium* (1661) de John Evelyn, em Londres, no qual trata sobre poluição atmosférica nas cidades de forma pioneira.

Muitos foram os problemas decorrentes do acelerado e predominantemente desordenado processo de expansão demográfica e urbana global, evidente a partir do século 18 com a Revolução Industrial, que se intensificaram no século 20. Isso porque, no Brasil e em muitas cidades latino-americanas, a forma de urbanização, gerou muitos problemas socioambientais desde então. Entretanto, segundo Da Silva, Ribeiro e Santana (2014), foi somente partir da década de 1970 que os estudos de clima urbano se intensificaram no país, justamente pela recorrência dos problemas ambientais das grandes cidades.

Nesse momento, os estudos de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1927-2022) apresentaram grande relevância, tornando-o “pai do clima urbano brasileiro”. Monteiro desenvolveu a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU), e conceituou essa vertente entre a meteorologia e a geografia em sua Tese de Doutorado, como o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (Monteiro, 1976).

Evidenciando o clima urbano como um sistema dinâmico, Monteiro apresenta na Teoria dos Sistemas (1976), os canais perceptivos: Conforto Térmico (subsistema

termodinâmico), Qualidade do ar (subsistema físico-químico) e Impacto Meteorológico (subsistema hidrodinâmico). Por evidenciar características resultantes da interação da radiação solar e balanço térmico, o presente trabalho, se trata de um estudo do subsistema termodinâmico, pois um de seus produtos é a Ilha de Calor Urbana (ICU), na qual o mapeamento e caracterização de ZCL vem a ser uma etapa de suma importância. O conceito de campo térmico converge com o subsistema termodinâmico e a própria temperatura é associada ao sentido humano, pois ela é a percepção do calor (Nóbrega *et al.*, 2022).

Monteiro (1990) considera a cidade, dentro do histórico dos estudos de clima urbano, como um espaço localizado de uma contínua, cumulativa e acentuada “derivação antrópica” do ambiente. Nesse processo há a alteração da paisagem natural e substituição de muitos espaços por ambientes construídos dos quais decorrem modificações na atmosfera, inclusive na composição química, assim como, alterações nos balanços energético e hídrico.

Quando o campo térmico urbano se modifica, os parâmetros climáticos também são alterados, portanto, a cidade se torna uma grande modificadora do clima e na própria urbe, são identificados tais efeitos, a partir da temperatura e da precipitação. Entretanto, os efeitos serão sentidos diferentemente entre as pessoas, a depender da sensibilidade de cada uma em relação ao conforto ambiental (Monteiro, 1976; Wmo, 1976; Monteiro e Mendonça, 2003; Steinke, Steinke e Saito, 2010).

As modificações urbanas com a remoção de vegetação alteram significativamente as propriedades da superfície e influenciam os balanços de massa e energia, ou seja, a energia que entra e sai do sistema. O balanço de energia muitas vezes, varia o balanço hídrico local, pois o papel de interceptação do dossel é perdido, a evapotranspiração é reduzida e o escoamento superficial é potencializado (Oke, 1978).

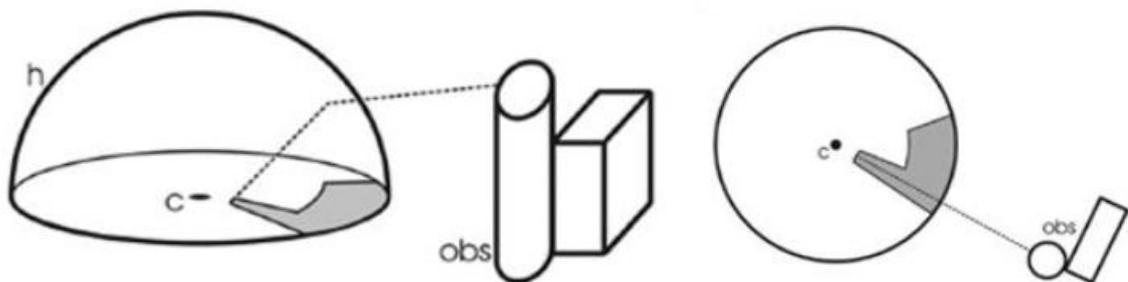
A “camada do dossel” é a alta camada de sobreposição de folhagens da copa das árvores que vai do solo até o nível médio das coberturas dos edifícios. Para sua compreensão e entendimento da importância no Sistema Clima Urbano, analisa-se a estrutura urbana (edificações, larguras e espaçamento de vias), a cobertura da superfície (construída, pavimentada, com cobertura vegetal, solo descoberto e água), o tecido urbano (como aconteceu a expansão) e o metabolismo urbano (água, calor, poluentes) (Oke, 2006a).

Quando se retira parte ou toda cobertura vegetal de uma localidade, há uma transformação na geometria, assim como no albedo, pois os tipos de superfícies que passam a fazer parte daquele espaço, tem propriedades térmicas, de umidade e aerodinâmicas diferentes. Esse processo diminui a radiação solar em áreas sombreadas, aumenta o albedo e

reduz-se a perda de calor por irradiação noturna em função do baixo fator visão do céu. Esses fatores são dominantes no aumento da temperatura da urbe (Melo *et al.*, 2022).

O Fator Visão do Céu (FVC), do inglês *Sky View Factor* (SVF), é um dos exemplos dos indicadores da estrutura urbana que quantifica a parcela do céu que está visível em um local. Esse parâmetro se dá pela razão geométrica entre a abóbada celeste visível a partir do solo e as obstruções de construções, relevo ou vegetação, a fim de saber a quantidade de céu visível de um determinado ponto, que está disponível para a saída de radiação de uma superfície sem a interceptação de outra superfície (Oke, 1981; Unger, 2009). Na figura 1, a área em cor branca compreende a quantidade de céu disponível para dispersão de energia térmica e enquanto a cinza, corresponde aos obstáculos visuais:

Figura 1 - Representação esférica e bidimensional da abóbada celeste (h), o seu ponto central (C) e os obstáculos visuais (“obs”)



Fonte: Moreira *et al.*, 2022 adaptado de Hämmerle *et al.*, 2014.

A principal categoria de análise nos estudos de clima urbano é a paisagem, definida como “a extensão em escala local de terra com características físicas e/ou culturais que foram moldadas por agentes físicos e/ou culturais” e subdividida em duas propriedades principais, a saber: cobertura da superfície e estrutura da superfície. (Stewart e Oke, 2012, p. 1880).

A estrutura é tridimensional e interage com fluxo de vento, transporte de calor atmosférico e saldo de radiação. Corpos hídricos, vegetação e superfícies impermeáveis são exemplos de coberturas da superfície, que se trata das características dos materiais e sua capacidade de modificar a umidade e o albedo, assim como, aquecer e resfriar o solo (Oke *et al.*, 2017).

Mashiki e Campos (2013) comentam que devido a seu calor específico (1cal/g°C), a água necessita de grande quantidade de energia para elevar sua temperatura. Ou seja, a

presença de corpos hídricos favorece a estabilidade da temperatura, resfriando o seu entorno durante o dia e irradiando calor à noite.

A vegetação é uma cobertura da superfície determinante nas análises dentro do SCU, isso porque, age como reguladora de temperatura e umidade. Nas áreas florestadas, a temperatura é menor que outras áreas com tipos de coberturas diferentes, porque as copas, troncos e galhos das árvores atuam como barreira da radiação solar direta, reduzindo a quantidade de energia que aquece o ar. Já as superfícies ausentes de vegetação, realizam a troca de energia e umidade entre o solo e o ar de forma mais direta e efetiva (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007, p. 47-48).

Com a retirada da cobertura vegetal do solo e construção de pavimentos sobre as vias, acelera-se o escoamento da água e diminui-se a evapotranspiração e evaporação, que são outros fenômenos responsáveis pelo resfriamento e/ou amenização da temperatura da superfície. Nesse escopo, ainda, é válido destacar que os efeitos sobre a temperatura da superfície, influenciam também, na temperatura do ar (Castro, 2022).

A saber, a diferença entre a temperatura de superfície e do ar, pode ser explicada pelo balanço de radiação e energia que entra no sistema, uma vez que seu saldo associado à temperatura, promove um fluxo convectivo de calor sensível (temperatura do ar) e o fluxo por condução de calor na superfície (temperatura de superfície). Durante o dia, a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o seu interior. Durante a noite, há o resfriamento dessa superfície, por emissão de radiação terrestre (ondas longas), e inverte o sentido do fluxo, que agora passa a ser do interior do solo para a superfície.

As temperaturas das superfícies variam de acordo com suas propriedades e materiais, assim, Cilek e Cilek (2021) destacam que as temperaturas de superfície mais altas estão nas áreas com solo pouco permeável, escasso de vegetação e áreas de solo exposto, que são capazes de gerar Ilhas de Calor Urbanas.

As Ilhas de Calor Urbanas podem ser classificadas em diferentes tipos de acordo com seu alcance vertical: Subsuperficiais (ICUsub) que são as diferenças de temperatura abaixo da superfície; Superficiais (ICUsup) que abrangem o gradiente de temperatura das superfícies urbanas e podem ser identificadas por meio de sensores fixados na superfície ou por sensoriamento remoto; da Atmosférica Inferior (ICUatm) que são bolsões de ar quente decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais da superfície de armazenar e refletir energia e produzir calor antropogênico, que ocorrem da superfície até a camada do dossel e podem ser identificadas por sensores em pontos fixos ou transectos móveis e ainda, da

Atmosfera Superior (ICUubl) resultante da diferença da temperatura do ar do topo da camada do dossel até o limite da atmosfera. (Amorim, 2019; Anjos, 2020; Moreira *et al.*, 2022)

Os fatores climáticos são extremamente relevantes, principalmente na Escala Local e Microescala. A influência da proximidade de mares e oceanos atua na regulação da temperatura e diminuição da amplitude térmica, como é o caso das cidades litorâneas do NEB. Além da maritimidade, a radiação solar deve ser extremamente observada, pois envolve a parte construtiva e a densidade urbana. Localidades planas com espaço aberto, conseguem devolver a radiação por meio da reflectância, de forma diferente dos cânions urbanos.

Cânions Urbanos são marcados pelo adensamento de edifícios, obras e outros elementos artificiais e naturais, que se assemelham a um desfiladeiro, principalmente quando as ruas têm pouca largura, que modificam a quantidade de radiação solar e os tempos em que elas atingem a superfície (Wollmann, 2021).

A relação entre a altura das edificações e a largura das vias, são chamadas de “relação H/W” (do inglês height/width ou altura/largura da via) e são utilizadas na representação da geometria desses cânions. Ruas com alta densidade construtiva, retém mais calor, pois, o vento tende a se mover mais devagar próximo ao solo e mais rápido quando ganha altura. A retenção de calor também está relacionada com a capacidade de reflectância das superfícies, ou seja, o albedo. Nos grandes centros urbanos, as ruas são quase que totalmente asfaltadas, e por ser, o piche de coloração escura/preta, tem maior capacidade de reter o calor e consequentemente, menor será albedo.

O adensamento vertical, das vias com edificações de muitos pavimentos e os cânions urbanos, desencadeiam rugosidade aerodinâmica da superfície e fazem com que os ventos subam, ao invés de adentrar naturalmente nas cidades. O desvio dos ventos gera alguns efeitos, como: efeito esquina, efeito barreira, efeito de canalização, efeito Pilotis e efeito Venturi (Gregório e Lukiantchuki, 2020).

O calor que se acumula nas alvenarias das cidades tem relação com a redução da ventilação que retarda o esfriamento vespertino, que vai acontecer de forma lenta, com a troca de ar do interior e exterior da urbe. Um outro fator que retarda a troca de ar quente e frio nas cidades por perda de calor por irradiação noturna, são os elevados níveis de radiação de onda longa na camada de poluentes sobre a cidade, que formam um bolsão de retenção da radiação, dificultando o retorno desse calor para atmosfera (Geiger, 1990 apud Borges *et al.*, 2022).

Todos esses detalhes envolvendo os fatores e elementos climáticos, a morfologia urbana e as dinâmicas ocorrentes, promovem para cada localidade, uma especificidade. As

coberturas artificiais das superfícies, prédios e atividades antrópicas na urbe modificam, de forma bastante significativa, a radiação do balanço de energia e o vento próximo a superfície, criando um clima único nas urbes (Litardo *et al.*, 2020). As mudanças nas propriedades climáticas das cidades, atuam na formação de microclimas, e o mosaico desses, originam o clima urbano como um todo. Os microclimas, em escala local, influenciam de volta, as variáveis supracitadas.

Timothy Oke, pai do Clima Urbano a nível mundial, trabalha a Climatologia Urbana fundamentada na base energética do fenômeno Ilha de Calor (IC), como uma vertente teórica para compreender a cidade por meio do balanço de energia urbano. Ilha de Calor Urbana (ICU) é um dos efeitos decorrentes da densidade construída, que de acordo com Oke (1973) e Mushtaha *et al.* (2021), se refere à diferença de temperatura do ar das áreas densamente povoadas da cidade com as áreas vizinhas fora da cidade, podendo ser provocadas também, pelo fluxo de calor antropogênico e pelo efeito estufa.

Oke (1982) considera a ICU como uma anomalia térmica com dimensões horizontais, verticais e temporais. Dentro do escopo da ICU, emerge o termo “ilha de frescor” enquanto bolsão de ar menos aquecido relacionado com a presença de vegetação diversa, capaz de provocar o efeito parque (park cool island) e o efeito oásis, que contribuem para a formação de áreas menos aquecidas e mais “frescas” nas cidades (Costa, 2009; De Fátima Ferreira, Carrilho e Mendes, 2015).

Ainda, existem outras conceituações para ICU que envolvem a terminologia de zona rural, e de áreas circunvizinhas dentro da própria urbe, mas que apresentem uma diferença significativa de temperatura. Entretanto, a definição do que é rural é um problema em cidades de latitudes distintas e ambientes diversos (Fialho, Fernandes e Correa, 2019). Isso porque, dentro da própria cidade, ocorrem variações térmicas entre os espaços livre e vegetados, com as áreas construídas.

Diante do cenário do atual no período moderno que já não corresponde mais a essa dicotomia de rural e urbano como o período clássico (séc. 19-1980) dos estudos de clima urbano (Stewart, 2019; Moreira *et al.*, 2022), Oke (2006b) propôs que a análise citadina fosse feita a partir da taxa de impermeabilização ou da área construída da superfície.

O fenômeno Ilha de Calor, na maior parte dos estudos é citado como noturno pela capacidade de retenção de energia emitida de algumas superfícies terrestres, em bolsões de ar, gerando um lento resfriamento da cidade, à noite, quando comparado com o entorno (Barring, Mattsson e Lindqvist, 1985; Santamouris, Paraponiaris e Mihalakakou, 2007). Porém, estudos

recentes brasileiros identificaram que em cidades litorâneas a ilha de calor atmosférica mais pronunciada se instalou no centro da cidade durante a tarde, pois durante a noite, a brisa marinha promove homogeneidade do campo térmico, não havendo sobressaimentos de retenção de calor, existindo uma grande influência da maritimidade e dos ventos de brisa na amenização das temperaturas costeiras (Correa e Vale, 2016; Fialho, Fernandes e Correa, 2019, p. 55).

Em cidades de clima tropical, as áreas mais aquecidas não são exclusivas da área central, mas também ocorrem em bairros periféricos, por exemplo, dada a pouca ou nenhuma arborização, as habitações precárias e materiais de sua construção, assim como, o saneamento inadequado (Faria Peres *et al.*, 2018).

2.2 A METODOLOGIA DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS PARA IDENTIFICAR ÁREAS SUSCETÍVEIS A ILHAS DE CALOR URBANAS

Para realizar estudos relativos às Ilhas de Calor é preciso conhecer as características do local e elementos existentes como concreto, vegetação e tipos de solo; ou seja, o volume do mesmo grupo de material em um ambiente. Para identificação da porcentagem de materiais existentes, Stewart e Oke (2012) propuseram para classificação zonal de um clima local, as Zonas Climáticas, que se tornaram um parâmetro internacional no estudo da relação da morfologia urbana com a temperatura local (Wang, *et al.*, 2018).

Inicialmente, Stewart (2007) propôs, como possibilidade metodológica, a criação de mapas de uso do solo com base em critérios físicos e não mais funcionais, onde há um agrupamento por características: fator visão do céu, fracções de cobertura superficial, asperezas do terreno, albedo, admitância à superfície e as condições antropogênicas de produção de calor. Como forma de tornar mais precisa a forma de classificar o uso da terra, aperfeiçoou sua proposta e desenvolveu um método chamado de unidades climáticas urbanas, e o tornou aplicável em qualquer cidade do mundo.

Baseado em estudos anteriores (Chandler, 1965; Auer, 1978; Ellefsen, 1991; Wilmers, 1991; Scherer *et al.*, 1999; Oke, 2006a; Oke, 2008; Loidan e Gtimmond, 2011), Stewart e Oke (2012) propuseram por meio das *Local Climates Zones* (LCZ), em português Zonas Climáticas Locais (ZCL), uma metodologia na qual seriam superadas as limitações existentes, ao reunir um conjunto complexo de propriedades climáticas de superfície na análise. A nova classificação contempla as propriedades físicas da estrutura da superfície, cobertura, tecido e metabolismo, tratadas por Oke (2006b), e estando assim, apta para ser aplicada em todas as

regiões, para classificar de acordo com as propriedades de classe relevantes para o clima térmico da superfície local e para atuar na escala local.

Portanto, tais Zonas Climáticas Locais (Stewart e Oke, 2012), dividem a paisagem urbana em 17 classes de contexto morfológico e de temperatura simplificados. Por meio dessas classes, pode-se compreender o espaço de forma mais detalhada observando a variabilidade da temperatura do ar intraurbano. Um grande enfoque deste conceito é a urbanização e seus impactos térmicos observáveis na superfície, como as mudanças na cobertura do solo, por exemplo, que geram temperaturas superficiais mais elevadas devido a impermeabilidade das mesmas, aumentando o calor antropogênico nas áreas construídas (Vandamme *et al.*, 2019).

Bechtel *et al.* (2015) mencionam que a classificação das ZCL foi projetada para descrever paisagens urbanas e naturais com campos térmicos diferentes em função da propriedade de suas superfícies e poderão ser utilizados, posteriormente, nos estudos de ICU, isso porque a partir das características analisadas por meio dessa classificação, pode-se encontrar zonas com tendência a concentração de temperatura, maior que outras que apresentem características de cobertura e estrutura diferentes.

O “universo” dessa classificação é a “paisagem”, definida como uma extensão de terra em escala local, com características físicas e/ou culturais que foram moldadas por agentes físicos e/ou culturais. As classes/paisagens são divididas de acordo com suas propriedades, na influência da temperatura pelas estruturas e coberturas das superfícies. Nesse sentido, a estrutura (altura e espaçamento de árvores e edifícios) influencia na alteração do clima local por modificar o fluxo de ar, transporte de calor atmosférico e balanço de radiação. No tempo em que a cobertura (permeável ou impermeável) atua na modificação do albedo, disponibilidade de umidade e no potencial de aquecimento e resfriamento do solo. A aglomeração dessas propriedades forma diferentes combinações, e a partir daí, surgem as ZCL (Stewart e Oke, 2012, p. 1884).

O sistema ZCL de classificação de paisagem em subclasses utiliza de parâmetros pré-estabelecidos: *Sky View Fator* (SVF) ou Fator Visão do Céu (FVC), proporção, fração da superfície de construção, fração de superfície impermeável, altura dos elementos de rugosidade (altura dos edifícios e da vegetação) e densidade de fluxo de calor antropogênico, para relacionar componentes das paisagens rural e urbana na investigação do clima local de superfície (Stewart e Oke, 2012).

As zonas de rugosidade urbana altas, ou seja, localidades com maior número de prédios/pavimentos de construções, contribuem no barramento da ventilação e no impedimento do resfriamento dessas áreas por meio do fenômeno das brisas, podendo gerar o efeito de sombra durante parte do dia, favorecendo os corredores de vento. Urge ressaltar, que a rugosidade não é somente tida pelas construções, mas também pela vegetação, que é mais uma responsável pelo sombreamento, diretamente proporcional à altura vegetal. (Lima Júnior, 2018; Moura *et al.*, 2006).

Quando as vias possibilitam a maior circulação do ar, apresentam mais rugosidade horizontal, isto significa baixa pavimentação. Diferentemente dos grandes dosséis urbanos promovidos pelos aglomerados de construção, quando inibem o resfriamento da temperatura ao suspender os corredores de vento (Lima Júnior, 2018).

É importante destacar sobre a classificação em ZCL, que Stewart (2011) trata todas as classes que emergirem da divisão lógica do universo da paisagem como “Zonas Climáticas Locais”, servindo assim, o nome para sua classificação juntamente com Oke (2012) ou para as demais classificações, em que as classes sejam de escala local, de natureza climática e de representação espacial zonal, independente dos procedimentos realizados para obtenção dos resultados. Nesse sentido, as regiões com cobertura uniforme quanto a superfície, estrutura, materiais construtivos e tipos de atividades humanas desenvolvidas em escala horizontal são considerados uma zona.

Ainda, Stewart e Oke (2012, p. 1884) definem ZCLs como regiões de cobertura uniforme da superfície, estrutura, material e atividade humana que se estendem por centenas de metros a vários quilômetros numa escala horizontal.

Por isso, cada ZCL tem regime de temperatura característico, é nomeada individualmente e ordenada por uma ou mais propriedades distintas da superfície e assim, são a reunião das particularidades características de cada lugar em análise. As propriedades físicas de todas são mensuráveis e inespecíficas quanto ao local ou tempo.

As ZCLs se estendem horizontalmente por centenas de metros a dezenas de quilômetros, devendo ter um diâmetro de 400 a 1000 metros (raio de 200-500m), para que a proporção ajustada de sua camada limite interna fique inteiramente dentro da zona e não se sobreponha a ZCLs circundantes de estrutura diferente (Stewart e Oke, 2012, p. 22).

Alguns intervalos de valores podem ser atribuídos para cada tipo de propriedades geométricas (estrutura) e de cobertura superficial, assim como, os valores de propriedades térmicas, radioativas e metabólicas, para que os demais pesquisadores possam classificar

ZCLs em diferentes estudos e realidades, entretanto, eles podem ser adaptados. Baseado na proposição de ZCL de Stewart e Oke (2012), Bechtel *et al.* (2015) formaliza o procedimento de mapeamento do projeto World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT).

O projeto WUDAPT foi desenvolvido para coletar e disseminar informações que descrevam aspectos da forma e função das cidades em uma resolução espacial detalhada de maneira consistente para áreas urbanas em todo o mundo. Consiste inicialmente a partir da descrição das cidades com base no esquema de ZCL, que classifica paisagens naturais e urbanas em categorias, com base em propriedades de superfície relevantes para o clima (Bechtel *et al.*, 2015, p. 1). Nesse projeto, usuários online geram mapas de áreas de treinamento das ZCL usando imagens do Google Earth, informações espectrais de imagens Landsat e Sentinel, entre outros metadados.

Entretanto, estudos em cidades tropicais devem atentar-se para diversos fatores: maior instabilidade atmosférica, maior intensidade dos efeitos relativos às mudanças climáticas, o processo de expansão urbana não ou mal planejado e as desigualdades socioespaciais existentes. Nesse sentido, sugere-se que para realidade de cada localidade de estudo, o pesquisador utilize parâmetros que se adequem à classificação da estrutura e a cobertura da superfície, ou ainda, utilizem metodologias de validação dos dados e detalhamento da paisagem durante a descrição das ZCLs, como por exemplo, a fotointerpretação.

Uma vez que nem sempre uma ZCL pode ter correspondência direta de um tipo construído e/ou de cobertura da terra (ex: ZCL 1 ou ZCL A), foi sugerida a criação de subclasses a partir da junção de ZCL. As subclasses são resultantes dessa combinação de tipos construídos, tipos de cobertura de terra e propriedades variáveis de cobertura de terra. Os códigos das subclasses são apresentados por “ZCL X *ai*”, onde X é a classe mais predominante do conjunto padrão de ZCL, *a* é a classe inferior (se necessário) e *i* é uma propriedade de cobertura de terra variável (se necessário), podendo ser descritas por meio de uma ficha técnica (figura 5) que reúne as informações do perfil de cada classe (Stewart e Oke, 2012; Cardoso e Amorim, 2017).

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para o presente trabalho de conclusão de curso propõem atender aos objetivos específicos propostos no item 1.1.2, e se seguem a partir das etapas enumeradas abaixo:

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Nesta etapa foi realizado um levantamento bibliográfico acerca da temática proposta tendo como principais eixos: a) Climatologia Urbana; b) Ilhas de Calor; c) Zonas Climáticas Locais, sendo seguido pela compreensão da área de estudo com base na morfologia urbana, histórico e expansão das ocupações e na dinâmica climática. Além de livros, artigos, teses e dissertações, foram analisados relatórios e documentos oficiais do município que fornecem informações dos aspectos históricos de ocupação e de ordenamento territorial, como os Planos Diretores, além dos dados climáticos e do comportamento dos sistemas atuantes.

3.2 DELIMITAÇÃO DAS ZCL E IDENTIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À ICU^{sup}

Seguindo a concepção de Stewart e Oke (2012) sobre a interação entre o espaço urbano e o campo térmico associado, o universo da caracterização é a paisagem urbana, por isso, foi considerada a classificação das propriedades cobertura e a estrutura da superfície urbana, realizada a partir do protocolo de mapeamento digital do projeto World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) licença CC BY-NC-SA 4.0 (Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021), que contempla também arranjos físicos e o metabolismo das unidades padronizadas da paisagem urbana, permitindo interpretações do espaço intra-urbano com um viés do clima.

Com base nos dados de sensoriamento remoto, informações urbanas, modelagem climática e crowdsourcing (contribuição de usuários), o projeto possui uma ferramenta de classificação supervisionada chamada LCZ Generator (<https://lcz-generator.rub.de/>), que se baseia em imagens de satélite. A classificação supervisionada utiliza atributos espectrais de cada pixel das imagens e buscam por regiões homogêneas.

No protocolo foram consideradas as propriedades descritas por Bechtel *et al.* (2015) na figura 2, onde: 1= Razão entre a área da planta do edifício e a área total da planta (%); 2= Razão entre a área da planta impermeável (pavimentada, rocha) sobre a área total da planta (%); 3= Razão da superfície permeável sobre a área total da planta (%); 4= Rugosidade que é a razão da altura/largura média dos desfiladeiros das ruas (ZCL 1-7) e espaçamento das edificações (8-10); 5= Razão entre a quantidade de céu visível a partir do nível do solo e a de céu obstruído por construções, relevo ou vegetação (fator visão do céu); 6= Média geométrica da altura dos edifícios (m); 7= Admissão térmica de materiais que é a capacidade da superfície de aceitar ou liberar calor (varia com a umidade do solo e a densidade do material)

($J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2} \cdot K^{-1}$); 8= Densidade média do fluxo de calor ($W \cdot m^{-2}$) da combustão de combustível e da atividade humana (transporte, resfriamento/aquecimento de ambientes, processamento industrial, metabolismo urbano) que varia significativamente com a latitude, estação do ano e densidade populacional; 9= Classe de rugosidade do terreno (baseado em Davenport *et al.*, 2020); 10= Albedo de superfície.

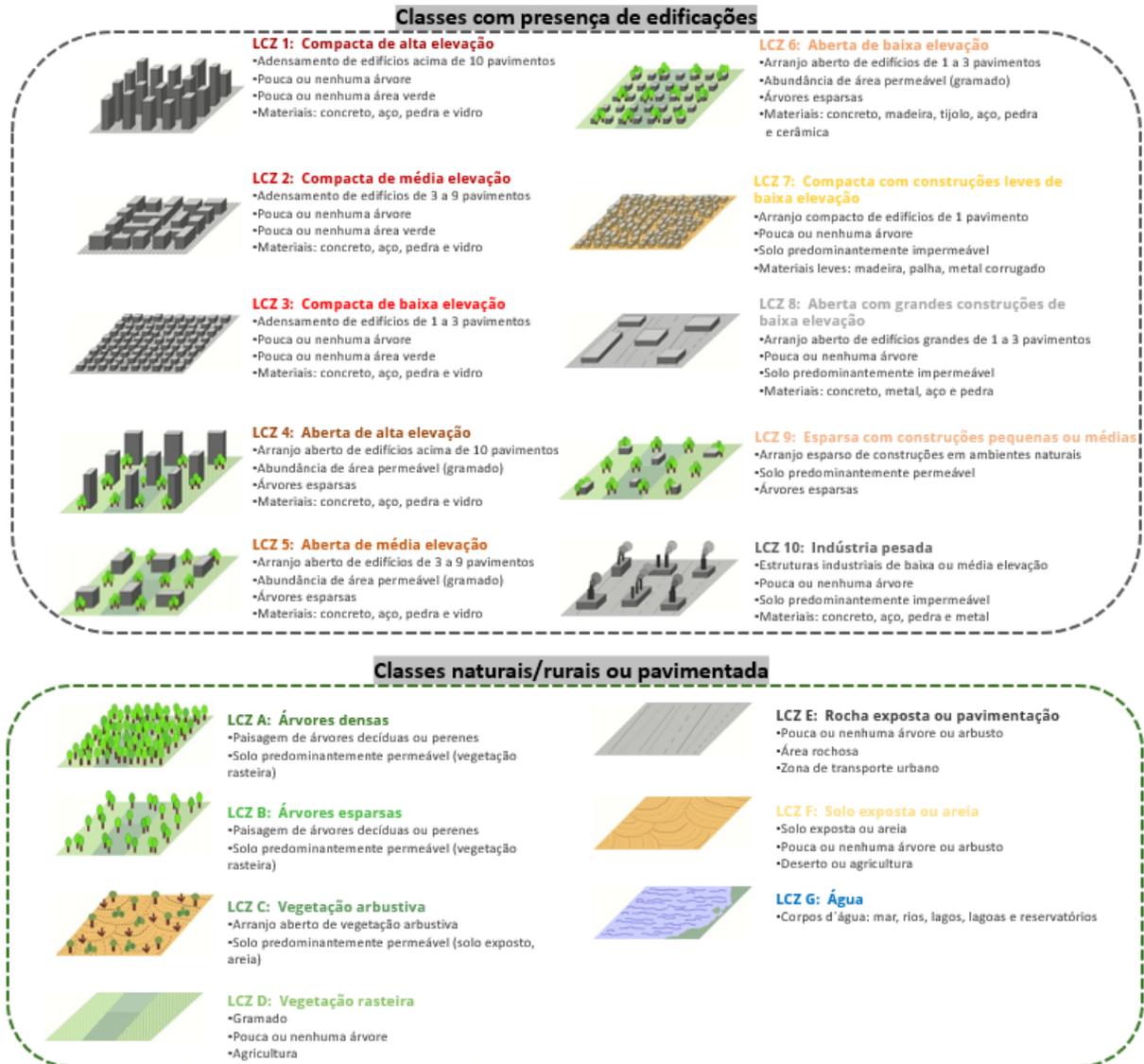
Figura 2: Propriedades físicas das Zonas Climáticas Locais

ZCL	1 (%)	2 (%)	3(%)	4 (H/W)	5 (%)	6 (M)	7 ($J \cdot M^{-2} \cdot S^{-1/2} \cdot K^{-1}$)	8 ($W \cdot M^{-2}$)	9	10
ZCL 1	40-60	40-60	<10	>2	0,2-0,4	>25	1100-1200	50-300	8	0,10-0,20
ZCL 2	40-70	30-50	<20	0,75-2	0,3-0,6	10-25	1000-2200	<75	6-7	0,10-0,20
ZCL 3	40-70	20-50	<30	0,75-1,5	0,2-0,6	3-10	1000-2200	<75	6	0,10-0,20
ZCL 4	20-40	30-50	30-40	0,75-1,25	0,5-0,7	>25	1100-2000	<50	7-8	0,12-0,25
ZCL 5	20-40	10-50	20-40	0,3-0,75	0,5-0,8	10-25	1000-2200	<25	5-6	0,12-0,25
ZCL 6	20-40	20-50	30-60	0,3-0,75	0,6-0,9	3-10	1000-2200	<25	5-6	0,12-0,25
ZCL 7	60-90	<20	<30	1-2	0,2-0,5	2-4	400-800	<35	4-5	0,15-0,35
ZCL 8	30-50	40-50	<20	0,1-0,3	>0,7	3-10	1000-2000	<50	5	0,15-0,25
ZCL 9	10-20	<20	60-80	0,1-0,25	>0,8	3-10	1000-2200	<10	5-6	0,12-0,25
ZCL 10	20-30	20-40	40-50	0,2-0,5	0,6-0,9	5-15	1000-2500	>300	5-6	0,12-0,20
ZCL A	<10	<10	>90	>1	<0,4	3-30	N/A	0	8	0,10-0,20
ZCL B	<10	<10	>90	0,25-0,75	0,5-0,8	3-15	1000-1800	0	5-6	0,15-0,25
ZCL C	<10	<10	>90	0,25-1	0,7-0,9	<2	700-1500	0	4-5	0,15-0,30
ZCL D	<10	<10	>90	<0,1	>0,9	1	1200-1600	0	3-4	0,15-0,25
ZCL E	<10	>90	<10	<0,1	>0,9	<0,25	1200-2500	0	1-2	0,15-0,30
ZCL F	<10	<10	>90	<0,1	>0,9	<0,25	600-1400	0	1-2	0,20-0,35
ZCL G	<10	<10	>90	<0,1	>0,9	N/A	1500	0	1	0,02-0,10

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012); Bechtel *et al.* (2015).

As ZCLs geradas a partir da plataforma correspondem ao sistema de classificação da paisagem de Stewart e Oke (2012) adaptado por Werneck (2022), apresentado na figura 3.

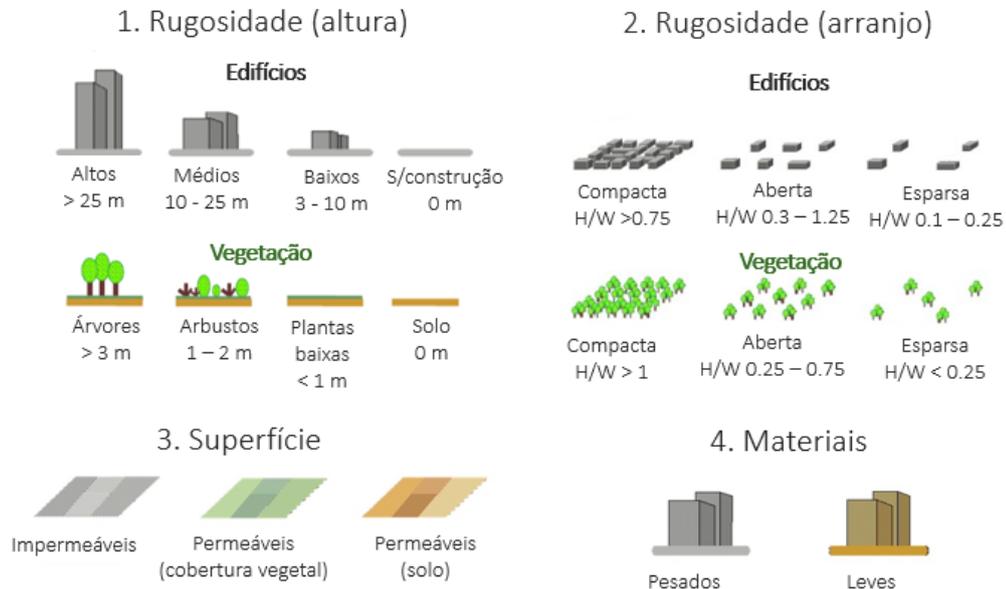
Figura 3 – Sistema de classificação da paisagem através de zonas climáticas locais (ZCL)



Fonte: Werneck (2022) adaptado de Stewart e Oke (2012)

O procedimento foi realizado em três passos: a) coleta de dados dos locais de amostra; b) definição de uma zona para medições do campo térmico; c) seleção da ZCL que melhor se encaixa nas observações das estruturas das classes (figura 4). Esse procedimento chamado de criação das áreas de treinamento, foi realizado a partir do template (.xml) disponibilizado pelo WUDAPT e manipulado no Google Earth Pro.

Figura 4: Estrutura das classes do sistema ZCL (H/W corresponde à height/widht ou altura/largura do arranjo dos elementos)



Fonte: Wudapt (2022) apud Werneck (2022)

Ching *et al.* (2018) organizam as informações do WUDAPT em níveis de detalhe (L) que tem metodologias e técnicas diferentes. O zoneamento realizado neste trabalho compõe o nível de detalhe L0, ou seja, o mais baixo nível de detalhe que mapeia cidades e sua paisagem natural circundante em tipos de ZCL. Já os dados de nível 1 (L1) abarca a utilização dos mapas de ZCL para fornecer um contexto de amostragem no qual se adquire e gerencia informações em escalas mais refinadas (detalhamento da escala da vizinhança com informações como temperatura média radiante e CO²), à medida que os dados nível 2 (L2) tratam de informações completas de todos os elementos urbanos (exemplo: pegadas de construção, estruturas e altura de prédios) que podem existir em algumas áreas urbanas. Os níveis 1 e 2 ainda estão em desenvolvimento.

Uma vez que as classes individuais do produto obtido por meio do WUDAPT terão propriedades espectrais diferentes a depender do local do mundo estudado, é necessário ao pós-processamento, validar e/ou refinar tais dados, principalmente utilizando o conhecimento do pesquisador acerca da área de estudo, podendo ser somados a outros procedimentos metodológicos (Bechtel *et al.*, 2015). Por isso, após a classificação das propriedades de cobertura e estrutura, foi realizada a estimativa da temperatura de superfície terrestre (TST) a partir dos dados secundários das imagens de alta resolução do satélite Sentinel-3, descritas no

quadro 1, para aferir se os tipos construtivos indicados correspondem com as respectivas temperaturas.

Quadro 1: Dados das imagens Sentinel-3

S3A_2_TST		
Turno	Data	Código
Noturno (00h)	23/03/2023	20230323T004835
Diurno (12h)	23/03/2023	20230323T115029

As imagens foram escolhidas de acordo com a disponibilidade do site “The Copernicus Open Access Hub” da Agência Espacial Europeia (ESA), para imagens com pouca ou nenhuma nuvem na área de estudo, nas duas passagens do satélite (00h e 12h). Quando ao processamento das imagens do Sentinel-3, foram realizadas conversões no software Sentinel Application Platform (SNAP/ESA) e em seguida, a manipulação dos dados do sistema geodésico de referência e unidade de medida de temperatura de Kelvin para Celsius ($^{\circ}\text{C}=\text{K}-273,15$) foi realizada no software de código aberto QGis (Quantum GIS) versão 3.22 (Biatowieza) tendo gerado o mapa de estimativa da temperatura de superfície (figura 16).

No software, ainda, foi escolhido um pixel de TST mais amena, correspondente a “área rural”, para estimar a variação da temperatura no perímetro urbano de Olinda nas duas passagens do satélite. Para o período noturno (00h) o pixel “guia” correspondeu a $22,37^{\circ}\text{C}$ e para o período diurno, $23,22^{\circ}\text{C}$. A partir da álgebra de mapas e calculadora raster, obteve-se os valores de variação que subsidiaram as análises da descrição das ZCLs quanto à suscetibilidade de ocorrência de ICU.

A partir dos pontos de maior e menor concentração de temperatura, somados as unidades de paisagem homogêneas características das ZCLs, foram escolhidas as áreas a serem descritas, com maior detalhamento, na etapa seguinte.

3.3 DESCRIÇÃO DAS ZCLS:

Uma vez compreendidos e identificados os principais elementos naturais e artificiais que caracterizam ou não, diferentes áreas no estudo acerca da suscetibilidade à ocorrência de ICU, esta etapa consiste em descrever os perfis de cada classe por meio de uma ficha técnica (figura 5) proposta por Stewart e Oke (2012) e Cardoso e Amorim (2017, p.81). A ficha proposta contém: identificação do nome da classe e o código; definição com as características

morfológicas da superfície, cobertura da terra e fluxo antropogênico; função, se é comercial, residencial ou agrícola; localização, se é campo, cidade, centro ou periurbano; ilustração em desenhos e/ou fotografias e as propriedades da superfície.

Figura 5 – Exemplo de ficha técnica com os perfis de uma ZCL



Para as ilustrações e verificação das propriedades, foi usada a base cartográfica do Google Maps. Os dados de temperatura do ar não foram considerados nas fichas produzidas, apenas a temperatura de superfície do polígono correspondente, mapeada na figura 16.

3.4 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ESCOLAR

Para atingir o último objetivo específico deste trabalho, foi realizada uma proposta de intervenção escolar a partir de uma sequência didática. Inicialmente, pesquisou-se na BNCC, quais habilidades e competências abarcam o conteúdo de climatologia no ensino básico, sendo passível de trabalhar com a temática de clima urbano, tendo sido escolhido o conteúdo do 6º ano do ensino fundamental – anos finais.

Em seguida, elaborou-se a sequência didática em três etapas principais de realização, apresentada no apêndice A, que contempla o ensino teórico e prático do clima urbano. Como locus do estudo se deu para uma Instituição de Ensino Básico do Governo Federal. Entretanto, por se tratar de uma proposta, pode ser replicada em outras realidades, seguindo o que foi proposto no capítulo 6.

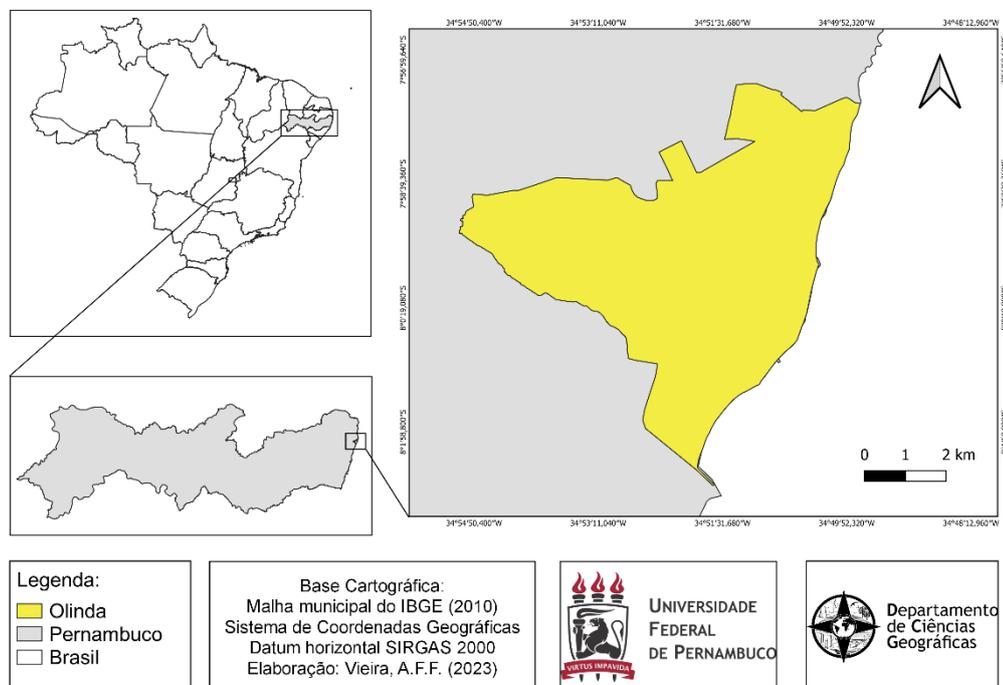
4 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

As características físicas de uma área urbana atuam diretamente nas condições climáticas externas. A altura das construções, a localização da cidade na região, a densidade da área urbana, revestimentos do solo, orientação e largura das ruas e os detalhes das construções e edificações, são exemplos de fatores que influenciam sobre o clima urbano (Givoni, 1992). Nesse sentido, é extremamente relevante, ao estudar o Clima Urbano, analisar as características físicas da área de estudo por meio da caracterização geográfica.

4.1 HISTÓRICO DE URBANIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Olinda, representado na figura 6, encontra-se sob as coordenadas 8° 01' 48" S e 34° 51' 42" W e é uma das cidades que compõe a Região Metropolitana do Recife – RMR que está situada em Pernambuco, no Nordeste do Brasil (NEB). Com cerca de 16 metros de altitude média acima do nível do mar, tem seu revelo formado a partir de colinas e planícies, clima tropical, quente e úmido e está inserida no bioma Mata Atlântica.

Figura 6: Mapa de localização do município de Olinda-PE



Fonte: elaborado pela autora (2023)

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), classifica as cidades em grandes, médias e pequenas a partir do intervalo de habitantes de cada. Cidades médias tem

entre 100 e 500 mil habitantes, sendo assim, Olinda pode ser classificada como tal visto que sua população é de 349.976 habitantes, distribuídas em uma área de 41,30 km² (IBGE, 2022). A densidade habitacional é de aproximadamente 8474 hab/km², especializado diferentemente nos 33 bairros, que estão divididos em 10 regiões político-administrativas (RPA). De acordo com os dados do IBGE (2019), 39,79 km² era a área urbanizada do município, correspondendo à aproximadamente 96.34%.

Olinda é o quinto município mais populoso do estado de Pernambuco, ficando atrás do Recife, de Jaboatão dos Guararapes, Petrolina e Caruaru. Com 96,34% da população residente em área urbana, é na porção centro-norte do município que se apresentam localidades rurais. A Zona Especial de Proteção Cultural e Urbanística - ZEPEC, se estende por um território de 9,73 km², enquanto que a ZEPEC 1 (Sítio Histórico) corresponde a 1,89 km² e 7,84 km² corresponde à área do entorno do Sítio Histórico (Prefeitura de Olinda, 2012).

Dados de 2010 indicam que dos 470 setores censitários do município, 12 são considerados do tipo rural e 458 do tipo urbano. Esses setores rurais correspondem à porção territorial que contém visualmente, a partir das imagens do Google Satellite, a maior concentração vegetal de Olinda, delimitada na figura 7:

Figura 7: Limite dos setores censitários do tipo rural em Olinda-PE no ano de 2010



Fonte: elaborado pela autora (2023)

O município, teve um processo de urbanização influenciado, principalmente, pelos dinamismos metropolitanos, como o crescimento do Recife e de outras cidades circunvizinhas, que explicam a conurbação no atual *continuum*: Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Paulista e Camaragibe (Souza, 2017).

Esse desencadeamento propiciou, na maior parte da cidade, a substituição de grandes áreas vegetais por habitações. Sem compensar tal retirada vegetal, o município não teve planejamento adequado para o rápido crescimento populacional, além de ter sido marcado, pela grande substituição de antigas propriedades rurais por loteamentos. O desenvolvimento urbano desenfreado gerou, por exemplo, modificações na paisagem, mal-uso do solo, modificações nos sistemas de drenagem, além do crescente índice de verticalização.

Souza (2003) coloca como pauta o “desenvolvimento urbano” de uma cidade. Tais transformações chamadas de desenvolvimento decorrem de políticas urbanas, regularização de terrenos e habitações, remoção de populações, dentre outros. Nesse escopo, o ato de desenvolver acolhe o ambiente institucional do planejamento, mas não se preocupa verdadeiramente com a sociedade afetada por essas obras, tanto na remoção delas quanto nos prejuízos coletivos futuros decorrentes da interferência na natureza, como movimentos de massa, alagamentos, aumento de temperatura e mudanças climáticas.

Tamanhas alterações na morfologia da cidade, provocam também, mudanças no campo térmico no qual aconteceram as modificações, que sustentam a preocupação com a continuação do processo e com as consequências urbanas e climatológicas do lugar.

O território da atual Olinda era ocupado originalmente por tribos da nação Tupi. No século 16, a nação Caetés ocupara o lugar e iniciara o processo brando de modificação do ambiente natural por meio da vivência no lugar, no qual já realizavam comércio (Pereira Júnior, 2004).

Ainda no século 16, em 1537, fundou-se a Vila de Olinda – vila sede da capitania de Pernambuco, graças ao Foral de Olinda, carta de doação ou “certidão de nascimento” escrita por Duarte Coelho, donatário português (Oliveira, 1996). No local, haviam ladeiras e ruas tortuosas estreitas e largas, além de estar sobre escarpas com um nível mais alto (colina) e outro mais baixo (Marx, 1980; Novaes, 1990). A priori, era na cidade alta que residia o donatário, que estavam as instituições religiosas e que se concentrava a cotidianidade, enquanto que na cidade baixa estava o desembarque de mercadorias. Entretanto, era na cidade baixa que a vila crescia, dado o acordo com os índios e a posterior presença das instituições religiosas que expandiram fronteiras para além da cidade alta (Nascimento, 2008).

Durante a capitania de Duarte Coelho, a vila de Olinda prosperou economicamente com a monocultura de açúcar e algodão, em função, também, de seus benefícios geográficos, o que despertou interesse estrangeiro, que culminou, no ano de 1631, na tomada pelos holandeses, que também a incendiaram. Antes do episódio, a vila tinha muita gente, belas casas, coqueiros, mosteiros religiosos e beleza cênica (Santiago, 2004).

Com o incêndio, a vila foi abandonada por seus moradores que se transferiram para o povoado do Recife, assim como, as atividades econômicas que também migraram para a atual capital de Pernambuco. Nesse contexto, Recife se expandirá economicamente, demograficamente e de forma central como cidade portuária, quando que em 1654 (fim do período holandês) já se tornara sede da capitania de Pernambuco.

A partir de 1654, Olinda passa a se reconstruir com foco nas partes mais baixas, secundarizando o alto da Sé. Esse processo de expansão permite a ocupação das áreas próximas aos corpos hídricos – praias e rio Beberibe, onde desenvolvia-se atividades agrícolas, pecuárias e pesca (Menezes, 1997). Em 1676, Olinda foi elevada à categoria de cidade e mesmo com a expulsão dos holandeses, conservou a relevante função político-administrativa, pois passou a receber aristocratas para residir, dessa vez na parte baixa.

O Plano Diretor municipal de 2004 aborda que no fim do século 17, a evolução e as mudanças urbanas em Olinda deixam de ser explicadas pela dinâmica interna, quando passaram a ser explicadas pela dinâmica regional, graças ao desenvolvimento e formação do espaço econômico, assim como, os dinamismos da sede Recife, que atuavam diretamente no espaço olindense. A partir da construção de estradas, houve o fortalecimento da relação com Recife e Olinda seria então, um prolongamento da capital.

Mesmo com uma posição secundária em relação ao Recife, havia um fluxo populacional para as terras rurais de Olinda, localizadas próximas ao rio Beberibe, e para as terras urbanas. Araújo (2007) menciona que Olinda funcionava como subúrbio.

Com a melhoria das relações Recife-Olinda, também se percebeu a evolução da expansão física – na cidade baixa, principalmente pelas práticas de veraneio, no qual os banhos de mar se tornaram famosos. Da beira mar, a expansão habitacional passa para as outras ruas, seguindo o sentido da praia norte (Plano Diretor, 2004).

Até o século 19 o quantitativo populacional era de aproximadamente 20 mil habitantes, mas o século 20 já representava transformações quanto à forma urbana e as dinâmicas de expansão – ainda no contexto da prática de veraneio. A prefeitura de Olinda buscou estimular a edificação e o povoamento do litoral da cidade, sustentado pela Lei nº 207

de 1906. Essa estratégia representa, para Araújo (2007), uma ideia ruim, mas que seria o reflexo político do momento no qual buscava-se a expansão urbana, pois provocara mudanças no uso do solo, expulsão de comunidade de pescadores e demais problemas sociais advindos da comercialização daquele espaço.

A partir do início do século XX, observa-se o início da prevalência por estratégias urbanas sobre usos rurais que ganharão impulso no período da República Nova e do Estado Novo, mas sobressaindo-se nos anos 1950, visto que o então presidente Juscelino Kubistchek estabeleceu o desenvolvimentista Plano de Metas, que atingiu todo o território, aumentando a produção de loteamentos urbanos. Como reflexo do processo iniciado a partir de 1950, em meados de 1980, o poder público municipal recriou um zoneamento rural para o município para frear a apropriação dessa porção centro-norte (Souza, 2017).

Ressalta-se também, que ocorreram secas severas no NEB, no início do século 20, que propiciaram a explosão demográfica do Recife e Olinda, decorrente da migração de milhares de pessoas do semiárido nordestino. Essa população recém-chegada, motivada pela seca, habitou os mocambos situados em manguezais e áreas alagadas, permanecendo sob vulnerabilidade ambiental (Pontual, 2001).

Como consta no Plano Diretor (2004), nas décadas de 1950-1970, Olinda que outrora recebera migrantes de baixo poder aquisitivo, passava a receber pessoas ricas pela força do mercado imobiliário e com isso, houve a expansão por todo o litoral.

A expansão urbana moderna de Olinda inicia-se em 1930 com bangalôs no atual Bairro Novo, antigo sítio suburbano e continua pelas praias, mas em termos práticos, demandou de outros investimentos para além do banho de mar, que foi o oferecimento de vias de tráfego e moradias, os quais valoraram aquele espaço urbano em expansão.

Até 1940, o bairro de Casa Caiada, por exemplo, ainda era restrito ao banho de mar, com a presença de alguns mocambos, sem moradias fixas e que abrigava temporariamente pescadores, que assim se fez até a década de 70, quando a cidade experimentou um acelerado processo de urbanização fruto da migração e do êxodo rural – em decorrência da grande mecanização das atividades agrícolas e substituição do trabalho braçal de muitos trabalhadores. Nesse período também, foram implantadas políticas públicas estaduais de incentivo a habitações, infraestrutura e serviços urbanos, e por isso, implementou-se vários conjuntos habitacionais. A implantação de vários conjuntos habitacionais impacta no quantitativo populacional de Olinda que em 1970, já era de 200 mil pessoas. (Santos, 2016).

Alguns bairros litorâneos são considerados como zonas de amenidades naturais, isto é, que tem um conjunto de atributos naturais a influenciar no preço dos imóveis, apresenta características típicas do rápido, intenso e pouco ordenado processo de adensamento vertical. Explicado pela tendência mundial de concentração populacional e de atividades produtivas em cidades litorâneas, os bairros da costa leste de Olinda passam, cada vez mais, a serem explorados pelo setor imobiliário que promove alterações no uso e ocupação do solo urbano (Correa, 2005).

Os bairros costeiros que inicialmente eram ocupados por mocambos e que tinham construções simples, teve iniciado em meados da década de 70, a diversificação das construções. Passara a ter casas com dois, três pavimentos e assim sucessivamente, diante da crescente expansão vertical que dinamiza as características paisagísticas com fins de urbanização por status, muito mais que uma urbanização popular, cuja finalidade é residir sem a influência direta do atrativo: praia.

Dados do IBGE (2010) correlatam que o perfil habitacional concentra a renda mais elevada da cidade na faixa da orla marítima – com abastecimento de água regular, esgotamento sanitário, boa acessibilidade e coleta de lixo regular, na qual o padrão construtivo é médio-alto e tende a continuar a verticalizar-se, emergindo assim, uma grande ameaça a ocorrência de Ilhas de Calor cada vez mais intensas (Santos, 2016).

A urbanização de Olinda inflige constantemente o Plano Diretor, isto porque a orla marítima da cidade tem um expressivo valor histórico, paisagístico e cultural que precisa ser conservado, entretanto, podem ser encontradas brechas no documento que permitem a continuação do processo. Por meio do sobressaimento dos interesses imobiliários, uma série de problemas são gerados, como a erosão da orla marinha e o avanço do nível do mar, lançamento de esgotamento sanitário e resíduos sólidos nos corpos hídricos, visualizados por exemplo, com a construção do paredão rochoso em 2010, que busca proteger a orla que já sofre há anos, com impactos ambientais. A deficiência de fiscalização no controle do processo de uso e ocupação do solo é uma realidade.

Desde 1981 já se verificava uma paisagem verticalizada na porção leste da cidade, até que em 2004, alguns bairros passaram a ser considerados como Zona de Verticalização Elevada (ZVE), que aumentou consideravelmente a especulação imobiliária de expansão de condomínios verticais. A saber, o Bairro Novo compõe uma área de preservação do sítio histórico de Olinda, e apresenta uma certa limitação no crescimento vertical, limitando também o setor imobiliário que encontra brechas para instalar-se nos bairros seguintes que

também são privilegiados pela localização na cidade baixa sobre o relevo de planície marinha (Santos, 2016).

Com o dinamismo da territorialização de espaços urbanos como o de Olinda, marcado por contradições, torna-se um desafio propor planejamentos, pois esses devem negociar com grupos de interesses diferentes. Os arranha-céus da orla marítima não funcionam isoladamente das demais áreas da cidade, portanto influenciam nas favelas, nos conjuntos habitacionais e no sítio histórico, principalmente quanto aos microclimas e ao clima local, direcionamento de vento e eventos pluviométricos.

4.2 OS PLANOS DIRETORES E O PLANEJAMENTO URBANO EM OLINDA

Como etapa metodológica da pesquisa para a caracterização geográfica da área de estudo e entendimento do seu processo de urbanização, a revisão do Plano Diretor é muito importante. O documento tem função social e é um instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, dos quais, Olinda teve: o Plano de Desenvolvimento Local Integrado (PDLI) de 1973; o Plano Diretor de 1997; o Plano Diretor de 2004 e o Plano Diretor de 2020, os três primeiros foram revisados por Santos (2016) e serão apresentados brevemente neste trabalho visto que a consulta é *in loco* no Departamento de Informações Municipais, enquanto que o atual está disponível para consulta e análise de forma online < https://conjuntosurbanospe.com.br/wp-content/uploads/Lei-Complementar-no54-de-2020_Plano-Diretor.pdf>.

O PDLI (1973) que foi instituído na lei urbanística Nº 3.826/73, tinha a proposta de traçar uma política de desenvolvimento e planejamento urbano para a cidade. Nele constavam levantamentos financeiros, indicações de uso e da natureza do solo, zoneamento do sítio histórico e dos bairros, estudos dos mangues, morros e rios, graças ao amplo estudo sobre a cidade, nunca realizado antes. Também continha informações de infraestrutura, construções e formação dos bairros e a preocupação quanto à ocupação daquele espaço urbano. O Plano descreve bairros da orla marinha como parte de um setor de planejamento, que apesar das habitações de padrão médio e alto, não tinha praças e espaços abertos nos quais podiam ser instalados serviços ou qualquer ordenamento comercial, alegando a já existência da problemática urbana, quando descreve:

Na orla marítima, avançando em direção às praias, surgiram loteamentos tornando-as áreas de difícil acesso. A situação agravou-se quando, para iniciar as construções, tornou-se necessário derrubar coqueiros que emolduravam as praias, destruindo assim uma paisagem natural característica da região. A faixa de praia, já estreita,

restringiu-se ainda mais. Nesses loteamentos não foram reservadas áreas ou espaços para a instalação de equipamentos de interesse social ou comunitário, pois os seus proprietários visavam exclusivamente o lucro através da especulação imobiliária. Se hoje, subsistem áreas não construídas nesses loteamentos, isto se deve, tão somente, ao fato dos lotes já vendidos não terem sido edificados (PDLI, 1973, p.105 apud Santos, 2016).

No PDLI também estão presentes diretrizes para estabelecer o zoneamento do Sítio Histórico de Olinda, visando valorizar as ações do poder público e preservá-lo. Michel Parent da UNESCO, em 1967, propõe o tombamento da colina histórica, a montagem de uma infraestrutura básica para captação de fluxos turísticos e também, a elaboração de um plano urbanístico que assegura a preservação (Pontual e Milet, 2001).

No ano de 1969, o tombamento de uma área de 1,2 km² do sítio histórico aconteceu e dez anos depois, esse perímetro aumentou para 10,4 km² com a criação de zonas de amortecimento, até que em 1982 o centro histórico de Olinda se tornou patrimônio cultural da humanidade (Pereira Júnior, 2004; Lopes, 2019).

Em 1997, a lei nº 02/97 institui um novo Plano Diretor para cidade de Olinda com atualizações previstas na Constituição Federal de 1988. O documento referendou ideias do 1º Encontro Luso-Brasileiro de Reabilitação Urbana de Centros Históricos, a pensar no sítio histórico da cidade e áreas rurais (Pontual e Milet, 2001). O documento descreve a divisão territorial do município em: áreas não urbanizáveis; áreas urbanizáveis e áreas de urbanização cautelosa. Segundo o Plano Diretor (1997), a ação de urbanização implica uso do território, em função da maior disponibilidade de infraestrutura urbana de equipamentos e serviços e das peculiaridades de sua topografia.

Essas informações deram e dão muita margem para a continuação do processo de construção, visto que quando menciona, por exemplo, sobre o “uso do território” não se esclarece a forma como se dará esse uso, nem a forma e nem o tipo de construção e também não há uma delimitação quanto a quantidade de pavimentos permitidos já que a verticalização não é abordada.

Seguindo as exigências do Estatuto da Cidade, Lei Federal de nº 10257/2001, o Plano Diretor de 2004 instituído na lei nº 026/2004 estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam a utilização da propriedade urbana em prol do coletivo, da segurança, do bem-estar dos cidadãos e do equilíbrio ambiental.

Até 2004 não haviam tido preocupação com o limite da verticalização, o que fez com que a fazedura se intensificasse. O novo plano, estabeleceu uma regulamentação nesse processo com a tentativa de organizá-lo, mas também cria as Zonas de Interesse Estratégico (ZIEs) para

construção de grandes empreendimentos. Nesse documento, revisado em 2008, existem Zonas de Verticalização Elevada (ZVE), onde um trecho permite que as edificações cheguem a ter até 15 pavimentos, podendo chegar até a 20 com o pagamento outorga onerosa, e o outro trecho com o processo de verticalização mais intenso da cidade, podendo ter até 20 pavimentos e 25, também com a outorga onerosa.

Este Plano Diretor (2004) que prevê o grande adensamento vertical, não realizou avaliações da capacidade de suporte existente e prevista, para estrutura viária, sugerindo a possível insuficiência de absorção dessa demanda num futuro próximo (Fernandes, Maia e Ferraz, 2009).

O Plano Diretor mais recente de Olinda (2020) está sustentado na lei complementar nº 054/2020. No documento estão presentes algumas zonas, como as Zonas de Consolidação de Ocupação (ZCO), Zonas de Verticalização Moderada (ZVM) e as Zonas de Verticalização Elevada (ZVE). No capítulo V, quanto a ocupação do território, o Plano define índices de regulação de ocupação, que são: coeficiente de aproveitamento básico; coeficiente de aproveitamento mínimo; quantidade básica de pavimentos; quantidade máxima de pavimentos, tendo um pavimento, a altura máxima de 3,5m. Também está previsto a outorga onerosa e vários programas de reestruturação.

Nota-se que os prédios com pavimentação acima da cota atual, que foram construídos antes da regularização de números máximos, continuam a existir e que não há um freio na construção dos edifícios, apenas um limite altimétrico. Com a continuação das construções de prédios, mesmo que limitados a 15 ou 20 pavimentos, ou seja, prédios de até 70 metros ou 87 metros com a outorga onerosa.

Quanto aos estudos voltados para cobertura vegetal de Olinda, de acordo com Lopes (2019), a área vegetada do município correspondia a 12,72% da área total, estando entre os menores percentuais de floresta urbana da urbe. Na figura 8, é apresentado o panorama geral das classes de uso do solo propostas pelo autor para a cidade, que já indicam por meio das Regiões Político Administrativas, as áreas da cidade que a partir do perfil paisagístico tem tendência a temperaturas de superfície elevada.

Figura 8: Valores referentes ao uso e ocupação do solo de Olinda-PE

Regionais	Corpos hídricos		Solo exposto		Infraestrutura urbana		Vegetação		Nuvem	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
RPA 1	33,26	11,53	45,75	15,86	138,09	47,86	35,45	12,29	36	12,48
RPA 2	28,26	6,69	54,55	12,91	234,39	55,47	23,59	5,58	81,76	19,35
RPA 3	37,91	6,63	64,42	11,26	404,68	70,75	53,12	9,29	11,84	2,07
RPA 4	12,99	6,8	17,29	9,05	132,15	69,16	8,79	4,6	19,87	10,4
RPA 5	32,93	10,76	19,69	6,44	210,86	68,94	29,96	9,8	12,42	4,06
RPA 6	8,78	2,56	34,18	9,89	268,14	77,62	32,19	9,32	2,15	0,62
RPA 7	37,73	5,65	89,92	13,45	492,91	73,76	23,43	3,51	24,31	3,64
RPA 8	29,46	8,16	63,61	17,61	172,03	48,18	17,36	4,81	76,73	21,24
RPA 9	33,67	4,4	117,54	15,37	254,95	33,33	308,02	40,27	50,77	6,64
RPA 10	13,47	4,14	43,16	13,27	231,12	71,05	7,89	2,43	29,67	9,12
Olinda	268,47	6,32	550,1	12,96	2541,29	59,86	539,78	12,72	345,506	8,14

Fonte: Lopes, 2019.

O crescimento desordenado da zona urbana associado com o descaso do poder público, resultaram em déficits de áreas verdes na cidade de Olinda, salvaguardado pela RPA 9 que tem os bairros Zona Rural e Tabajara. A importância da cobertura vegetal está diretamente relacionada com a qualidade de vida no meio urbano, assim como, na noção de cidades sustentáveis, pois para Martini (2016), a sombra de uma árvore pode representar um oásis numa matriz urbana (Lopes, 2019; Rocha e Nucci, 2018).

A partir dos dados do Departamento de Informações Municipais – DIM de Olinda, Santos (2016) apresenta um mapa do padrão construtivo do município, indicando que os bairros da porção sudoeste da cidade têm maior concentração de habitações de baixo padrão construtivo e topografia acidentada. Enquanto que bairros mais centrais como Ouro Preto, Jardim Brasil e Vila Popular, teriam predominância de conjuntos habitacionais com residências de alvenarias e topografia predominantemente plana. Na porção leste, os bairros litorâneos de Casa Caiada, Bairro Novo, até Jardim Atlântico, tem predominância de habitações de padrão construtivo médio-alto, com tendência a verticalização e topografia predominantemente plana.

4.3 CLIMATOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO – INFLUÊNCIAS DO NEB E RMR EM OLINDA

Lowry (1977) define a natureza do clima urbano pela equação $M_{i,t,x} = C_{i,t,x} + L_{i,t,x} + U_{i,t,x}$, onde M representa uma dada variável climática em um dado local urbano (i),

momento (t) e tipo de tempo (x); C, L e U representam, respectivamente, as componentes regional, local e urbana. Dessa forma, “o Clima Urbano resulta da interação dos fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existente” (Andrade, 2005, p. 70 apud Moreira *et al.*, 2022, p. 3). Nesse sentido, o espaço urbano de Olinda está relacionado com os climas local e regional.

De acordo com o *Climate-Data.org*, por estar em posição litorânea e na zona tropical do globo, o município mantém temperaturas médias mensais superiores a 18°C, baixa amplitude térmica, alta umidade relativa do ar e precipitações abundantes durante todo o ano, que condiciona sua classificação climática, no qual Köppen-Geiger (1961) classifica como Clima Tropical, Quente e Úmido (As’). Caracteriza-se assim, por apresentar uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação (Golfari, Caser e Moura, 1978; COMDECOL, 2005).

No panorama geral dos dados climatológicos (figura 9) para Olinda, do *Climate-Data.org*, observa-se que o mês que apresenta maior média de temperatura máxima (°C) da série histórica (1991-2021) é março e a menor média de temperatura mínima (°C) é agosto. O mês que tem a maior média de milímetros precipitados é junho, dentro da quadra chuvosa (A-M-J-J). A precipitação está diretamente ligada com a umidade em porcentagem, que também é maior nos meses de abril, maio, junho e julho. O mês mais seco é novembro, dentro do período mais seco S-O-N-D e as maiores temperaturas são registradas na quadra D-J-F-M.

Figura 9 – Dados Climatológicos para Olinda-PE

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura média (°C)	26,6	26,7	26,8	26,4	25,7	24,8	24,1	24,1	24,7	25,6	26,3	26,6
Temperatura mínima (°C)	24,3	24,5	24,5	24,3	23,7	23	22,3	22,1	22,6	23,4	23,9	24,3
Temperatura máxima (°C)	29,6	29,7	29,8	29,2	28,3	27,2	26,5	26,7	27,5	28,6	29,4	29,6
Chuva (mm)	66	72	93	134	155	170	156	96	58	44	35	42
Umidade (%)	76	76	77	80	82	83	81	78	16	74	72	74
Dias chuvosos (d)	14	13	15	17	18	18	19	17	13	11	10	11
Horas de sol (h)	7,9	7,9	7,8	7,5	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,3	7,7	8,0

Dados de 1991-2021 para Temperatura média (°C), Temperatura mínima (°C); Temperatura máxima (°C); Chuva (mm); Umidade (%); Dias chuvosos (d). Dados de 1999-2019 para Horas de sol (h).

Fonte: Adaptado de Climate-Data.org (2023).

Castro (2022, p.65) afirma que para o estudo de caso no Ceará, os dados de temperatura do ar e de precipitação das estações meteorológicas evidenciam os meses que tem maior interferência da radiação solar sobre a área de estudo. Isso se dá pelo fato de estar associado a resposta térmica dos materiais dispostos sobre ela, verificando-se que o período seco do ano apresenta maior impacto das altas temperaturas e influencia no conforto térmico urbano. Sugere-se, portanto, que esse processo também aconteça em Olinda.

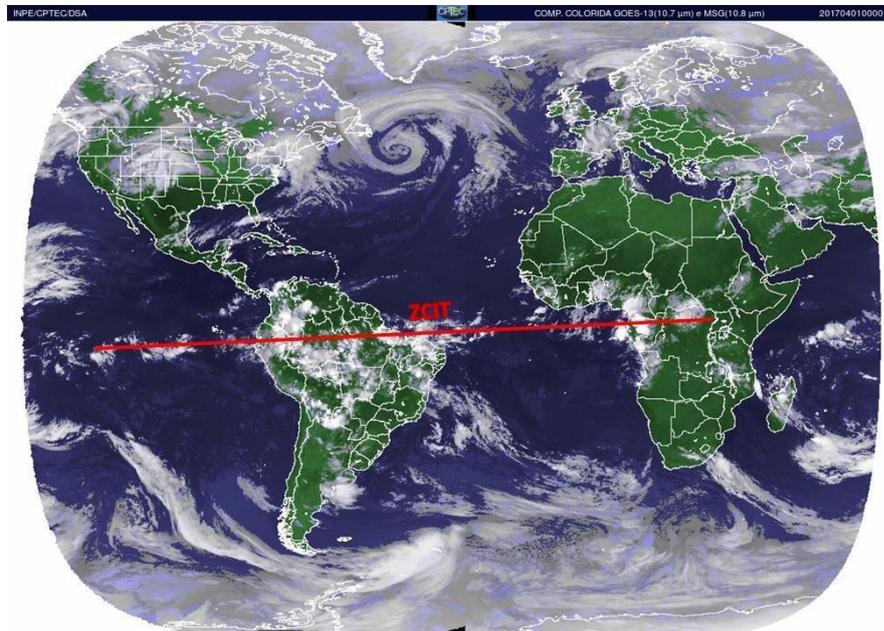
As características climáticas de Olinda estão associadas com os sistemas atmosféricos que atuam no NEB e causam estabilidade e instabilidade climática na região. O NEB apresenta regime sazonal e alta variabilidade da precipitação, tendo como o principal sistema atmosférico atuante na região a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), banda de nuvens formada pela confluência dos ventos alísios de sudeste e de nordeste, sendo responsável pelo maior aporte pluviométrico durante a quadra chuvosa (Ferreira e Da Silva Mello, 2005; Zanella, 2014).

O NEB ainda, tem sua costa oriental, especialmente no litoral de Pernambuco, como uma região sob influência – ao longo da maior parte do ano, da Massa Tropical Atlântica (mTa) que é tropical, quente e úmida, uma vez que se origina a partir da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A ASAS quando associada a convergência de ventos com as demais altas subtropicais, contribui na manutenção da ZCIT.

A mTa influencia a Região Metropolitana do Recife, que sofre com as perturbações derivadas da Circulação Atmosférica Secundária que alteram as condições de tempo dominante, associadas ao deslocamento da ZCIT para o sul; aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); a Frente Polar Atlântica (FPA); aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs); Linhas de Instabilidade (LI); Brisas Marinhas (BM); Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM); Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA).

O período de maior atuação da ZCIT (figura 10) na formação de chuvas intensas e abundantes ocorre no verão, em janeiro e fevereiro, mas atinge Olinda em seu deslocamento para o Hemisfério Sul, desde novembro até maio (meados de primavera até o outono).

Figura 10 - Zona de Convergência Intertropical em atuação no Hemisfério Sul



Fonte: INPE (2022).

O período de maiores precipitações em Olinda ocorre em junho e julho graças as eventuais invasões da FPA e principalmente pelas instabilidades dos cavados barométricos no Atlântico, quando se formam os DOLs. As temperaturas de superfície do mar (TSM) quando aquecem ou resfriam de forma anormal, geram as anomalias El Niño e La Niña no Pacífico e Dipolos Positivo e Negativo no Atlântico.

A ocorrência do El Niño e do Dipolo Positivo atuam na inibição de chuvas para o NEB e a La Niña e o Dipolo Negativo promovem chuvas, principalmente quando combinados (Girão *et al.*, 2006; Vieira e Rêgo, 2021).

Entre o fim do inverno e o início da primavera, as médias térmicas aumentam e a pressão atmosférica sofre um declínio, assim como a umidade relativa do ar que varia nas casas de 70% e 90%, sendo os índices mais baixos do ano. A nebulosidade também regride, alcançando seu ápice em novembro.

O período de maior insolação em Olinda ocorre no verão, juntamente com o aumento da temperatura. Nesse momento até meados do outono, as precipitações são atribuídas aos VCANs (mais frequentes em janeiro e fevereiro), ZCIT e aos cavados barométricos.

As Brisas Marinha (BM) e Continental (BC) quando convergem geram fluxos pluviais noturnos, principalmente no inverno, porém sua maior influência em Olinda está na mudança da direção e velocidade dos ventos.

Em resumo, segue os meses predominantes dos mecanismos promotores de chuva no NEB:

- 1) Frente Fria – novembro a janeiro;
- 2) VCAN – novembro a março;
- 3) LI – fevereiro e março;
- 4) CCM – primavera/verão;
- 5) DOLs – maio a julho.

A área de estudo encontra-se sobre um espaço geológico sedimentar diversificado, integrando parte da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba. Quanto as unidades litoestratigráficas, consistem em quatro conjuntos principais: Grupo Paraíba, depósitos da Formação Barreiras, terraços de origem marinha e sedimentos recentes, sendo a Formação Barreiras, a unidade predominante, ocupando quase completamente as áreas de morros. Nas áreas de planície, os solos têm origem variada dadas as diferentes características geotécnicas (COMDECOL, 2005).

As formas de relevo de Olinda evoluíram a partir da extensa superfície preenchida por sedimentos da Formação Barreiras em função dos processos erosivos. Caracteriza-se então pela presença de tabuleiros que evoluíram até morros baixos ondulados e colinas que vão em direção à costa. A rede fluvial que drena o município está distribuída nas bacias hidrográficas dos rios Beberibe e Paratibe (COMDECOL, 2005).

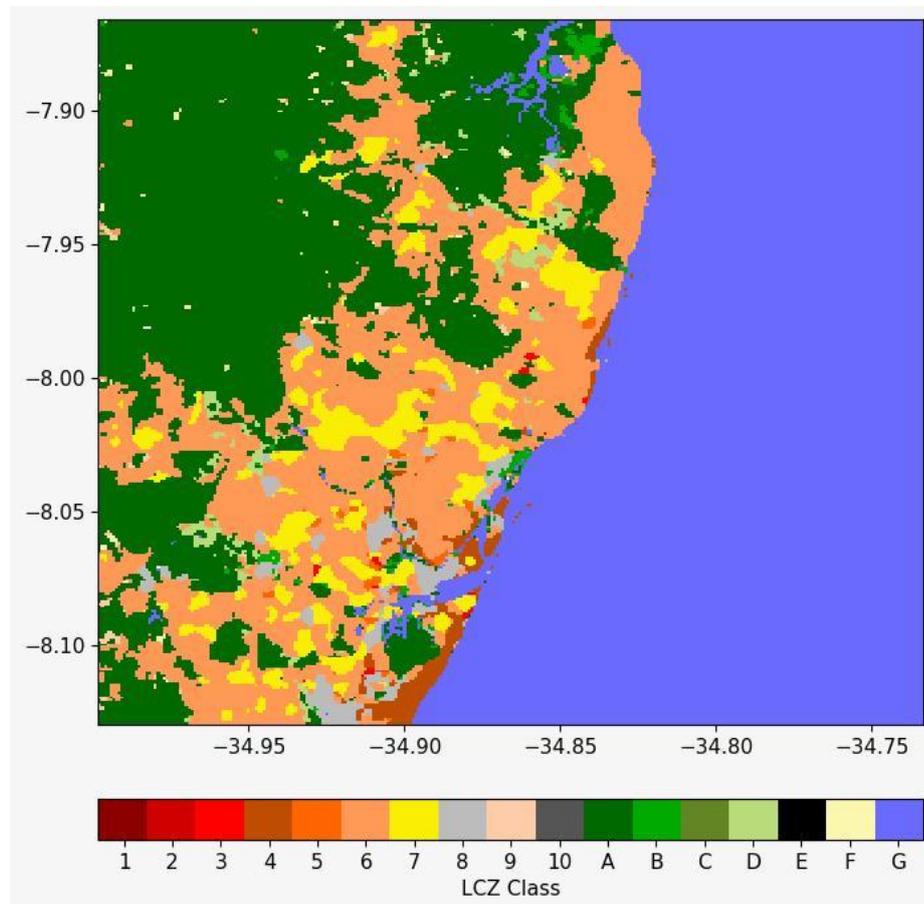
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DELIMITAÇÃO DAS ZCL E IDENTIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À ICU^{sup}

5.1.1 Processamento da classificação e geração do mapa de ZCL

A partir da plataforma LCZ Generator, foi realizada a classificação da estrutura e cobertura da superfície no campo térmico de Olinda-PE, baseado nas ZCLs (Stewart e Oke, 2012), tendo sido gerado como primeiro produto de análise, o mapa apresentado na figura 11.

Figura 11: Mapa de Zonas Climáticas Locais nível 0 para ROI Olinda-PE



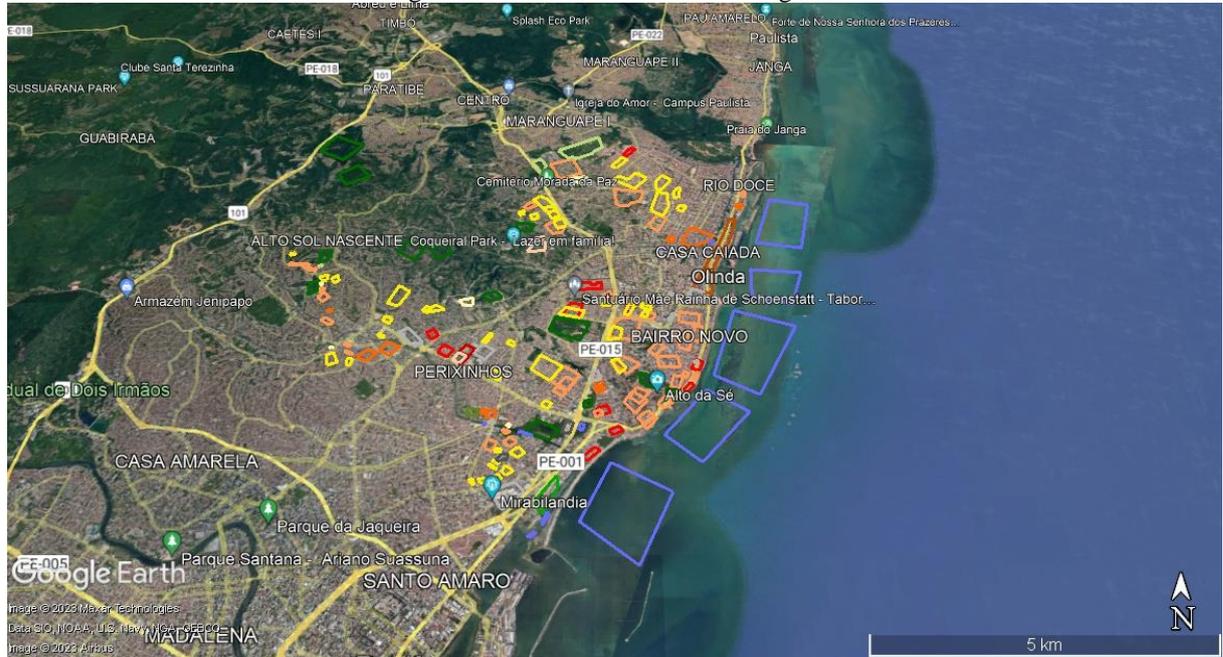
Fonte: Vieira, 2023.

O primeiro passo do protocolo WUDAPT realizado, foi a criação de áreas de treinamento, que consiste na delimitação das tipologias e dos parâmetros morfológicos. O modelo de rótulo das classes principais do sistema de ZCL foi trabalhado no ambiente digital do Google Earth Pro, tendo sido criadas 150 áreas de treinamento (AT), conforme apresentada na figura 14.

Nesta etapa, é relevante destacar as dificuldades no processo de identificação visual das classes e posterior delimitação das AT, tendo sido imprescindível o auxílio da ferramenta

“Google Street View”, a atenção quando ao tamanho das áreas amostrais e a distribuição espacial de tais áreas na região de interesse (tradução livre *region of interest* - ROI) apresentada na figura 12 (áreas de treinamento).

Figura 12: Áreas de Treinamento originais

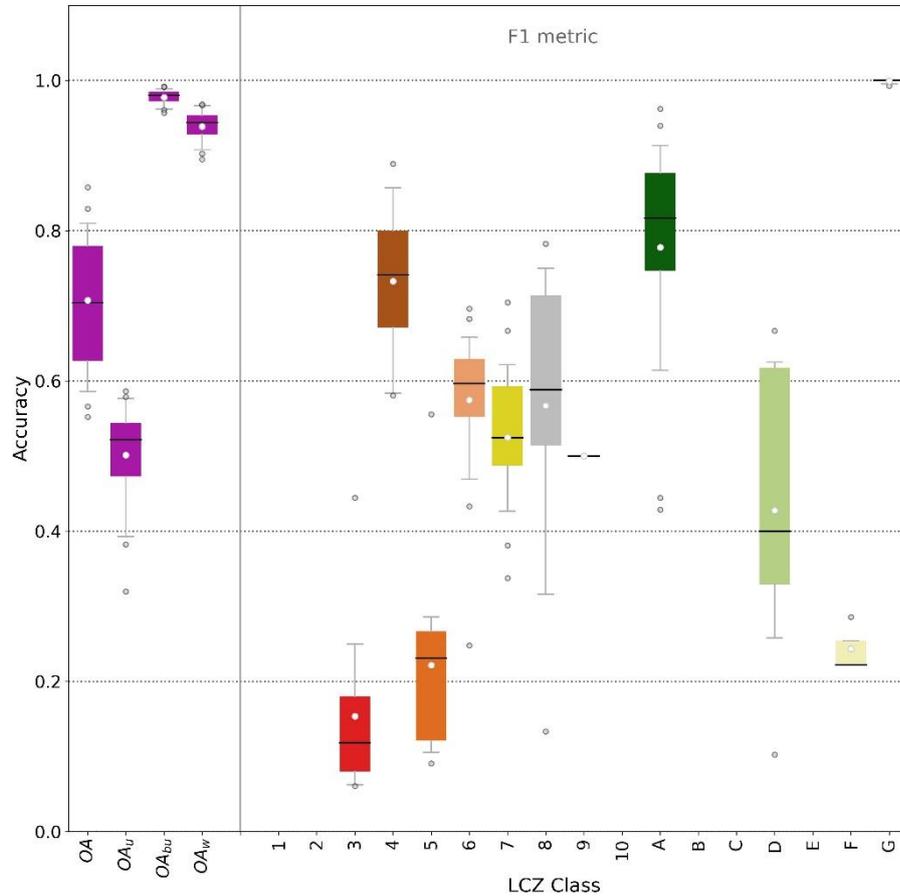


Fonte: Google Earth, 2023.

Seguindo o protocolo WUDAPT, o arquivo de treinamento (extensão .kml) foi submetido na plataforma, tendo sido gerado o mapa (figura 11) para o recorte espacial da ROI e não somente dos limites espaciais da área de estudo.

Os dados de saída do produto, além do mapeamento digital de ZCLs (figura 11) na resolução espacial de 100 x 100 metros (.kmz e .tif), são: um arquivo vetorial com os polígonos provenientes das AT que não se enquadraram nas regras de submissão, a estatística básica do treinamento (figura 12) e o teste de acurácia (figura 13).

Figura 13: Teste de acurácia (boxplot com precisões)

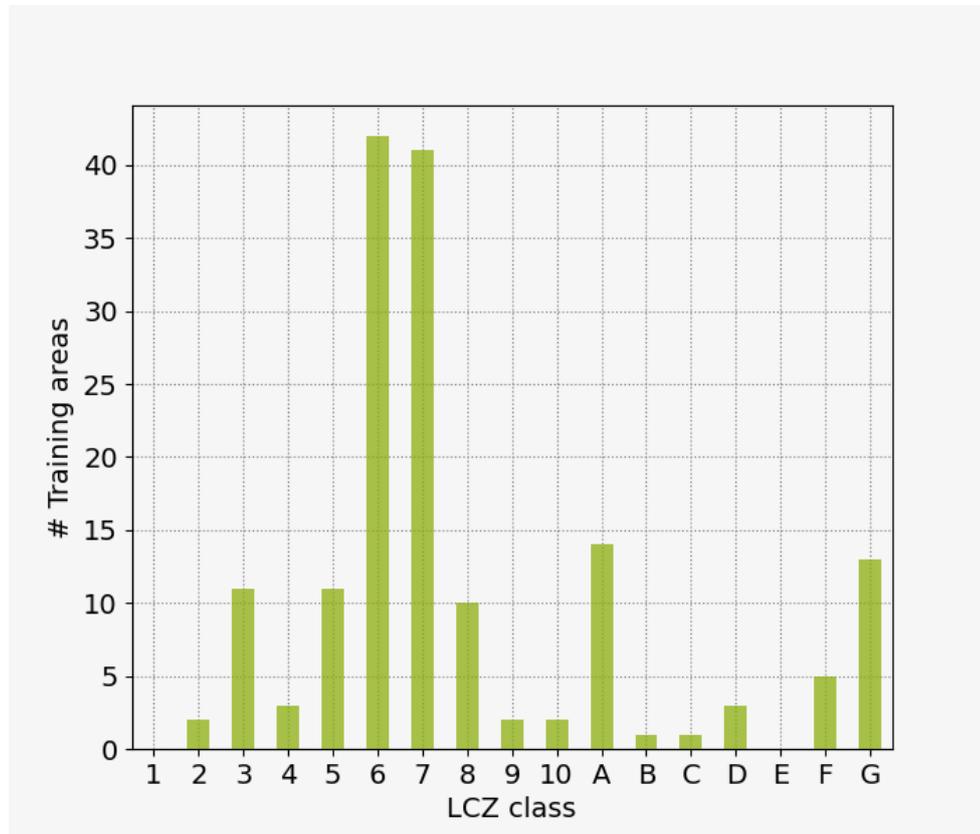


Fonte: Wudapt, 2023.

Os valores apresentados acima, indicam que o mapa gerado, após 6 treinamentos, tem 71% de acurácia geral (OA), 50% de acurácia geral para classes urbanas (OAu), 98% de acurácia geral para classes urbanas *versus* naturais (OAbu) e 94% de acurácia ponderada (OAw). O mapa analisado neste trabalho é o que apresenta a maior OA de todas as AT realizadas, estando a acurácia geral diretamente relacionada com a complexidade da morfologia urbana muito heterogênea, mas que ainda sim, apresenta indicadores para análise realizada e subsidiam a aferição das zonas por fotointerpretação.

O conjunto das AT produzidas no mapeamento resultou em 150 polígonos, tendo sido treinados 15 dos 17 tipos de ZCL, sendo 9 tipos de classes urbanas e 6 tipos de classes natural/rural, como apresentado na figura 14.

Figura 14: Informações das áreas de treinamento

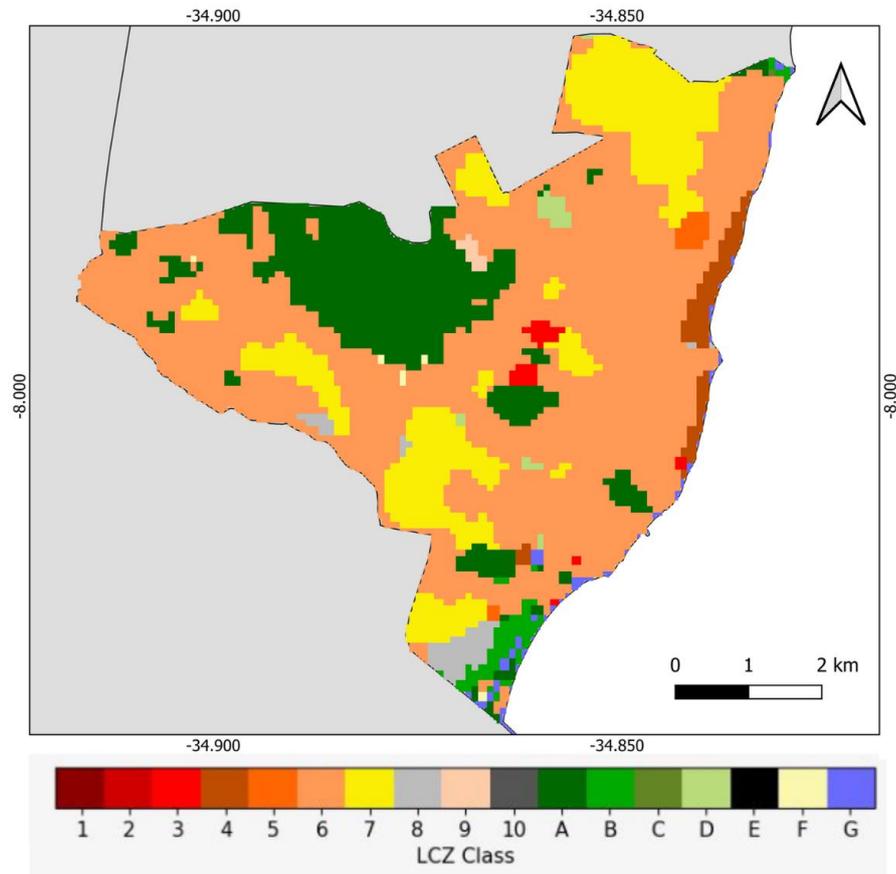


Fonte: Wudapt, 2023.

Dessa forma, não significa dizer que inexistem trechos paisagísticos aproximados com as ZCL (1 e E), apenas que não foram identificados em quantidade e área suficientes para comporem as ATs da classificação. As ZCL 2, 9, 10, B e C, por exemplo, foram menos identificadas durante o treinamento e as classes 3, 5, 6, 7, A e G foram mais facilmente identificadas e treinadas em maior quantidade de forma supervisionada.

Uma vez que a ROI não corresponde aos limites municipais da área de estudo, foi realizado o recorte dos limites municipais a partir do software QGis (3.22), como apresentado na figura 15 abaixo.

Figura 15: Zonas Climáticas Locais nível 0 de Olinda-PE

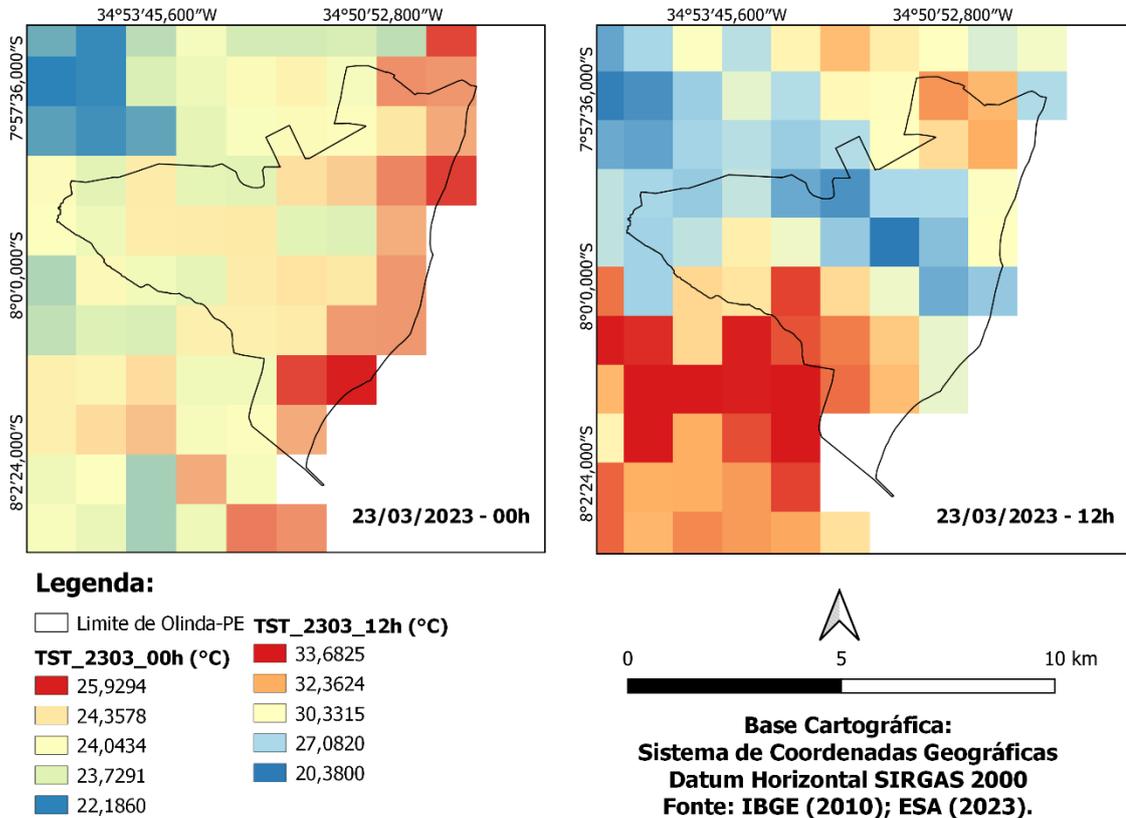


Adaptado de Wudapt, 2023.

5.1.2 Estimativa da Temperatura de Superfície e identificação da suscetibilidade à ICUsup

A análise da espacialização e do comportamento da temperatura da superfície da área de estudo em relação à classificação das ZCLs, permite o entendimento dos impactos e respostas climáticas em relação ao ambiente construído ou natural dessa localidade. Portanto, a partir do processamento das imagens Sentinel-3, do dia 23/03/2023, nas duas passagens do satélite (00h e 12h), gerou-se o mapa abaixo (figura 16):

Figura 16: Estimativa da temperatura de superfície de Olinda-PE



Fonte: elaborado pela autora (2023)

A partir do produto gerado, foi analisada a distribuição da temperatura no campo térmico do município, não tendo sido levados em consideração os trechos com vazios de dados (N/A) nos pixels que comporia totalmente o mosaico sobre o *shapefile* de Olinda.

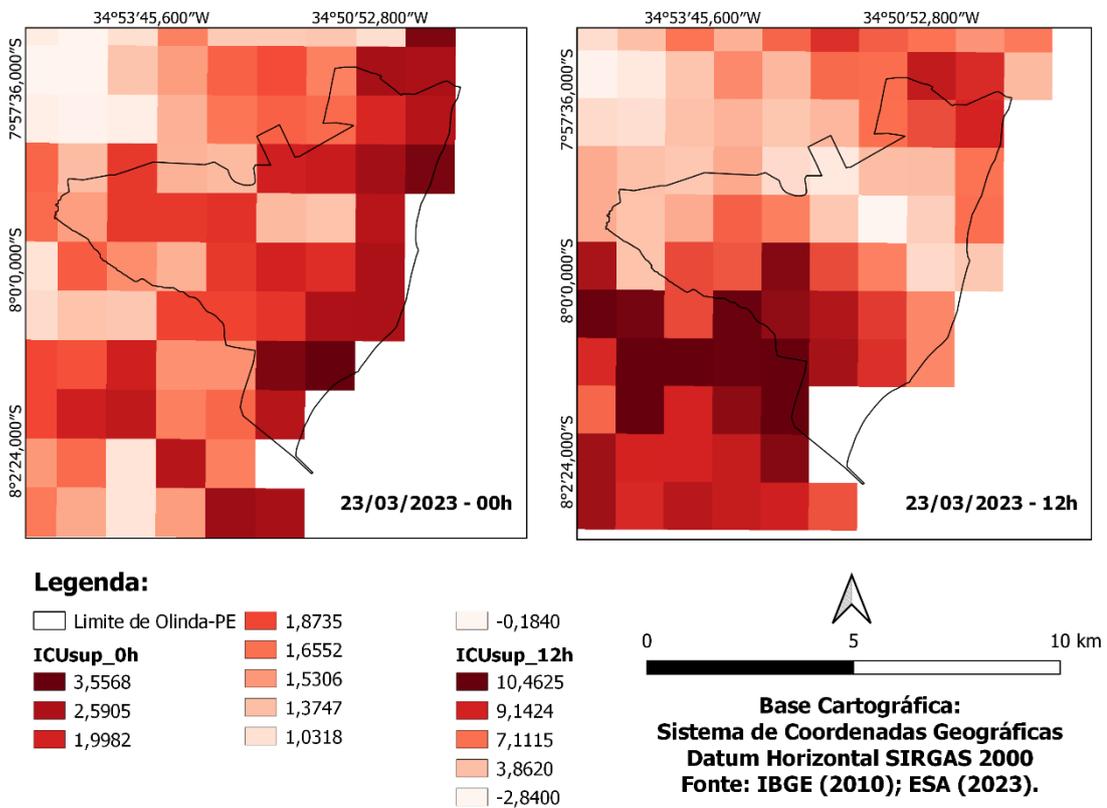
Para o período noturno, percebeu-se temperaturas mais elevadas na costa leste em relação a porção mais interiorana, enquanto que durante o dia, houve uma maior concentração de TST na porção sudoeste da cidade, na área de conurbação Recife-Olinda. Ainda, foi observado nos dois períodos que há uma faixa central sentido sudeste-noroeste de TST mais baixas em comparação aos demais pixels estimados na data de análise.

Ao comparar os valores em graus Celsius das TSTs estimadas, pôde-se perceber que para os limites municipais de Olinda, a temperatura varia (TSTmax-TSTmin) em 2,25°C (25,95-23,70) no período noturno e em 12,94°C (33,32-20,38) no período diurno. Diante das considerações feitas acerca das ICU no tópico 2.1 deste trabalho, essas anomalias tendem a ocorrer principalmente no período noturno, entretanto, para cidades litorâneas com morfologia urbana não uniforme, pode vir a acontecer ainda durante o dia, horas depois do período de maior insolação (12h).

Neste estudo, por terem sido estimados valores de TST, considerou-se a suscetibilidade para ocorrência de ICU_{sup}, mesmo que os horários das passagens do satélite não sejam exatamente nos períodos de maior ocorrência de ICU, sendo considerada então, a resposta dos arranjos urbanos em cada porção do município para o aprisionamento de calor.

Assim, a partir do pixel “guia” com 22,37°C (0h) e 23,22°C (12h), e da álgebra de mapas descritos no tópico 3.2 da metodologia, foi calculada a variação de TST e gerado o mapa da estimativa da suscetibilidade na figura 17:

Figura 17: Estimativa da Suscetibilidade à ICU em Olinda-PE



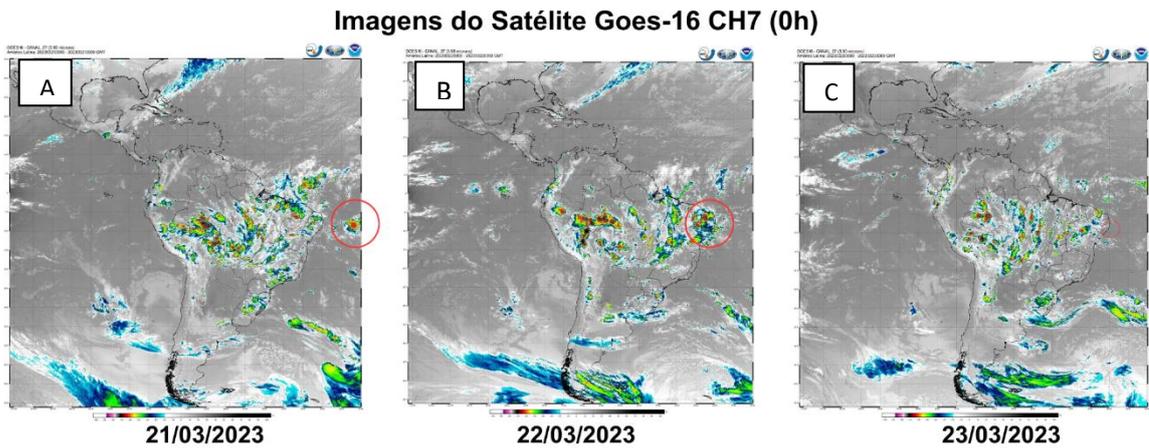
Fonte: elaborado pela autora (2023)

Os valores apresentados na legenda variam em graus Celsius do valor da temperatura de cada horário no pixel “guia”. Para o período noturno, há variação de temperatura em aproximadamente +3,5°C da área de temperatura mais amena (simulada como rural), enquanto que o período diurno registra até quase 10,5°C a mais na área de conurbação Recife-Olinda à sudoeste.

Ainda, urge considerar os sistemas atmosféricos atuantes no dia da coleta de dados de SR. A partir da análise de imagens de satélite Goes-16 (CH7) (figura 18) de 21 a 23/03 (0h), pôde-se perceber a ocorrência de sistemas meteorológicos como cavados de altos níveis e ZCIT, além de um DOL que atuou nos dias 21 e 22/03 (imagens A e B) e em 23/03 (imagem

C) já estava em estado de dissipação, não tendo, sua nebulosidade interferido na coleta dos dados do Sentinel, mas podendo, os totais pluviométricos (APAC, 2023), terem influenciado nos valores de TST.

Figura 18: Dados sinóticos da análise



Totais pluviométricos para os dias de análise (mm)

Código	Posto	Mês/Ano	21	22	23
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	mar/23	4,9	92,7	6,5

Fonte: CPTEC/INPE (2023); APAC (2023)

A partir desta análise prévia da distribuição da temperatura de superfície de Olinda em 23/03/2023, buscou-se relacionar as maiores e menores TSTs estimadas com as ZCL para cada área destacada, e para tal análise, foram escolhidos sete pontos, apresentados na tabela 1:

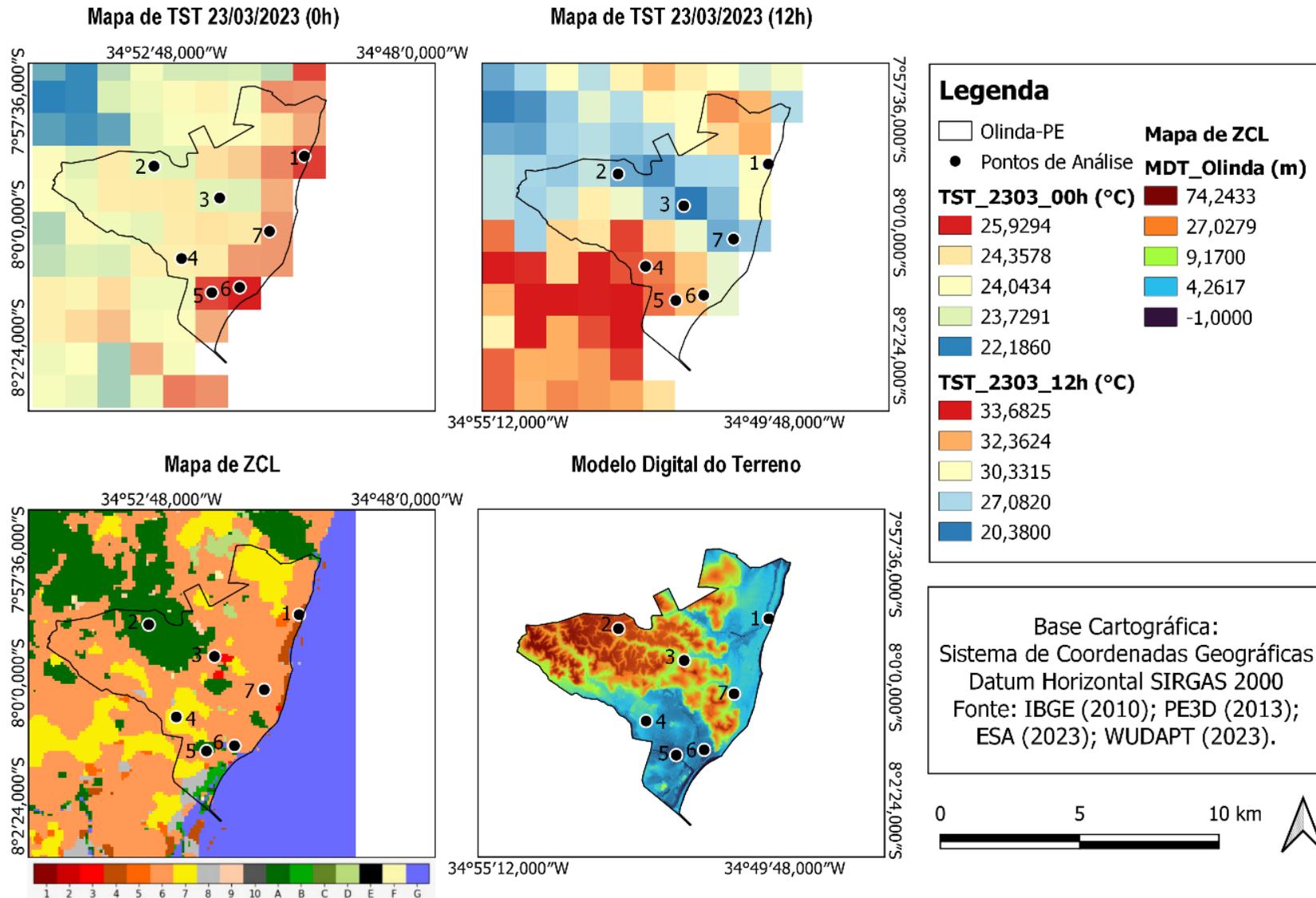
Tabela 1: Coordenadas dos pontos de análise e discussão dos dados

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE
1	7° 58' 38,510"S	34° 50' 4,655"O
2	7° 58' 49,715"S	34° 53' 1,955"O
3	7° 59' 28,637"S	34° 51' 46,112"O
4	8° 0' 39,388"S	34° 52' 32,049"O
5	8° 1' 18,13"S	34° 51' 56,286"O
6	8° 1' 12,082"S	34° 51' 22,392"O
7	8° 0' 6,108"S	34° 50' 46,154"O

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Os pontos correspondem à coordenadas exatas, que foram plotadas igualmente nos mapas de TST, ZCL e MDT processados em SIG, apresentados na figura 19. Esses pontos também serão utilizados para descrição das ZCL no tópico 5.2 deste trabalho.

Figura 19: Indicação das áreas de análise e discussão dos dados de TST, ZCL e MDT



Fonte: elaborado pela autora (2023)

5.2 DESCRIÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS

Conforme descrito no tópico 3.3 da metodologia deste trabalho, a descrição das ZCL foi feita a partir do modelo das fichas técnicas de Cardoso e Amorim (2017, p.81), para os sete pontos de análise descritos na figura 19.

O primeiro destaque é feito para o ponto 1 (figura 20), correspondente à ZCL 4 - aberta de alta elevação. O perfil construtivo da ZCL 4 é marcado pela presença de área permeável, com árvores pontuais e os principais materiais são concreto, aço, pedra e vidro alternados entre altas, médias e baixas edificações, responsáveis pela absorção da radiação incidida e irradiada pela atmosfera. A radiação de onda longa que se acumula nas alvenarias e retarda o resfriamento por irradiação noturna, somada à camada de poluentes em função do fluxo urbano nos bairros litorâneos, explica os maiores valores de temperatura registrados, em comparação com os valores mais baixos da porção noroeste de Olinda.

Figura 20: Ficha técnica do ponto de análise 1



Fonte: elaborado pela autora (2023)

O ponto 2 (figura 21) corresponde a ZCL A e é marcado por árvores densas e solo predominantemente permeável. Dessa forma, a presença de vegetação indica que ao longo do dia, há a absorção de calor, assim como, há uma rápida dissipação por irradiação noturna. O ponto que além ser uma área vegetada, está a mais de 50m acima do nível do mar, recebendo diretamente os ventos alísios.

Figura 21: Ficha técnica do ponto de análise 2



Fonte: elaborado pela autora (2023)

O ponto 3 (figura 22) corresponde a uma ZCL 6, cuja característica principal é reunir construções abertas e de baixa elevação, com presença de vegetação esporadicamente e presença de material concretado, madeira, tijolo, aço, pedra e cerâmica. Localizado no bairro

de Ouro Preto, o ponto está numa área que recebe corredores de vento no seu sentido preferencial.

Figura 22: Ficha técnica do ponto de análise 3



Fonte: elaborado pela autora (2023)

O ponto 4 (figura 23) em Jardim Brasil corresponde a ZCL 7, compacta com construções leves de baixa elevação. Com pouca ou nenhuma árvore, apresenta solo predominantemente impermeável e construções de materiais leves. Na fotointerpretação realizada pelo Google Earth e Google Maps, percebeu-se que também existiam muitas

construções cujo material predominante das construções era concreto, madeira, tijolo, aço, pedra e cerâmica.

Figura 23: Ficha técnica do ponto de análise 4



Fonte: elaborado pela autora (2023)

A coordenada exata do ponto 5 (figura 24), corresponde ao Parque Sítio Novo, no bairro de Peixinhos, sendo considerado uma ZCL A. Entretanto, a área do pixel em que este ponto compõe, apresenta ainda, perfis construtivos correspondetes a ZCL 6, que tem

elevações predominantemente baixas e os materiais alternam entre concreto, madeira, tijolo, aço, pedra e cerâmica, acumulando temperatura ao longo do dia e tendo o retardamento da perda de calor por irradiação noturna, semelhantemente ao ponto 1.

Figura 24: Ficha técnica do ponto de análise 5

ZCL	ÁRVORES DENSAS	A
PONTO DE ANÁLISE 5		
DEFINIÇÃO:		
<p>Forma: Paisagem densamente arborizada, com presença de terreno permeável. Baixo ou nenhum fluxo de tráfego. Grande adensamento urbano nos arredores da ZCL. Função: vegetação remanescente Coordenada: 8° 1' 18,13"S 34° 51' 56,286"O Bairro: Peixinhos</p>		
ILUSTRAÇÃO:		
		
PROPRIEDADES:		
<p>Altitude no MDT: 1m Altura da rugosidade superficial (baixa-média-alta): média/alta Fração de superfície impermeável (baixa-média-alta): baixa Fluxo de tráfego (nulo-baixo-médio-alto): nulo Estimativa da temperatura de superfície (0h): 25,63°C Estimativa da temperatura de superfície (12h): 32,93°C</p>		
DIAGNÓSTICO:		
<p>A coordenada corresponde a uma área densamente arborizada - Parque Sítio Novo, que tem ao entorno, uma área densamente construída correspondente a uma ZCL 6, que certamente influenciou nos valores de TST do pixel correspondente, que acumulam temperatura ao longo do dia e tem um lento processo de perda de calor por irradiação noturna.</p>		

Fonte: elaborado pela autora (2023)

O ponto 6 e o ponto 7 (figuras 25 e 26) também correspondem a ZCL 6. Apesar de terem sido classificados pela mesma ZCL, apresentam grande diferença na temperatura da superfície, que pode ser explicado pela própria configuração urbana e resposta térmica dos

materiais, visto que as ZCL são delimitadas por homogeneidade e não por padrões idênticos. Além disso, vale ressaltar que a posição na cidade influencia no recebimento de ventos e brisas de direção predominantemente de Sudeste e Leste e que o histórico de expansão do Bairro Novo é diferente do Varadouro.

Figura 25: Ficha técnica do ponto de análise 6



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Figura 26: Ficha técnica do ponto de análise 7



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Uma vez que há uma tendência constante de urbanização e conseqüentemente mudança das propriedade climáticas de uma área, podem ocorrer em alguns pontos, a suscetibilidade à ocorrência de ICU_{sup}. Na avaliação realizada, os pontos destacados para alerta são 1, 4, 5 e 6.

6 ALTERNATIVA PARA O ENSINO DO CLIMA URBANO NA REALIDADE ESCOLAR: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA

A climatologia geográfica tem fundamental importância no cotidiano da população, pois é a ciência que objetiva estudar os fenômenos climáticos sobre a população, portanto, esta deve ser trabalhada como conteúdo obrigatório no ensino da geografia escolar, visto que, mesmo atrelados ao cotidiano social, não se tem uma efetiva compreensão dos fatores e elementos do clima por parte dessas (Fialho, 2007; Da Silva, 2019).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) apresenta possibilidades para o ensino de temas climáticos, principalmente, por meio das habilidades EF06GE03, EF06GE05, EF06GE07, EF06GE13 para o 6º ano do Ensino Fundamental II. A partir do estudo sobre as relações entre os componentes físico-naturais e as transformações das paisagens naturais e antrópicas, poder-se-á aplicar em sala de aula, metodologias de ensino que aproximem os estudantes da compreensão da sua realidade climática dinâmica.

Os conhecimentos dos processos climáticos influenciam e são influenciados pelas dinâmicas da sociedade e da natureza geográfica (Ayoade, 2010), principalmente nas cidades, que a todo momento passam por dinamismos urbanos que atuam na modificação do seu próprio clima, isto é, do clima urbano. Nesse aspecto, é preciso que além de abordar os conteúdos básicos do clima, como a diferença entre tempo atmosférico e clima e os elementos e fatores climáticos, também se trabalhe sobre as ações antrópicas no ambiente urbano e seus efeitos micro, meso e macroclimáticos.

Como descrito no capítulo 2 deste trabalho de conclusão de curso, as modificações no ambiente urbano, como a retirada vegetal e o adensamento construtivo, favorecem a retenção de calor e aumento das temperaturas superficiais e do ar, e esse fator influencia no clima local de forma significativa. Em função disso, alguns problemas são decorrentes, como a formação de bolsões de ar quente em ambientes urbanos, chamados de ilhas de calor, problema esse que atinge diretamente a população quanto ao conforto térmico e a qualidade de vida.

Compreender essa dinâmica no clima urbano é essencial para a população e deve estar inserida no currículo escolar associado aos conhecimentos climáticos, principalmente por estarem descritos entre as habilidades da BNCC. Assim, uma alternativa de abordar o clima urbano no ensino básico, é por meio de aulas práticas ou oficinas que discutam e estudem a realidade na qual a instituição faz parte, para que conhecendo o lugar no qual está inserido, os alunos percebam e associem quais elementos e fatores do clima interagem entre si e condicionam os dados a serem investigados (Sousa *et al.*, 2005).

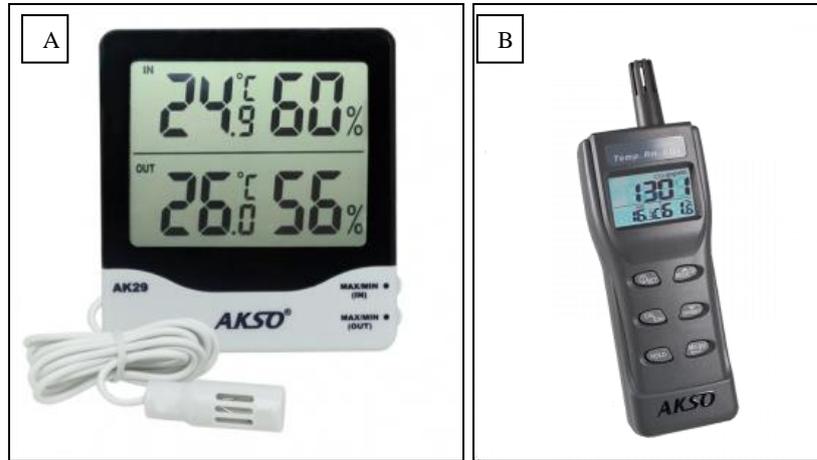
Nesse sentido, propôs-se, como alternativa para o ensino do clima urbano na realidade escolar, uma sequência didática (apêndice A) para o 6º ano do Ensino Fundamental II, com três etapas de realização: A) ensino teórico, B) coleta de dados em campo, C) análise dos dados e escrita do relatório, a fim de cessar o pragmatismo comumente atrelado ao conteúdo.

A etapa A, que consiste no ensino teórico, subsidiará as demais etapas da sequência didática. Buscando atingir os objetivos sugeridos pela Base Nacional Comum Curricular, e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, listou-se os conteúdos a serem trabalhados nesta etapa, a saber: tempo atmosférico vs clima, radiação solar e os movimentos do planeta Terra, fatores e elementos climáticos, sendo seguidos pelos climas do mundo, mudanças climáticas e os fenômenos El Niño, efeito estufa, ilhas de calor, ilhas de frescor e inversão térmica.

Após os conteúdos teóricos serem ministrados no tempo de aulas previsto para regência de uma unidade com três capítulos, poderá ser dada continuidade às etapas seguintes da sequência didática.

A etapa B consiste em analisar o comportamento do clima urbano, a partir do estudo de caso sugerido para o *Campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco, evidenciando principalmente, a variação da temperatura do ar e umidade relativa do ar em áreas vegetadas e em áreas construídas ou com solo exposto, como realizado por Santos *et al.* (2017) e Mendes *et al.* (2018). A partir desta proposta, a etapa prática poderá ser aplicada em outras localidades.

Propõe-se que nesta etapa prática, os alunos se organizem em grupos, que receberão a ficha de instruções e registro dos dados (apêndice B). Para a coleta dos dados, o docente deve estar munido de um equipamento de coleta, podendo ser um termo-higrômetro digital (figura 27) ou aparelho medidor de CO² com termo-higrômetro embutido (figura 28). Ainda, a sugestão é de que essa atividade possa ser realizada no turno da manhã, entre as 10 e 12 horas ou no turno da tarde entre as 13 e 15 horas.

Figuras 27: Exemplos de termo-higrômetro digital (A) e aparelho medidor de CO² (B)

Fonte: Google Imagens, 2023.

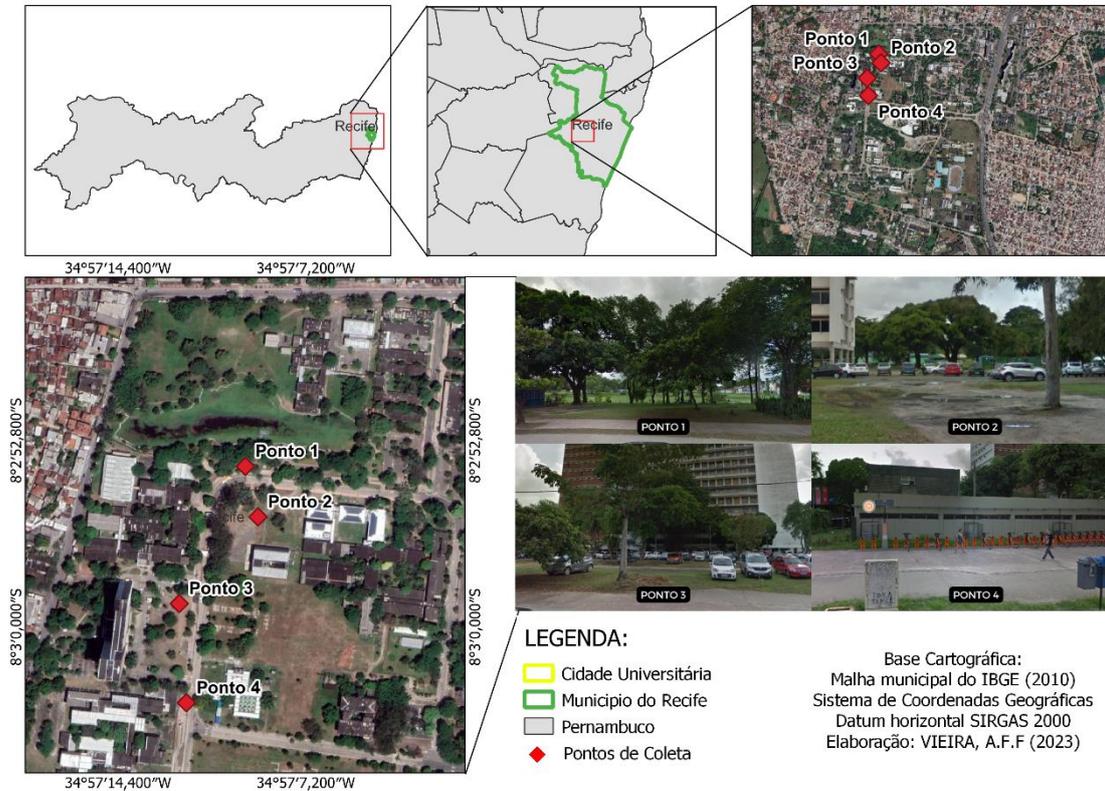
Os pontos (Figura 28) do *Campus* em que a coleta dos dados poderá ser feita, apresentam características particulares e distintas entre si (Quadro 2).

Quadro 2: Caracterização dos pontos de coleta de dados sugeridos

PONTO	LOCAL	DESCRIÇÃO	COORDENADAS
1	Laguinho	Presença de vegetação	8° 2' 53'' S 34° 57' 9.2'' O
2	Estacionamento do Niate CFCH/CCSA	Área de solo exposto	8° 2' 55'' S 34° 57' 9.4'' O
3	Estacionamento do CFCH	Construções espaçadas	8° 2' 59'' S 34° 57' 11.3'' O
4	Calçada do CAC	Área com circulação razoável de veículos	8° 3' 2'' S 34° 57' 11.4'' O

Elaboração da autora, 2023.

Figura 28: Mapa de localização dos pontos de coleta de dados sugeridos



Elaboração da autora, 2023.

A cada dado coletado, o docente informará os valores de temperatura e umidade relativa do ar e os alunos farão o registro, assim como, descreverão a localidade quanto as estruturas e coberturas observadas, que os auxiliarão posteriormente na análise e no relatório.

Na etapa seguinte (C), os estudantes em seus respectivos grupos serão instruídos a organizarem os dados coletados e com o auxílio docente, construirão no quadro, um gráfico que facilite a visualização da variação das temperaturas em cada um dos pontos, e em sua ficha, descreverão as relações entre os elementos e fatores climáticos e ainda, comentarão a forma como compreenderam o microclima da universidade, indicando quais pontos tem mais e menos características semelhantes à ocorrência das ilhas de calor e das ilhas de frescor.

Após a finalização da etapa C, que compreende uma atividade avaliativa, pode-se finalizar a unidade referente ao clima e o tempo em nosso dia a dia, com um momento de discussão do que foi vivenciado e do trabalho elaborado, apresentando também a imagem de satélite do *Campus* a partir do Google Earth para que os estudantes possam perceber a distribuição vegetal, construtiva e pavimentada do local em que estão inseridos.

Espera-se que após as etapas A, B e C, os estudantes percebam que o arranjo arquitetônico urbano gera modificações perceptíveis em escala local, podendo ser percebidas a partir da temperatura e da umidade relativa do ar. Ainda, pode-se esperar discussões nos seguintes temas:

- A medida que a temperatura aumenta, a umidade relativa do ar diminui;
- Vias asfaltadas com material escuro absorvem mais temperatura;
- A presença da vegetação ameniza a temperatura.

Portanto, os estudantes poderão perceber que o tipo de solo, a quantidade de construções e de áreas verdes influenciam no clima local, sugerindo que as áreas de maior temperatura, com área construída e solo pavimentado sejam o cenário com tendência a formar bolsões de ar quente (ilha de calor), à medida que as áreas com temperaturas mais amenas, com presença de árvores e solo com gramíneas, apresentem amenidades térmicas e sejam o cenário próximo dos considerados como ilha de frescor.

Dessa forma, pretende-se aguçar a curiosidade dos estudantes sobre a compreensão da dinâmica climática de locais em que ele vive e desenvolve suas atividades, sendo sujeitos ativos do próprio processo de ensino e aprendizagem, principalmente porque os PCNs (1998) orientam para contextualização dos conteúdos com a realidade dos alunos.

Por fim, espera-se que a partir desta proposta de sequência didática (apêndice A), os alunos compreendam o conteúdo teórico na etapa A, pratiquem na etapa B e possam sistematizar seus conhecimentos realizando uma atividade avaliativa que perpassa pelas capacidades de observação da paisagem por meio da percepção do ambiente térmico e visual; descrição o espaço; análise dos dados coletados; associação dos dados com a paisagem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que as diferentes feições dos espaços intraurbanos geram processos com intensidades distintas de aquecimento da camada de ar em que se inserem, bem como, campos térmicos heterogêneos, podendo estar demarcados em seu interior por ilhas térmicas, frias ou de calor, em relação as temperaturas de superfície e do ar. O calor sensível liberado para o ar pelas atividades de produção, somadas as temperatura de superfície resultantes dos tipos construtivos, contribui para a geração de ilhas de calor.

Olinda, enquanto área de estudo, não apresenta intensas e recorrentes ICU sup, entretanto, como foi constatado e analisado, que o processo histórico e contínuo de urbanização que a cidade sofre, tende a aumentar os arranjos construtivos favoráveis às ocorrências dessas anomalias térmicas tão prejudiciais à saúde humana, que são cada vez mais alertadas pelo relatório do IPCC diante do cenário eminente de mudanças climáticas.

A partir do estudo, foi possível identificar em alguns pontos de análise, que devido a estrutura e cobertura na classificação da paisagem por meio da ZCL e do valor da temperatura de superfície analisado em conjunto com o modelo digital do terreno, perfil de fluxo e função predominante da localização, estão suscetíveis a ocorrência de ilhas de calor superficiais. Por isso, demandam maior atenção dos responsáveis pelo planejamento e gestão do ordenamento territorial do município, visando intervir nas áreas para atuar na possível ocorrência de anomalias prejudiciais à saúde.

Quando ao ensino do clima urbano no ensino básico, identificou-se que apesar de não haver uma recorrência nas abordagens metodológicas e conteudísticas escolares, a BNCC favorece a inserção desse conteúdo na disciplina de geografia. Dessa forma, foi proposto uma sequência didática que aborda, semelhantemente às análises feitas para atingir os objetivos 2, 3 e 4 deste trabalho, o estudo do clima urbano, afim de que os estudantes de quaisquer escolas nas quais a proposta for adaptada e aplicada, possam perceber a dinâmica térmica de uma localidade.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 361-376, mar. 2019.
- ANJOS, M. *et al.* Analysis of the urban heat island under different synoptic patterns using local climate zones. **Building and Environment**, 185 (2020).
- ARAÚJO, R. de C. B. de. As praias e os dias: história social das praias do Recife e de Olinda. **Recife: Fundação de Cultura Cidade do Recife**, 2007.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. São Paulo: DIFEL, 2010.
- BARBOSA, H. P.; AMORIM, M. C. de C. T. Ilhas De Calor Urbanas Noturnas No Bairro Jardim Maracanã Em Presidente Prudente (São Paulo, Brasil). **Geografia em Questão**, v. 14, n. 01, p. 137-159, 2021.
- BARRING, L., MATTSSON, J. O.; LINDQVIST, S. Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo, Swede. **Journal of Climatology**, London, v. 5, p. 433-444, 1985.
- BECHTEL, B. *et al.* Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **ISPRS International Journal of Geo-Information** , v. 4, n. 1, pág. 199-219, 2015.
- BORGES, V. O. *et al.* Zonas climáticas locais e as ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 98-127, 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Guia Digital PNLD 2020**. Brasília, DF: MEC, 2019.
- CARDOSO, R.; AMORIM, M. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**. Lisboa, n. 12, p. 75-99, 2017.
- CASTRO, L. G. de. **Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana**. 2022. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- CHING, J. *et al.* WUDAPT: Uma Infraestrutura Urbana de Clima, Clima e Modelagem Ambiental para o Antropoceno. **Boletim da Sociedade Meteorológica Americana**, 99(9), 1907–1924. 2018. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0236.1>

CILEK, M. U.; CILEK, A. Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, p. 102877, 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima:** Olinda. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pe/olinda-5041/>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

COMDECOL, Defesa Civil de Olinda. **Relatório 2 - Mapeamento de risco e avaliação preliminar das ações estruturais e não estruturais**. Olinda-PE, 83 p, 2005.

CORREA, R. L. **O Espaço Urbano**. 4 ed. São Paulo: Ática, 2005.

CORREA, W. de S. C.; VALE, C. C do. Contribuição à compreensão do campo térmico da Regional Praia do Canto em Vitória (ES) pela metodologia dos transectos. **RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 38, p. 50-81, 2016.

COSTA, E. R. **O Campo Termo-Higrométrico intra urbano e a formação de ilhas de calor e ilhas de frescor em Santa Maria/RS**. 2009. 118 f. Dissertações (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

DA SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. **Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Barcelona: Universidad de Barcelona**, v. 19, n. 1092, 2014.

DA SILVA, M. S. O clima urbano no ensino de geografia: por uma climatologia geográfica significativa. **Giramundo: Revista de Geografia do Colégio Pedro II**, v. 4, n. 7, p. 113-125, 2019.

DE FÁTIMA FERREIRA, L.; CARRILHO, S. T.; MENDES, P. C. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 6, n. 2, p. 101-120, 2015.

DEMUZERE, M., KITNER, J., BECHTEL, B. LCZ Generator: uma aplicação web para criar mapas de Zonas Climáticas Locais. **Frontiers in Environmental Science** 9:637455, 2021.

FARIA PERES, L. *et al.* The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, New York, v. 64, p. 104–116, 2018.

FERNANDES, K. D. L. M.; MAIA, M. L. A.; FERRAZ, C. Forma urbana, legislação urbanística e mobilidade urbana. Qual a conexão. **ANTP, Curitiba-PR**, 2009.

FERREIRA, A. G.; DA SILVA MELLO, N. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FIALHO, E. S. Práticas do ensino de climatologia através da observação sensível. **Revista Ágora**, Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 1, p. 105-123, 2007.

FIALHO, E. S.; FERNANDES, L. A.; CORRREA, W. S. C. Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia, Edição Especial do Simpósio Brasileiro de Climatologia-SBCG-2018**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 47-85, 2019.

GIRÃO, O.; CORRÊA, AC de B.; GUERRA, A. J. T. Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da região metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, n. 1, p. 3-40, 2006.

GIVONI, B. Climatic aspects of urban design in tropical climates. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. Oxford, p. 397–406, 1992.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a aproximação)**. Brasília: PRODEPEF: PNUD/FAO/IBDF/BRA45, 1978. 66p. (Série Técnica, 11).

GREGÓRIO, A. S.; LUKIANTCHUKI, M. A. Morfologia urbana e o conforto ambiental: ventilação natural e insolação como condicionantes da forma urbana. In: Anais do 29º Encontro Anual de Iniciação Científica, Maringá-PR. **29º Encontro Anual de Iniciação Científica**. [S. l.]: Universidade Estadual de Maringá, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 jan 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2023). **Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 ago 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amstras de Domicílio (PNAD) 2015**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 jul 2023.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Second part of the Sixth Assessment Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK; New York, NY: **Cambridge University Press**, 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlagcondicionadas. **Justus Perthes**, 1928.

KRÜGER, E. L. Efeitos da ilha de calor nos níveis de conforto em ambientes externos e internos para as condições climáticas de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 459-467, 2016.

LIMA JÚNIOR, A. F. **Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioambientais**. 2018. 169 f. Dissertação (Mestrado em

Geografia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

LITARDO, J. *et al.* Intensidade da Ilha de Calor Urbana e necessidades energéticas dos edifícios em Duran, Equador: Estudos de simulação e proposta de estratégias de mitigação. **Cidades e sociedade sustentáveis**, v. 62, p. 102387, 2020.

LOPES, I. J. C. **Determinação da cobertura vegetal de Olinda-PE: um subsídio a gestão florestal urbana**. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

MANIK, T.; SYAUKAT, S. Comparative Vulnerability Assessment of Urban Heat Islands in Two Tropical Cities in Indonesia. **British Journal of Environment and Climate Change**, 10 jan. 2017. v. 7, n. 2, p. 119–134.

MARTINI, A. **Análise Quantitativa das Variáveis Meteorológicas em Diferentes Tipologias de Floresta Urbana de Curitiba** – PR. 130 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARX, M. **Cidade Brasileira**. São Paulo: EDUSP, 1980.

MASHIKI, M. Y.; CAMPOS, S. Geoprocessamento Aplicado Na Influência Do Uso E Ocupação Do Solo Na Temperatura Aparente Da Superfície Do Município De Botucatu (SP). **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 143-149, 2013.

MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do Ensino Fundamental**. Brasília: MEC - Secretaria de Educação Fundamental, 1998.

MELO, M. L. *et al.* Classificação de usos da terra para definição de Zonas Climáticas Locais da área urbana no Distrito Federal – Brasil. In: SILVA, Charlei Aparecido. **Climatologia Geográfica conceitos – métodos - experimentos**. 1º Edição. Porto Alegre, RS : TotalBooks. p. 33-50, 2022.

MENDES, T. G. L. *et al.* Clima Urbano: Um estudo de caso no Campus da Universidade Federal de Pernambuco. In: **Água: discussões sobre o uso, acesso e inovação** [livro eletrônico]/ Ranyére Silva Nóbrega *et al.* (Organizadores) –Ananindeua: Itacaiúnas, 2018.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.. **Climatologia: noções básicas e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENEZES, J. L. M. **Olinda evolução urbana**. In: Olinda. Construindo um querer coletivo: o processo de elaboração do Plano Diretor, 1997. P.12-24.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976

- MONTEIRO, C. A. de F. Por Um Suporte Teórico e Prático Para Estimular Estudos Geográficos de Clima Urbano no Brasil. **Geosul**, n. 9, p. 7-19, 1990.
- MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- MOURA, T. *et al.* Mapeando as condições de conforto térmico em Salvador. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, 2006.
- MOREIRA, A. B.; NÓBREGA, R. S.; WANDERLEY, L. S. de A.; DOS ANJOS, R. S.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Os estudos de Clima Urbano e o seu desenvolvimento na cidade do Recife - PE: campos de estudo, técnicas de investigação e perspectivas futuras. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 23, n. 90, p. 230–251, 2022.
- MUSHTAHA, E. *et al.* Um estudo do impacto dos principais fatores urbanos da ilha de calor em um pátio de clima quente: o caso da Universidade de Sharjah, Emirados Árabes Unidos. **Cidades e Sociedade Sustentáveis**, v. 69, p. 102844, 2021.
- NASCIMENTO, E. M. V. do. **Olinda: uma leitura histórica e psicanalítica da memória sobre a cidade** (Tese de doutorado). Salvador, 2008.
- NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; DUBREUIL, V. Variações temporais e espaciais da intensidade da Ilha de Calor Urbana na cidade do Recife–PE (Brasil). **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 12, n. 2, p. 84-111, 2022.
- NOVAES, F. A. F. **Olinda, evolução urbana**. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Educação, Cultura e Esportes/FUNDARPE, Companhia Editora de Pernambuco (CEPE), 1990.
- OLINDA. Lei N°3.826/73: **Plano de Desenvolvimento Local Integrado (PDLI)**. Olinda, 1973.
- OLINDA. Lei N°02/97. **Plano Diretor da cidade de Olinda**. Olinda: Câmara Municipal, 1997.
- OLINDA. Lei complementar N°026/2004: **Plano Diretor da cidade de Olinda**. Olinda: Câmara municipal, 2004.
- OLINDA. Lei complementar N°054/2020: **Plano Diretor da cidade de Olinda**. Olinda: Câmara Municipal, 2020.
- OLINDA. **Dados Socioeconômicos**, 2012. Disponível em < www.prefeituradeolinda.gov.br > Acesso em 27 dez 2022.
- OLIVEIRA, V. M. A. de. Projeto Foral de Olinda. **Relatório Final. Olinda: Prefeitura Municipal de Olinda**, 1996.

OKE, T. R. City size and urban heat island. **Atmospheric environment**, New York, v. 7, n. 8, p. 769–779, 1973.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: **Methuen**, 1 ed. 372p. 1978.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, New York, v. 1, n. 3, p. 237–254, 1981.

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

OKE, T. R. Initial guide to obtain representative meteorological observations at urban site. **World Meteorological Organization**. Canadá, 2006a.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, Viena, v. 84, n. 1–3, p. 179–190, 2006b.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN A.; VOOGT, J. A. Urban heat island. In: **Theoretical and Applied Climatology. Urban Climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PEREIRA JÚNIOR, C. B. **A conservação da cobertura vegetal como componente do patrimônio cultural em centros históricos urbanos. Estudo de Caso: a cidade de Olinda-PE**. 224 p. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em desenvolvimento urbano. UFPE, Recife, 2004.

PONTUAL, V; MILET, V. Olinda: memória e esquecimento. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, n. 5, p. 39-39, 2001.

PONTUAL, V. Tempos do Recife: representações culturais e configurações urbanas. **Revista Brasileira de História**, São Paulo, v. 21, n. 42, p. 417-434, 2001

ROCHA, M.; NUCCI, J. Índices De Vegetação E Competitividade Entre Cidades. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 22, n. 3, p. 641-655, 12 dez. 2018.

SANTAMOURIS, M., PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. **Climatic Change**, London, v. 80, n. 3-4, p.265-276, 2007.

SANTIAGO, D. L. História da guerra de Pernambuco. **Recife: CEPE**, 2004.

SANTOS, M. K. M. **A expansão da verticalização no bairro de Casa Caiada, Olinda/PE (1990 a 2015)**. 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SANTOS, T. N. *et al.* Arborização e (des)conforto térmico: análise nas calçadas da Universidade Federal de Pernambuco. In: **Reflexões sobre o semiárido: obra do encontro**

do pensamento geográfico [livro eletrônico]/ Ranyére Silva Nóbrega *et al.* (Organizadores) – Ananindeua: Itacaiúnas, 2017.

SIQUEIRA-GAY, J.; DIBO, A. P. A.; GIANNOTTI, M. A. Vulnerabilidade as ilhas de calor no município de São Paulo: uma abordagem para a implantação de medidas mitigadoras na gestão urbana. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 105-123, 2017.

SENE, E.. **Geografia geral e do Brasil** – 6º ano: ensino fundamental, anos finais / João Carlos Moreira, Eustáquio de Sene. -- 1. ed. -- São Paulo: Scipione, 2018.

SOUSA, R. R. *et al.* **Estação meteorológica como ferramenta para o ensino fundamental e médio, na cidade de Jataí – GO**. In: Congresso Ibero-Americano de Extensão Universitária, 8ed, v 2, Rio de Janeiro: 27 a 30 de novembro, Anais... Cd-rom, 2005.

SOUZA, M. L. de. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

SOUZA, R. S. de. Município de Olinda (PE-Brasil): processo nos anos 1950 com efeitos na morfologia urbana atual. In: **XVI - Encuentro De Geógrafos De América Latina**. La Paz: EGAL, v. 1. p. 1-15, 2017.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T. SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em planaltina. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 6, n. 6 p. 37-56, 2010.

STEWART, I. D. Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950–2006. **Acta Climatologica et Chorological**. Szeged, v. 40-41, p. 111–121, 2007.

STEWART, I. D.: **Redefining the urban heat island**. Ph.D. dissertation, Department of Geography, University of British Columbia, 352 pp., 2011.

STEWART, I. D. Why should urban heat island researchers study history? **Urban Climate**, [S.l.], v. 30, p. 1-25, dez. 2019.

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

UNGER, J. Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. **International Journal of Environment and Pollution**, [S.l.], v. 36, p. 59-80, 2009.

VANDAMME, S. *et al.* Revealing Kunming's (China) Historical Urban Planning Policies Through Local Climate Zones. **Remote Sensing** , v. 11, n. 14, page. 1731, 2019.

VIEIRA, A. F. F. **Dados de treinamento WUDAPT Nível 0 para Olinda-PE (Brasil, República Federativa de)**, submetidos ao LCZ Generator, 2023. Este conjunto de dados está licenciado sob CC BY-NC-SA, e mais informações estão disponíveis em <https://lcz-generator.rub.de/factsheets/ee1616aea3c49dbfffb42b3d6257ef71b503de91/ee1616aea3c49dbfffb42b3d6257ef71b503de91_factsheet.html>

VIEIRA, A. F. F.; RÊGO, A. N. Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação das precipitações em Nazaré da Mata-PE de 1993 à 2019. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro De Climatologia Geográfica - SBCG**, João Pessoa – PB, p. 3154-3166, 2021.

VOOGT, J. A., OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, New York-EUA, v. 86, n. 3, p.370-384, 2003.

WANG, R. *et al.* Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. **Urban Climate**, v. 24, p. 567–576, 2018.

WERNECK, D. R. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal**. 2022. 174 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

WMO. **Urban Climatology and its relevance to urban design**. World Meteorological Organization – WMO, n. 438. TN, 149, Geneva, 1976.

WOLLMANN, C. A. *et al.* Variabilidade termo-higrométrica em orlas marítimas em balanço negativo de radiação: Um estudo de caso de balneário Camboriú/SC, Brasil. **Atmosfera**, v. 12, n. 11, pág. 1453, 2021.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZAVATTINI, J. A. O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Geografia**, p. 25-44, 2000.

APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

NÍVEL:	Ensino Fundamental 2
CURSO:	6º Ano
DISCIPLINA:	Geografia

TÍTULO:

O CLIMA E O TEMPO EM NOSSO DIA A DIA

COMPETÊNCIAS GERAIS - BNCC:

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

COMPETÊNCIAS DE CIÊNCIAS HUMANAS - BNCC:

2. Analisar o mundo social, cultural e digital e o meio técnico-científico-informacional com base nos conhecimentos das Ciências Humanas, considerando suas variações de significado no tempo e no espaço, para intervir em situações do cotidiano e se posicionar diante de problemas do mundo contemporâneo.
3. Identificar, comparar e explicar a intervenção do ser humano na natureza e na sociedade, exercitando a curiosidade e propondo ideias e ações que contribuam para a transformação espacial, social e cultural, de modo a participar efetivamente das dinâmicas da vida social.

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE GEOGRAFIA - BNCC:

1. Utilizar os conhecimentos geográficos para entender a interação sociedade/natureza e exercitar o interesse e o espírito de investigação e de resolução de problemas.
2. Estabelecer conexões entre diferentes temas do conhecimento geográfico, reconhecendo a importância dos objetos técnicos para a compreensão das formas como os seres humanos fazem uso dos recursos da natureza ao longo da história.
3. Desenvolver autonomia e senso crítico para compreensão e aplicação do raciocínio geográfico na análise da ocupação humana e produção do espaço, envolvendo os princípios de analogia, conexão, diferenciação, distribuição, extensão, localização e ordem.

HABILIDADES- BNCC:

(EF06GE03) Descrever os movimentos do planeta e sua relação com a circulação geral da atmosfera, o tempo atmosférico e os padrões climáticos.

(EF06GE05) Relacionar padrões climáticos, tipos de solo, relevo e formações vegetais.

(EF06GE07) Explicar as mudanças na interação humana com a natureza a partir do surgimento das cidades.

(EF06GE13) Analisar consequências, vantagens e desvantagens das práticas humanas na dinâmica climática (ilha de calor etc.).

OBJETIVO GERAL

Objetiva-se, de forma geral, apresentar os principais tópicos correspondentes ao conteúdo principal – tempo e clima no dia a dia– para o sexto ano do ensino fundamental-anos finais, relacionando-os com o cotidiano dos alunos e fazendo-os refletir sobre os conceitos, os problemas, as causas e as soluções, afim de promover uma aprendizagem critico-reflexiva.

ETAPA A – ENSINO TEÓRICO

Intervenção 1 (sugestão 2 aulas)

Objetivo: entender a diferença entre tempo e clima; conhecer que os movimentos da Terra, as variações de fotoperíodo e a dinâmica atmosférica; entender a ação dos raios solares na superfície do planeta; conhecer os elementos e fatores climáticos.

- Tempo atmosférico vs Clima
- Radiação solar e os movimentos do planeta Terra
- Fatores e elementos climáticos

Intervenção 2 (sugestão 1 aula)

Objetivo: conhecer os tipos climáticos e sua distribuição espacial pelo planeta.

- Zonas climáticas: intertropical, temperada e polar
- Diferentes tipos de clima da Terra
- Leitura de climograma

Intervenção 3 (sugestão 2 aulas)

Objetivo: entender o fenômeno El Niño; conhecer as causas e consequências do efeito estufa, das ilhas de calor, ilhas frias e das inversões térmicas.

- Ações antrópicas e a urbanização
- Mudanças climáticas
- Clima urbano
- Fenômenos El Niño, efeito estufa, ilhas de calor, ilhas de frescor e inversão térmica.

ETAPA B – COLETA DE DADOS EM CAMPO

Intervenção 4 (sugestão 1 aula)

Objetivo: compreender o processo de coleta de dados e perceber o ambiente térmico e visual.

- Distribuição das fichas
- Orientação
- Coleta e registro dos dados

ETAPA C – ANÁLISE DOS DADOS E AVALIAÇÃO

Intervenção 5 (sugestão 2 aulas)

Objetivo: sistematizar os dados coletados e correlacionar com os conceitos teóricos a partir da avaliação em forma de ficha/questionário.

- Sistematização dos dados no quadro (momento docente e turma)
- Análise dos dados
- Resposta ao questionário presente na ficha
- Discussão e escrita sobre a imagem de satélite da UFPE

PROPOSTA DE ATIVIDADE AVALIATIVA

A ficha de coleta e análise dos dados poderá ser utilizada como um indicador de aprendizagem dos estudantes. Além, das observações feitas dos alunos ao longo das intervenções.

APÊNDICE B – FICHA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Instruções:

A cada ponto de coleta, o grupo deverá registrar os dados anunciados pelo(a) professor(a), assim como, descrever aquilo que conseguem perceber das características do lugar, como: quantidade de vegetação (muito, pouco, alta, baixa, árvores, gramas...), tipo e cor da cobertura do solo (asfalto, terra, grama, calçada, escuro, claro...), quantidade e tipo de construção (área aberta, área pouco construída, área muito construída, prédio alto, prédio baixo...), além de demais observações como fluxo intenso de pessoas ou de carros, sensação de calor, sensação de frescor, entre outros.

PONTO/ HORÁRIO	DESCRIÇÃO DO LOCAL	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%rh)
1			
2			
3			
4			

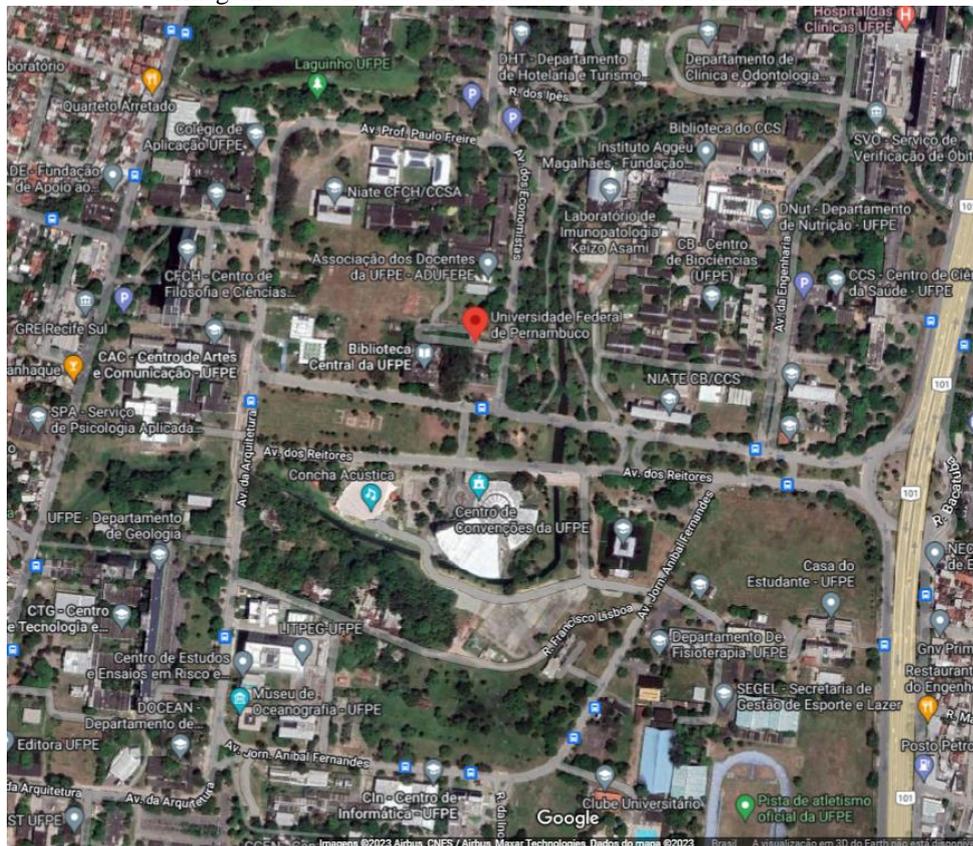
Responda as questões abaixo:

- 1) Em quais horários foram feitos os registros de cada ponto?
- 2) Qual ponto registrou a maior temperatura do ar?
- 3) Qual ponto registrou a menor temperatura do ar?
- 4) Qual a relação existente entre temperatura do ar e umidade relativa do ar?
- 5) Quais as características da área que registrou a maior temperatura? Isso pode ter contribuído para essa condição? Como?

- 6) Quais as características da área que registrou a menor temperatura? Isso pode ter contribuído para essa condição? Como?
- 7) Qual ponto tem perfil semelhante ao das áreas que podem gerar bolsões de ar quente (ilhas de calor)?
- 8) Qual ponto tem perfil semelhante ao das áreas que podem ser consideradas ilhas de frescor?

A partir da imagem abaixo, faça uma breve descrição de como o grupo observa a área de estudo (UFPE), comentando sobre as características construtivas e vegetais observadas e sugerindo outros pontos que a partir da imagem de satélite, considerariam áreas com temperaturas mais altas e mais baixas.

Imagem de satélite da Universidade Federal de Pernambuco



Fonte: Google Maps (2023)