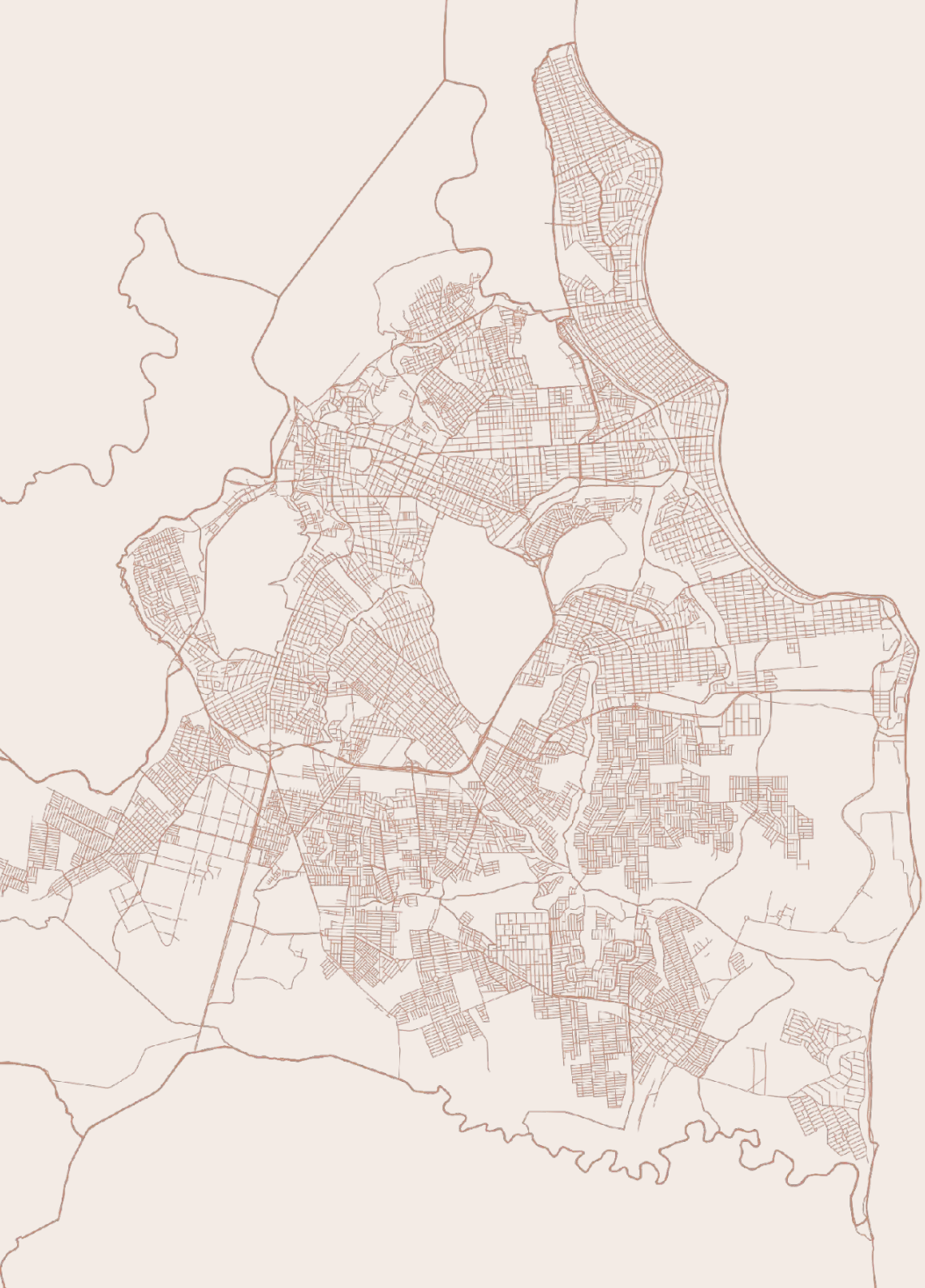
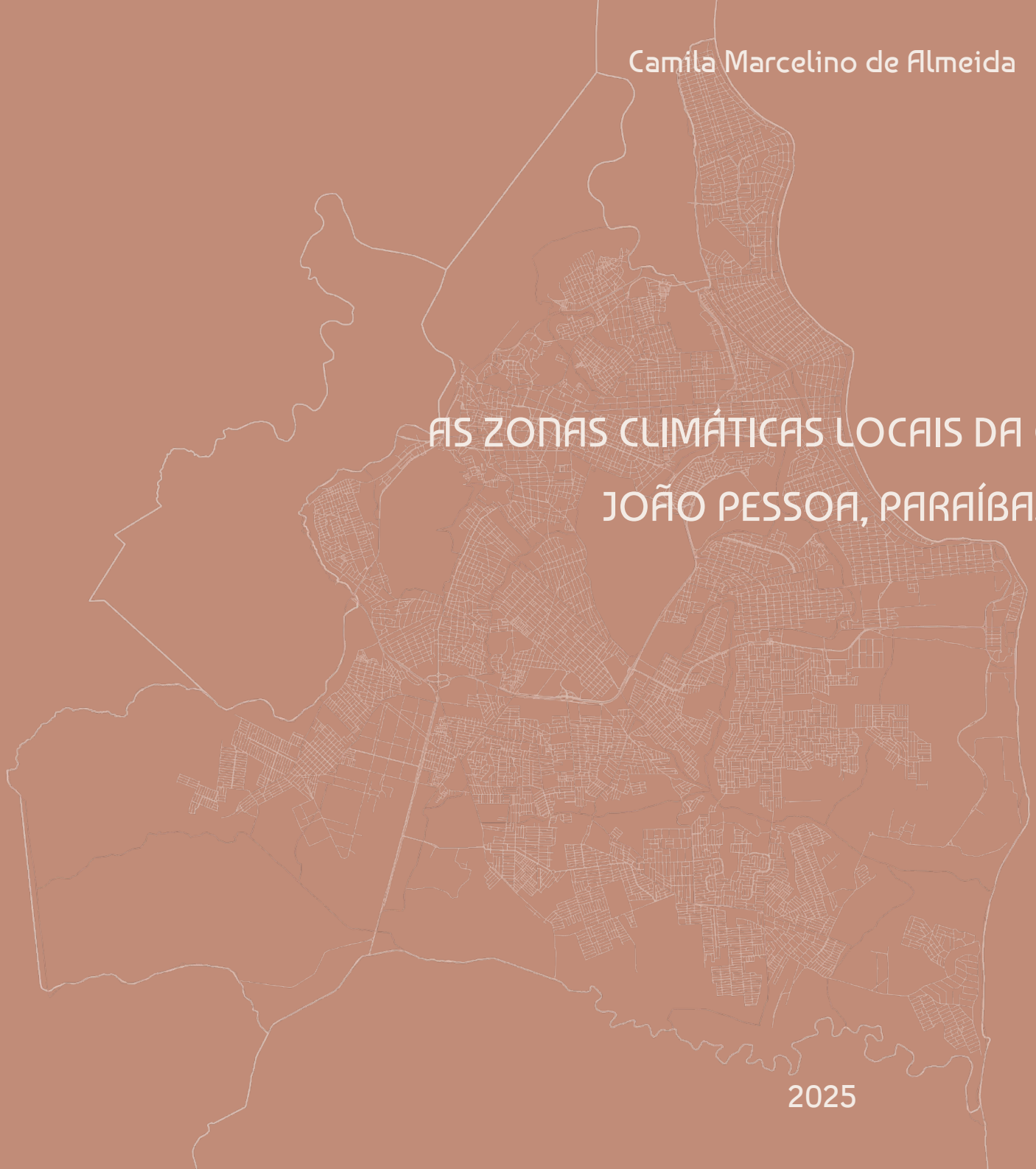


AS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA, PARAÍBA.

Camila Marcelino de Almeida
2025

Camila Marcelino de Almeida



AS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA, PARAÍBA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Ivanize Cláudia dos Santos e Silva

2025

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A447z Almeida, Camila Marcelino de.
As zonas climáticas locais da cidade de João Pessoa, Paraiba / Camila Marcelino de Almeida. - João Pessoa, 2025.
72 f. : il.

Orientação: Ivanize Cláudia dos Santos e Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Zonas Climáticas Locais. 2. Morfologia Urbana. 3. Planejamento. I. Silva, Ivanize Cláudia dos Santos e. II. Título.

UFPB/CT CDU 72:711(043.2)

Elaborado por ROSANGELA GONCALVES PALMEIRA - CRB-216

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ivanize Cláudia dos Santos e Silva

(orientadora)

Profª. Dra. Mariana Fialho Bonates

(avaliadora interna)

Profª. Dra. Simone Carnaúba Torres

(avaliadora externa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me dar forças e os meios para chegar até aqui. Sou também grata por Ele ter colocado em meu caminho facilitadores que, espelhando Sua graça divina, me apoiaram de diversas formas.

Aos meus padrinhos, Graça e Leonaldo, por serem inspiração na escolha deste caminho, por me apoiarem sempre e por me oferecerem amor e afeto em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares, que estiveram ao meu lado desde o início desta jornada e continuam me incentivando. Um agradecimento especial às minhas queridas irmãs, mulheres de gênio forte e grande capacidade, cuja obstinação e afeto me surpreendem constantemente. Sou imensamente grata por vocês existirem: Clarisse, Clara, Laryssa, Maria Eduarda, Maria Luiza e nossa princesinha Sophia.

Aos meus amigos, tanto os que fizeram parte dessa caminhada desde o início quanto os que se juntaram a ela em momentos distintos, agradeço imensamente por estarem aqui. São tantos que não consigo citar todos, mas, em nome de muitos, destaco com carinho e afeto: Sara Gomes, Danilo, Jean e Nathália.

Por fim, agradeço à minha orientadora, que me incentivou e me auxiliou desde muito antes deste trabalho ser iniciado.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar as Zonas Climáticas Locais (ZCLs) da cidade de João Pessoa, Paraíba. Essa classificação baseia-se na metodologia proposta por Stewart e Oke (2012), operacionalizada por meio da plataforma WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools). A pesquisa concentra-se na análise morfológica urbana, priorizando parâmetros físicos e geométricos da superfície, sem a incorporação de variáveis atmosféricas diretas. A metodologia adotada envolveu a identificação da geometria urbana, o cálculo de parâmetros morfológicos, a análise dos valores conforme os intervalos predefinidos para as classes ZCLs e a geração do mapa de classificação para o município. O mapa ZCL gerado, com acurácia de 0,67, demonstrou a eficácia da metodologia no contexto urbano local. Foram também analisadas a expansão urbana da cidade e as características morfológicas de bairros representativos, evidenciando a heterogeneidade espacial entre áreas centrais compactas e zonas litorâneas submetidas a restrições construtivas. Os resultados reforçam a aplicabilidade da abordagem ZCL como ferramenta para compreender as dinâmicas térmicas urbanas e subsidiar o planejamento urbano voltado à mitigação dos impactos microclimáticos.

Palavras-chave: Zonas Climáticas Locais; Morfologia Urbana; Planejamento Urbano; WUDAPT; João Pessoa.

ABSTRACT

This study aims to characterize the Local Climate Zones (LCZs) of the city of João Pessoa, Paraíba. The classification is based on the methodology proposed by Stewart and Oke (2012), operationalized through the WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) platform. The research focuses on urban morphological analysis, prioritizing physical and geometric surface parameters, without incorporating direct atmospheric variables. The adopted methodology involved identifying urban geometry, calculating morphological parameters, analyzing the values according to the predefined ranges for ZCL classes, and generating the classification map for the municipality. The resulting ZCL map, with an accuracy of 0.67, demonstrated the effectiveness of the methodology in the local urban context. The study also examined the city's urban expansion and the morphological characteristics of representative neighborhoods, highlighting the spatial heterogeneity between compact central areas and coastal zones subject to building restrictions. The results reinforce the applicability of the ZCL approach as a tool to understand urban thermal dynamics and to support urban planning aimed at mitigating microclimatic impacts.

Keywords: Local Climate Zones; Urban Morphology; Urban Planning; WUDAPT; João Pessoa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ilha de calor urbano 13

Figura 02: Ilustração da relação H/W 13

Figura 03: Mapa destacando bairros estudados 16

Figura 04: Classificação das Zonas Climáticas Locais 27

Figura 05: Mapa Brasil com destaque para o estado da Paraíba e detalhamento mapa João Pessoa. 32

Figura 06: Expansão urbana de João Pessoa: fases iniciais de ocupação (1647 a 1983). 41

Figura 07: Expansão urbana de João Pessoa: fases recentes de ocupação (1994 a 2021) 42

Figura 08: Macrozoneamento João Pessoa - 2012 44

Figura 09: Macrozoneamento João Pessoa - 2024 47

Figura 10: Mapa ZCLs de João Pessoa - PB 49

Figura 11: Mapa satélite Centro e Praça Dom Adauto 50

Figura 12: Mapa Satélite Estados e Av. Maranhão 51

Figura 13: Mapa Satélite Brisamar e Rua Cassimiro de Abreu 51

Figura 14: Mapa Satélite Cabo Brranco e Av. Cabo Branco 52

Figura 15: Mapa Satélite Altiplano e Av. Abelardo da Silva Guimarães Barreto 52

Figura 16: Mapa Satélite Mangabeira e Rua Josefa Taveira 53

Figura 17: Mapa Satélite Aeroclube e Rua Leocádio Ribeiro Coutinho 53

Figura 18: Mapa com bairros destacados 54

Figura 19: Mapa ZCL Centro 55

Figura 20: Mapa ZCL Estados 56

Figura 21: Mapa ZCL Aeroclube 57

Figura 22: Mapa ZCL Brisamar 58

Figura 23: Mapa ZCL Cabo Branco 59

Figura 24: Mapa ZCL Altiplano 60

Figura 25: Mapa ZCL Mangabeira 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Valores dos índices para cada ZCL 29

Tabela 02: Exemplos de como selecionar as áreas de treinamento 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICUs – Ilhas de Calor Urbanas

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPHAEP – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba

ZCL– Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones)

PB – Paraíba

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UTCI – Universal Thermal Climate Index

WUDAPT – World Urban Database and Access Portal Tools

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução

1.1 Contextualização 13
1.2 Delimitação do problema 18
1.3 Justificativa 19
1.4 Objetivos 20
1.5 Estrutura do trabalho 21

Capítulo II - Referencial Teórico

2.1 Clima urbano e suas dinâmicas 23
2.2 Morfologia urbana 24
2.3 Cânions urbanos e fator H/W 25
2.4 Ilha de calor urbana 26
2.5 Zonas Climáticas Locais (ZCLs) 27
2.6 Uso de SIGs e WUDAPT no mapeamento climático 31
2.7 Planejamento urbano e plano diretor 32

Capítulo III -Metodologia de Classificação das ZCLs em João Pessoa

3.1 Delimitação do universo de estudo 35
3.2 Procedimentos Metodológicos 35
3.2.1 Identificação da geometria urbana na cidade de João Pessoa/PB 36

3.2.2 Cálculo e Análise dos Parâmetros das ZCLs 37
3.2.3 Mapeamento das Zonas Climáticas Locais 42

Capítulo IV - Resultados e discussão

4.1 Análise da expansão urbana de João Pessoa 44
4.2 Planejamento urbano e macrozoneamento de João Pessoa 46
4.3 Análise do mapa das Zonas Climáticas Locais 51
4.4 Caracterização preliminar dos bairros 53
4.5 Análise dos bairros selecionados 57
4.5.1 Bairro Centro 58
4.5.2 Bairro dos Estados 59
4.5.3 Bairro Aeroclube 60
4.5.4 Bairro Brisamar 61
4.5.5 Bairro Cabo Branco 62
4.5.6 Bairro Altiplano 63
4.5.7 Bairro Mangabeira 64

Capítulo V - Considerações finais

5.1 Síntese dos resultados 66
5.2 Limitações da Pesquisa 67
5.3 Recomendações para Trabalhos Futuros 67
REFERÊNCIAS 68

Capítulo I –

Introdução

1.1 Contextualização

O aumento das temperaturas médias globais tem provocado maior frequência e intensidade de ondas de calor em diversas regiões do planeta, impactando diretamente o conforto térmico das populações e a maneira como projetamos e adaptamos os ambientes construídos. Nesse cenário, destaca-se a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), realizada em 2015, que resultou no Acordo de Paris, estabelecendo a meta de limitar o aquecimento global a 1,5 °C até 2050. Dessa forma, reforça-se a urgência de soluções adaptativas para o espaço urbano.

Estudos diversos evidenciam os efeitos da urbanização sobre o clima, especialmente no que diz respeito à complexidade das áreas urbanas, tanto em sua forma de ocupação quanto na substituição da cobertura vegetal por superfícies construídas. Entre os autores que discutem essa temática, destacam-se Santos (2011), Oke (1973, 1984, 1988, 2006), e Krüger (2008), que analisam a intensificação de fenômenos climáticos adversos, como as ilhas de calor e eventos de estresse térmico.

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) enfatiza que, para enfrentar adequadamente tais desafios, é essencial adotar uma abordagem integrada, incorporando estratégias de avaliação multiescalares e práticas de governança com alta confiabilidade. No contexto da Arquitetura e Urbanismo, essas ferramentas tornam-se fundamentais para guiar o planejamento urbano sustentável.

Um dos caminhos para aproximar o planejamento urbano das questões climáticas é a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que, além de fornecerem informações georreferenciadas, possibilitam a definição de valores-limite para parâmetros urbanísticos.

As alterações climáticas no ambiente urbano afetam de maneira desigual a população, sendo as comunidades de baixa renda as mais vulneráveis aos efeitos do aumento das temperaturas e da escassez

de infraestrutura adaptativa. Essa situação é agravada, conforme aponta Moreira (2006), pelo crescimento desordenado e pela ineficiência dos governos em equacionar os diversos aspectos que compõem o espaço urbano, gerando perturbações funcionais e desequilíbrios sociais que tornam essas populações ainda mais expostas aos riscos climáticos.

Nesse contexto, Gonçalves e Souza (2014) defendem a adoção de uma abordagem analítica padronizada, abrangendo variáveis ambientais e aspectos da geometria urbana. Para tal, é necessário dispor de instrumentos capazes de integrar e avaliar diversas variáveis, gerando respostas eficazes ao planejamento urbano sensível ao clima.

Além disso, Silva (2017) chama atenção para a precariedade observada em diversas cidades brasileiras no que tange à inserção do clima no planejamento urbano, aspecto ainda pouco considerado, pois "necessita de um corpo técnico qualificado para entender os conceitos relacionados ao clima urbano". A autora enfatiza também a necessidade de ferramentas que simplifiquem a apresentação dos resultados e sejam acessíveis, bem como a importância da capacitação profissional para interpretação e aplicação de dados climáticos. Trata-se de uma reflexão pertinente diante do panorama abordado neste trabalho, que reforça a necessidade de um olhar mais atento e sensível a essas questões.

Diante desse cenário, compreender a relação entre configuração urbana e fenômenos climáticos, como as ilhas de calor, torna-se fundamental. Para tanto, este trabalho adota a abordagem das Zonas Climáticas Locais (ZCLs), proposta por Stewart e Oke (2012), que busca caracterizar as respostas climáticas associadas às diferentes configurações morfológicas das áreas urbanas.

Cabe salientar que esse sistema de classificação divide a paisagem em 17 classes, nas quais cada Zona Climática Local (ZCL) corresponde a uma área homogênea em termos de morfologia, tipos de

materiais, características de cobertura superficial e padrões de uso humano, apresentando também comportamentos semelhantes em relação à temperatura do ar ao longo do tempo.

A abordagem será aplicada na cidade de João Pessoa, Paraíba, com o objetivo de identificar e classificar suas diferentes tipologias urbanas com base nas características morfológicas e térmicas. Essa caracterização, fundamentada na metodologia de Stewart e Oke (2012), será organizada conforme o protocolo do WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools), contribuindo para a formação de uma base de dados local e para o mapeamento climático da cidade.

Conforme Ferreira et al. (2023), o método das ZCLs proporciona uma análise morfológica mais detalhada do tecido urbano do que os tradicionais mapas de uso e ocupação do solo, favorecendo a comparação entre estudos realizados em diferentes cidades do mundo. Nesse contexto, destaca-se a iniciativa WUDAPT, que visa à coleta e disseminação padronizada desses dados em escala global.

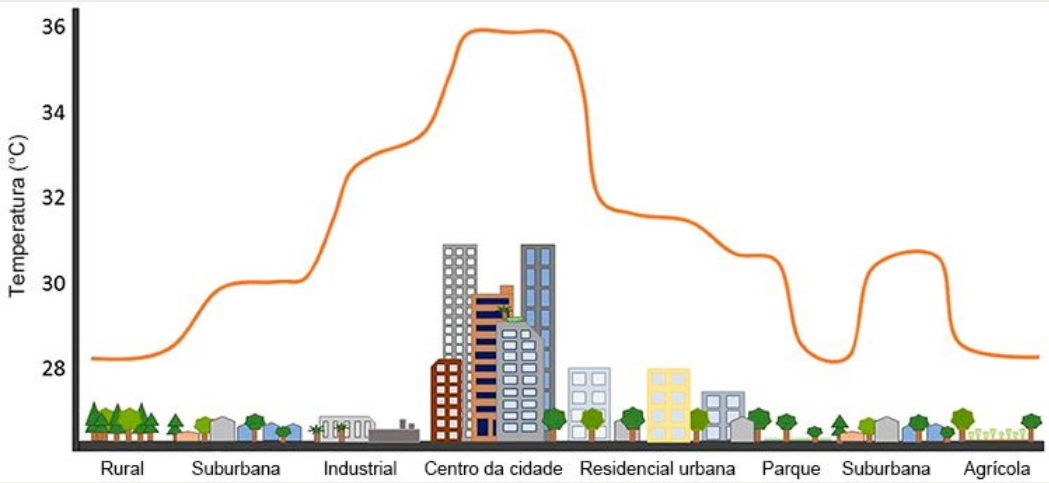
Considerando que João Pessoa se insere em uma região de clima quente e úmido de baixa latitude, torna-se ainda mais relevante adotar abordagens que integrem variáveis microclimáticas, morfológicas e de conforto térmico no planejamento urbano. Conforme destaca Silva (2017), o desenvolvimento de índices urbanísticos capazes de subsidiar revisões de códigos de obras, leis de uso do solo e diretrizes de planejamento é fundamental para promover cidades mais resilientes e adaptadas às condições climáticas locais.

As ilhas de calor urbano, conforme ilustrado na Figura 01, caracterizam-se por temperaturas mais elevadas nas áreas urbanizadas em relação às regiões vizinhas, resultantes da alta densidade construtiva, do uso de materiais com elevada capacidade de absorção térmica (como concreto e asfalto) e da intensa atividade humana. Tais materiais, sobretudo os

impermeáveis, acumulam calor durante o dia e o liberam gradativamente à noite, elevando as temperaturas no ambiente urbano noturno. Desde o século XIX, esse fenômeno é observado e estudado, como apontam Oke et al. (1984) e Drach et al. (2016).

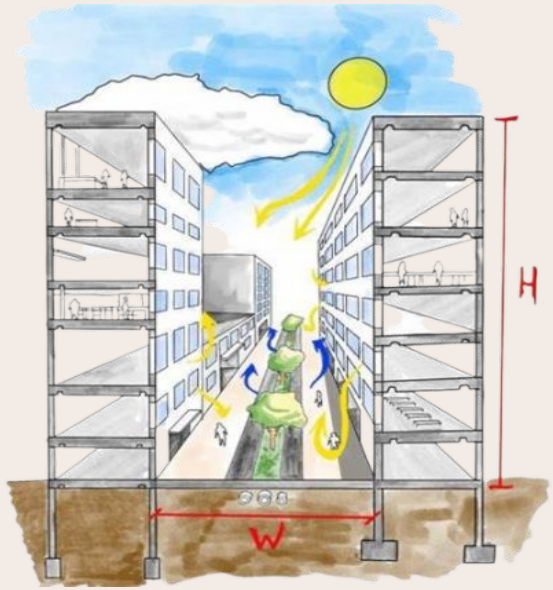
Outro aspecto relevante para a análise do conforto térmico urbano é o estudo dos cânions urbanos. De acordo com o modelo simplificado proposto por Oke (1981), esse fenômeno é descrito pela razão H/W (altura dos edifícios em relação à largura das vias). Quanto maior essa razão, maior a densidade urbana e mais restrita a ventilação, dificultando a dissipação de calor e intensificando as ilhas de calor. Os cânions urbanos, resultantes da densa disposição de edificações e de vias estreitas, criam barreiras à circulação de ar e afetam diretamente o microclima urbano, prejudicando o conforto térmico e a saúde das populações. A relação H/W é ilustrada na Figura 02.

Figura 01: Ilha de calor urbano



Fonte: UNESP (2024)

Figura 02: Ilustração da relação H/W



Fonte: LEMOS; BARBOSA; LIMA, 2022

Por fim, destaca-se que este trabalho deriva do projeto de pesquisa intitulado As Zonas Climáticas Locais dos Bairros Cabo Branco e Centro na Cidade de João Pessoa, PB, que realizou uma análise comparativa entre dois bairros específicos da cidade. Contudo, para o desenvolvimento do presente estudo, optou-se por ampliar o escopo da investigação, realizando a análise a partir do mapeamento das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) gerado para toda a cidade de João Pessoa. A partir desse mapeamento, foram selecionados sete bairros — Centro, Cabo Branco, Altiplano, Brisamar, Aeroclube, Mangabeira e Bairro dos Estados — por representarem diferentes tipologias de ZCLs presentes no município.

A presente classificação das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) em João Pessoa busca não apenas subsidiar novas pesquisas sobre o ambiente urbano e climático, mas também fortalecer a construção teórica das ZCLs, ampliando seu uso e reconhecimento no cenário acadêmico brasileiro.

1.2 Delimitação do problema

Neste estudo, analisou-se a cidade de João Pessoa, Paraíba, de forma abrangente, a fim de garantir uma amostra que atendesse aos parâmetros exigidos para a submissão de dados à plataforma WUDAPT. No entanto, após a geração do mapa climático da cidade, optou-se pela seleção de alguns bairros para análise pontual, buscando evidenciar suas particularidades. Inicialmente, priorizou-se a escolha de bairros classificados em diferentes Zonas Climáticas Locais (ZCLs), o que possibilita observar, em escala local, a distribuição dessas zonas no território urbano.

Além desse critério, selecionaram-se bairros que contribuem para a compreensão das complexidades e singularidades da morfologia urbana de João Pessoa. Entre eles destaca-se o bairro Cabo Branco, localizado na orla da capital paraibana. Essa região, assim como toda a faixa litorânea, é submetida a limitações de altura para as edificações, impostas por legislação específica. Segundo Moreira (2006), essa restrição aplica-se “na faixa de 500 metros a partir da preamar de sizígia, definida pelo artigo 229 da Constituição Federal de 1988 e regulamentada pelo artigo 25 do Plano Diretor de João Pessoa de 1993”.

Em contraposição ao bairro de Cabo Branco, destaca-se o Centro, uma das áreas mais tradicionais e historicamente significativas de João Pessoa. Esta região abriga um vasto patrimônio cultural e arquitetônico, representativo da trajetória histórica da capital paraibana desde o período colonial até os dias atuais. A preservação desse patrimônio é uma das características mais relevantes do bairro, especialmente por estar inserido em um polígono de tombamento, que abrange um conjunto expressivo de edificações protegidas por legislações específicas. Essa proteção é assegurada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba (IPHAEP), órgãos responsáveis pela conservação e fiscalização dos bens culturais, garantindo a integridade histórica e arquitetônica da área.

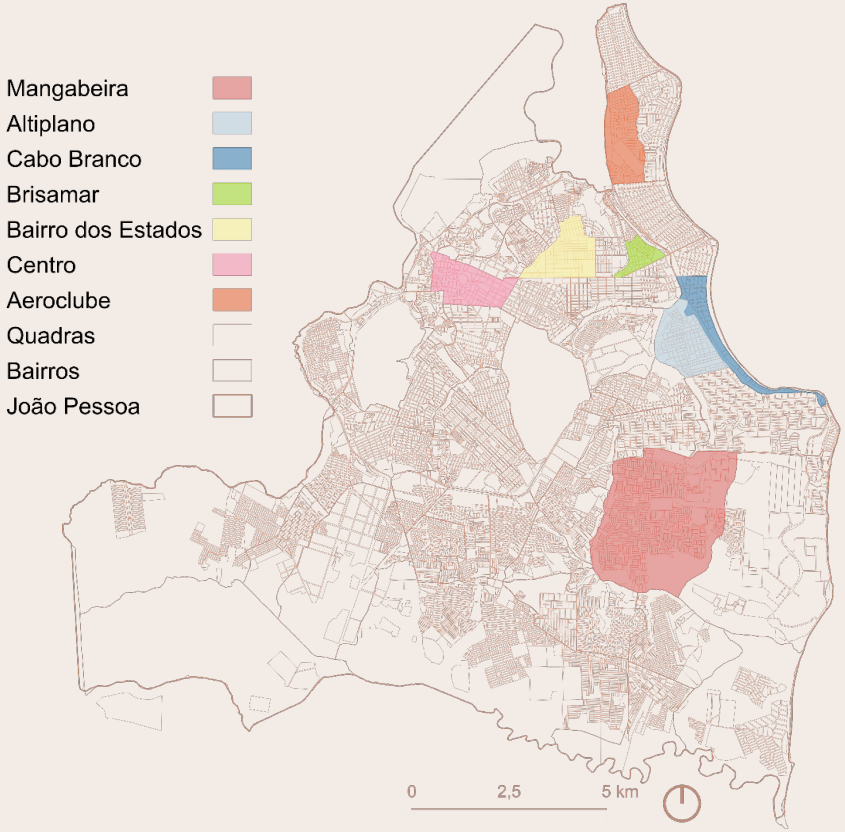
1.3 Justificativa

O conforto térmico no ambiente urbano tem ganhado crescente relevância no planejamento das cidades, especialmente diante do aumento das temperaturas e da intensificação dos fenômenos climáticos extremos. Entretanto, a produção de dados morfológicos e físicos da superfície urbana, com alta resolução espacial e focados no comportamento térmico local, ainda é escassa para cidades brasileiras de clima tropical úmido, como João Pessoa.

Diante dessa lacuna, este estudo adota a metodologia de classificação das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) proposta por Stewart e Oke (2012), combinada com a utilização da plataforma WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools). A aplicação integrada dessas ferramentas permite o mapeamento detalhado da superfície urbana e a identificação das características térmicas associadas às diferentes tipologias morfológicas presentes no local de estudo.

Assim, a pesquisa visa não apenas fornecer uma base de dados local de alta precisão para João Pessoa, mas também contribuir para a consolidação do arcabouço teórico relacionado às ZCLs, ampliando o seu uso no contexto acadêmico brasileiro e subsidiando futuras pesquisas e práticas de planejamento urbano sensíveis ao clima.

Figura 03: Mapa destacando bairros estudados



Fonte: Filipéia Mapas [1] (adaptado)

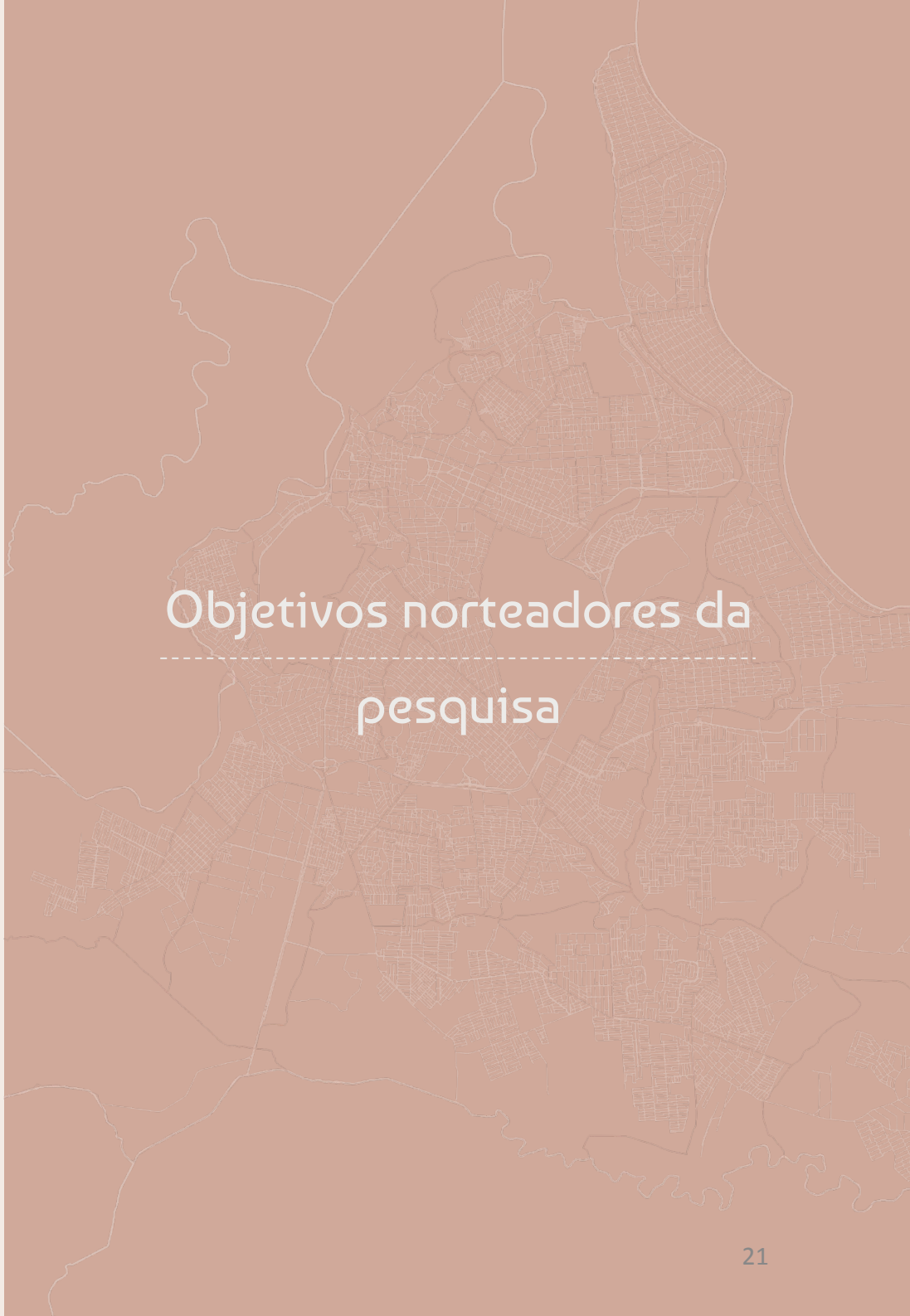
1.4 Objetivos

Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo classificar as Zonas Climáticas Locais (ZCL) na cidade de João Pessoa, com base na metodologia proposta por Oke (2012), operacionalizada por meio da plataforma WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools).

Objetivos específicos

- Contribuir para o arcabouço teórico do conceito de Zonas Climáticas Locais (ZCL);
- Caracterizar morfologicamente a cidade de João Pessoa.
- Inserir as Zonas Climáticas Locais da cidade de João Pessoa no portal WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools).



1.5 Estrutura do trabalho

A estrutura escolhida para organizar esta pesquisa consiste na divisão de cinco capítulos, divididos da seguinte forma:

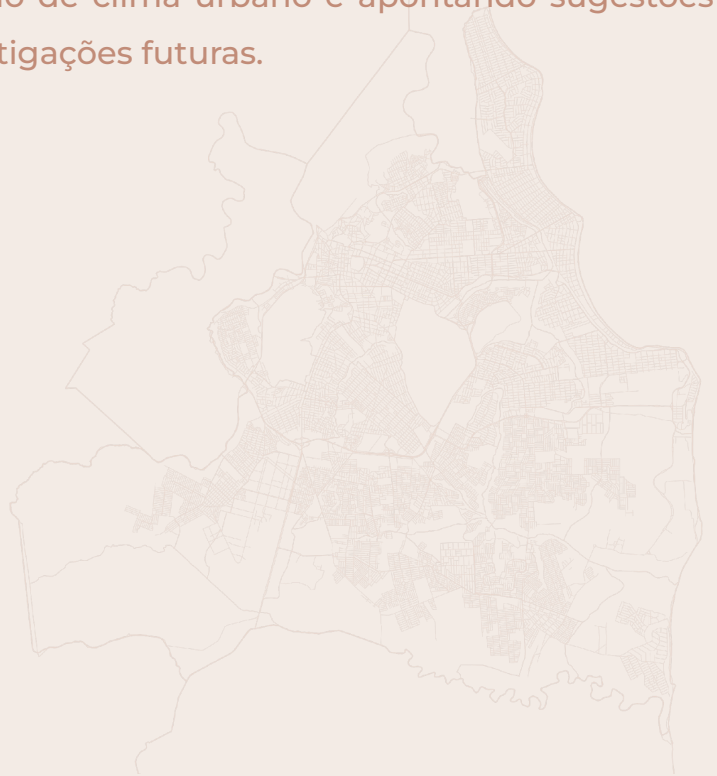
Capítulo I: será apresentada a temática com o objetivo de explicar ao leitor, de forma geral, a que se refere, contextualizando a importância das Zonas Climáticas Locais, além de delimitar o problema da pesquisa, justificativa, definição dos objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho.

Capítulo II: será desenvolvido o referencial teórico, abordando conceitos que facilita a compreensão do tema abordado, sobre clima urbano, às Zonas Climáticas Locais (ZCLs) e às metodologias propostas por Stewart e Oke (2012), entre outros autores pertinentes à temática.

Capítulo III: descreve o universo de estudo, com a caracterização geográfica e climática da cidade de João Pessoa - PB, além da apresentação da metodologia aplicada para a classificação das Zonas Climáticas Locais, baseada nos protocolos do WUDAPT e nas recomendações de Stewart e Oke (2012).

Capítulo IV: apresenta e analisa os resultados obtidos com a classificação das zonas climáticas locais no município de João Pessoa, discutindo as características morfológicas observadas e as particularidades dos bairros selecionados para análise.

Por fim, o **Capítulo 5** expõe as considerações finais, sintetizando os principais resultados alcançados, as contribuições da pesquisa para o estudo de clima urbano e apontando sugestões para investigações futuras.



Capítulo II –

Referencial teórico

2.1 Clima urbano e suas dinâmicas

> No âmbito nacional, Monteiro (1975) define o clima urbano como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, classificando-o dentro de um aspecto da geografia, através de grandezas taxonômicas com unidades de urbanização (SILVA, 2017).

Essa complexidade é reforçada por Silva et al. (2015), ao destacar que a modificação das características naturais da superfície pelas cidades cria ambientes propícios à intensificação de desequilíbrios térmicos e atmosféricos. A substituição da cobertura vegetal por materiais de alta absorção térmica, aliada à impermeabilização do solo e à densificação construtiva, altera o balanço energético local, favorecendo a retenção de calor e a redução dos fluxos de ventilação.

Além disso, conforme apontam Assis (2005) e Gomes (2007 apud Araújo, 2023), essas transformações morfológicas impactam tanto regiões tropicais quanto temperadas, sendo ainda mais críticas em países como o Brasil, onde a climatologia urbana torna-se ferramenta essencial para mitigar os efeitos ambientais da urbanização. Observa-se, portanto, que os problemas de aumento de temperatura, baixa ventilação e desconforto térmico são fenômenos diretamente relacionados à organização espacial e à escolha dos materiais urbanos.

Como consequência dessas alterações, surgem desafios significativos relacionados ao conforto térmico, especialmente em áreas urbanas densas e com infraestrutura insuficiente, o que compromete a qualidade de vida da população.

Dessa forma, compreende-se que as características morfológicas da cidade — como a altura das edificações, a largura das vias e a densidade urbana — exercem influência direta sobre o conforto térmico local, moldando padrões de ventilação, retenção de calor e sensação térmica (OKE, 1981; KRÜGER, 2008; SILVA, 2017).

2.2 Morfologia urbana

A morfologia urbana, associada à arquitetura, ao urbanismo e à geografia, refere-se ao estudo da configuração das formas urbanas (FERREIRA; FERRETTO; DUARTE, 2023). De acordo com Sposito (2017, apud Ferreira, Ferretto e Duarte, 2023), essa análise vai além da aparência física, incorporando dimensões sociais que influenciam e são continuamente redefinidas pelas práticas cotidianas.

Mais do que descrever a disposição física das cidades, o estudo da morfologia urbana permite entender como a organização dos edifícios, a largura das vias e a presença de espaços livres pode impactar em fatores como ventilação, insolação e retenção de calor. Esses elementos são fundamentais para a identificação dos padrões térmicos urbanos e para a classificação das Zonas Climáticas Locais (ZCLs).

Silva (2017) destaca a importância de acompanhar as transformações no ambiente urbano, alertando que essas mudanças reverberam diretamente na morfologia das cidades e impactam o clima local, afetando o conforto térmico nos espaços abertos.

Entre os componentes morfológicos que mais influenciam o comportamento térmico, a formação dos cânions urbanos merece destaque. A relação entre a altura dos edifícios e a largura das vias interfere na ventilação, na retenção de calor e nas condições de conforto térmico.

Dessa forma, compreender a morfologia urbana e suas implicações sobre o comportamento térmico local é essencial para a análise climática das cidades contemporâneas. No caso de João Pessoa, o estudo das variações de altura, largura das vias e densidade construtiva proporciona a base necessária para interpretar as diferenças térmicas entre os bairros analisados, contribuindo para uma leitura mais precisa das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) e para o planejamento urbano adaptado às condições ambientais.

2.3 Cânions urbanos e fator H/W

Conforme Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016), a análise da camada de cobertura urbana apresenta elevada complexidade, em razão da diversidade de formas e arranjos das superfícies que a compõem. Para sistematizar essa caracterização, adota-se o conceito de cânion urbano, definido como o espaço delimitado pelas edificações adjacentes e pelo solo urbano, considerando a altura dos edifícios e a largura das vias. Esse arranjo reconhece a natureza tridimensional da cobertura urbana, sendo a razão entre altura (H) e largura (W) uma medida fundamental para descrever sua configuração e compreender os padrões de ventilação, retenção de calor e sombreamento.

A relação H/W, conforme proposta por Oke (1981), influencia diretamente a dinâmica térmica dos cânions urbanos. Em áreas onde essa relação é elevada, ou seja, com edifícios altos e ruas estreitas, a ventilação é limitada, favorecendo o acúmulo de calor e agravando o desconforto térmico. Segundo Silva (2017), a compreensão da razão H/W é essencial também para a caracterização das Zonas Climáticas Locais (ZCLs), pois permite identificar padrões morfológicos que impactam o comportamento térmico em diferentes ambientes urbanos e naturais.

Além da geometria dos cânions urbanos, a densidade construtiva das áreas urbanizadas também interfere significativamente nas condições de ventilação e na retenção de calor. A seguir, explora-se a compactação urbana como fator adicional na formação de microclimas.

2.4 Ilha de calor urbana

De acordo com Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016), o crescimento das áreas urbanizadas e a transformação das superfícies naturais favorecem o surgimento de diferenças térmicas significativas entre o ambiente urbano e as zonas rurais vizinhas. Essa condição térmica peculiar é observada principalmente durante o período noturno e está relacionada à retenção de calor nas cidades, constituindo o fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbana.

As ilhas de calor urbano são áreas nas cidades que apresentam temperaturas significativamente mais altas do que as regiões rurais ao redor, devido à concentração de atividades humanas e materiais que absorvem e retêm calor, como concreto, asfalto e edifícios. Esses ambientes urbanos tendem a acumular calor durante o dia e liberá-lo lentamente durante a noite, criando uma diferença de temperatura. As ilhas de calor são mais intensas durante o verão, principalmente em períodos de ondas de calor, quando a radiação solar é mais forte e o ar mais quente, resultando em um desconforto térmico.

Além disso, Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016) destacam que a configuração da geometria urbana é um fator relevante para a formação das ilhas de calor urbano. Segundo os autores, a disposição das edificações e a variação nos espaços urbanos podem influenciar a intensidade térmica, alterando tanto os valores de temperatura do ar quanto a dinâmica dos ventos e a absorção e liberação de radiação. Essas alterações contribuem diretamente para o aumento ou redução do desconforto térmico nas áreas urbanizadas.

Considerando os impactos da configuração urbana sobre o microclima, o planejamento urbano surge como instrumento fundamental para mitigar os efeitos adversos das ilhas de calor e promover ambientes urbanos mais sustentáveis.

2.5 Zonas Climáticas Locais (ZCLs)

A classificação do território em Zonas Climáticas Locais (ZCL), ou Local Climate Zones (ZCL), foi desenvolvida por Stewart (2011) com o objetivo de padronizar a análise dos efeitos da ilha de calor urbana. A proposta surgiu a partir de uma revisão de estudos sobre o tema, que revelou a dificuldade de comparação entre resultados devido a deficiências metodológicas e à ausência de informações consistentes sobre os locais de medição. O sistema ZCL possibilita comparar a magnitude das ilhas de calor não apenas entre áreas urbanas e rurais, mas entre zonas específicas com características distintas (FERREIRA; FERRETTO; DUARTE, 2023).

A metodologia define 17 classes, entre zonas urbanas e naturais, caracterizadas pela uniformidade de estrutura, cobertura do solo, materiais e atividades humanas, além de apresentarem regimes próprios de temperatura do ar. Cada zona é descrita por propriedades geométricas, térmicas, radiativas e metabólicas, como altura média dos edifícios, taxa de ocupação, área permeável e impermeável, albedo e produção de calor antropogênico (STEWART; OKE, 2012 apud FERREIRA; FERRETTO; DUARTE, 2023).

Embora amplamente utilizada em estudos internacionais, a aplicação do método em cidades latino-americanas, como João Pessoa, requer um olhar crítico. Ferreira e Duarte (2019) destacam que os parâmetros originalmente definidos para o ZCL foram baseados majoritariamente em contextos do Norte global, podendo demandar ajustes para representar de forma mais adequada a realidade urbana brasileira.

Para o mapeamento das ZCLs, podem ser utilizados diferentes métodos, sendo um dos mais difundidos o desenvolvido por Bechtel et al. (2015), que combina imagens Landsat e classificação supervisionada no software SAGA GIS. Esta abordagem é utilizada no projeto WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) e será empregada neste estudo para a caracterização das zonas climáticas locais de João Pessoa.

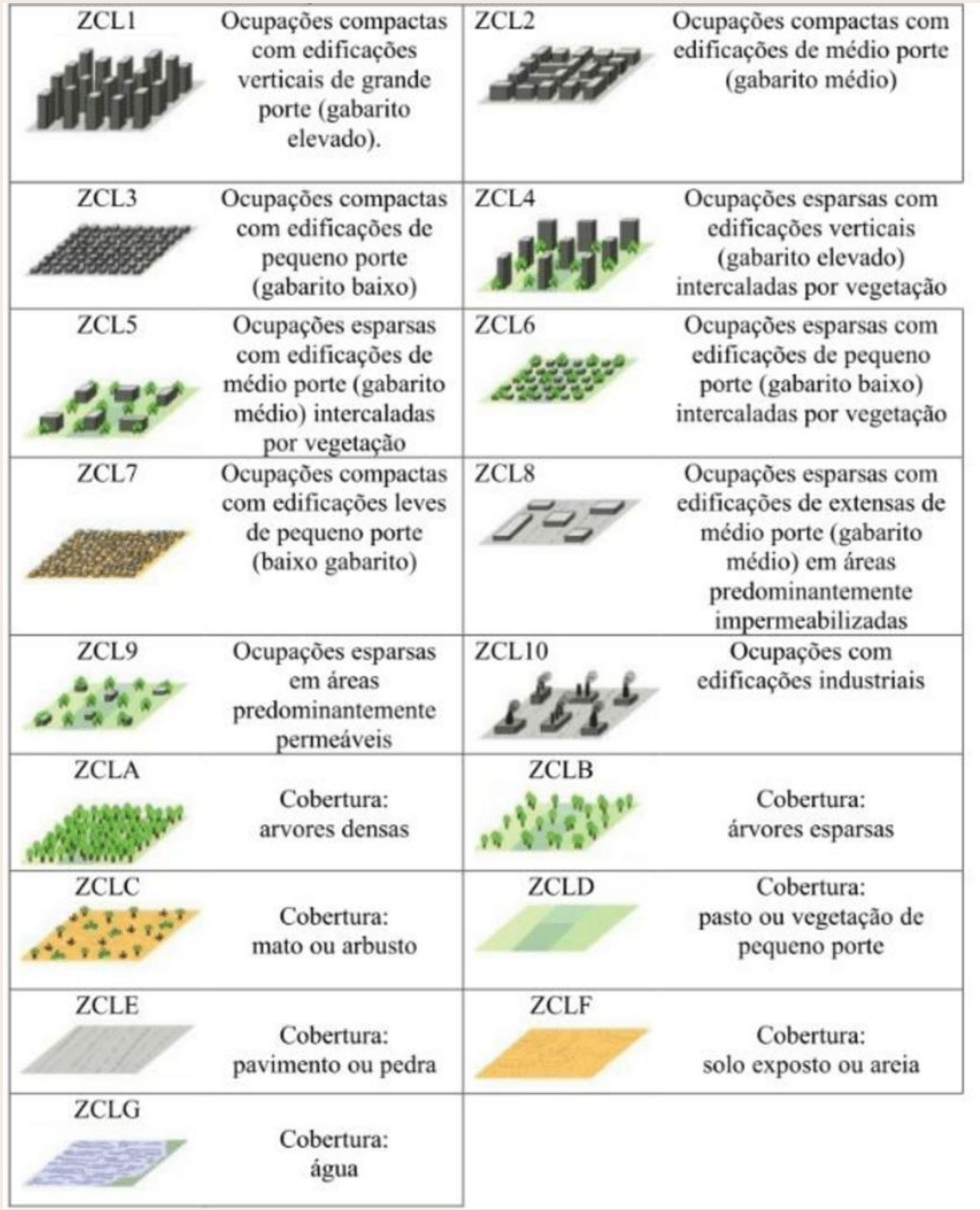
Em síntese, uma Zona Climática Local (ZCL) pode ser entendida como uma área urbana ou natural que apresenta características morfológicas e térmicas relativamente homogêneas, diferenciando-se de outras zonas vizinhas.

Compreendidos os conceitos e metodologias que fundamentam a caracterização das zonas climáticas locais, o próximo capítulo apresenta a metodologia adotada para a aplicação prática desses princípios na cidade de João Pessoa.

Para a definição das Zonas Climáticas Locais (ZCLs), Stewart e Oke (2012) estabeleceram valores-padrão para uma série de parâmetros urbanos e naturais, incluindo a razão H/W, a altura média das edificações, a taxa de impermeabilização do solo, a fração de superfície construída, o albedo e o fluxo de calor antropogênico.

A Tabela 02 apresenta os intervalos de valores característicos de cada classe de ZCL, que orientam a classificação dos ambientes urbanos e naturais em

Figura 04: Classificação das Zonas Climáticas Locais



Fonte: (STEWART; OKE, 2012 apud FERREIRA et. al. 2021).

diferentes tipologias climáticas locais.

Para a definição das Zonas Climáticas Locais (ZCLs), Stewart e Oke (2012) estabeleceram valores-padrão para uma série de parâmetros urbanos e naturais, que orientam a caracterização morfológica e térmica dos ambientes estudados.

Os parâmetros considerados são:

A – Fração de vegetação contínua (FVC) (0 a 1);

B – Relação altura/largura (H/W) (0 a 3);

C – Altura média dos edifícios (0 a 50 m);

D – Rugosidade da superfície (1 a 8 m);

E – Fração de superfície edificada (0 a 100%);

F – Fração de superfície impermeável (0 a 100%);

G – Fração de superfície permeável (0 a 100%);

H – Admitância térmica da superfície (0 a 2.500);

I – Albedo da superfície (0 a 0,5);

J – Fluxo de calor antropogênico (0 a 400 W/m²).

A Tabela 01 apresenta os intervalos de valores característicos para cada uma das classes de ZCL, utilizados como referência para a classificação dos setores urbanos e naturais.

A padronização dos parâmetros estabelecidos por Stewart e Oke (2012) permite a classificação consistente das áreas urbanas e naturais em diferentes zonas climáticas locais, garantindo a comparabilidade dos estudos em diferentes cidades ao redor do mundo.

No presente trabalho, tais parâmetros servirão de referência para a caracterização dos bairros selecionados na cidade de João Pessoa, conforme será detalhado na seção de Metodologia.

A adoção da classificação de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) torna-se, assim, uma ferramenta estratégica para a leitura crítica do espaço urbano de João Pessoa, permitindo uma abordagem comparativa que será detalhada nos resultados.

TABELA 01: VALORES DOS ÍNDICES PARA CADA ZCL										
C	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ZCL 1	0.2-0.4	>2	>25m	8	40-60%	40-60%	<10%	1.100-2.200	0.10-0.20	50-300
ZCL 2	0.3-0.6	0.75-2	10-25m	6-7	40-70%	30-50%	<20%	1.000-2.200	0.10-0.20	<75
ZCL 3	0.2-0.6	0.75-1.5	3-10m	6	40-70%	20-50%	<30%	1.000-2.200	0.10-0.20	<75
ZCL 4	0.5-0.7	0.75-1.25	>25m	7-8	20-40%	30-40%	30-40%	1.000-2.000	0.12-0.25	<50
ZCL 5	0.5-0.8	0.3-0.75	10-25m	5-6	20-40%	30-50%	20-40%	1.000-2.200	0.12-0.25	<25
ZCL 6	0.6-0.9	0.3-0.75	3-10m	5-6	20-40%	20-50%	30-60%	1.000-2.000	0.12-0.25	<25
ZCL 7	0.2-0.5	1-2	2-4m	4-5	60-90%	<20%	<30%	400-1.800	0.15-0.35	<35
ZCL 8	>0.7	0.1-0.3	3-10m	5	30-50%	40-50%	<20%	1.000-2.000	0.15-0.25	<50
ZCL 9	>0.8	0.1-0.25	3-10m	5-6	10-20%	<20%	60-80%	1.000-2.200	0.12-0.25	<10
ZCL 10	0.6-0.9	0.2-0.5	5-15m	5-6	20-30%	20-40%	40-50%	1.000-2.500	0.12-0.20	>300
ZCL A	<0.4	>1	3-30m	8	<10%	<10%	>90%	1.000-1.800	0.10-0.25	0
ZCL B	0.5-0.8	0.25-0.75	3-15m	5-6	<10%	<10%	>90%	1.000-1.800	0.15-0.25	0
ZCL C	>0.9	0.25-1	<2m	4-5	<10%	<10%	>90%	1.000-1.800	0.12-0.35	0
ZCL D	>0.9	<0.1	<1m	3-4	<10%	<10%	>90%	1.000-1.800	0.15-0.25	0
ZCL E	>0.9	<0.1	<0.25m	1-2	<10%	<90%	<10%	1.300-3.000	0.15-0.30	0
ZCL F	>0.9	<0.1	<0.25m	1-2	<10%	<10%	>90%	1.000-1.800	0.20-0.35	0
ZCL G	>0.9	<0.1	<0.25	1	<10%	<10%	>90%	1.500	0.02-0.10	0

Fonte: (STEWART; OKE, 2012 apud FERREIRA et. al. 2021).

2.6 Uso de SIGs e WUDAPT no mapeamento climático

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são fundamentais no armazenamento, processamento e análise de dados espaciais, permitindo a visualização dos conceitos trabalhados e a espacialização dos resultados obtidos nas pesquisas climáticas urbanas. No contexto do planejamento urbano e das análises climáticas, Silva (2017) destaca que a utilização de SIGs possibilita o mapeamento das características físicas das cidades, permitindo a definição de parâmetros urbanísticos que auxiliam na melhoria das condições ambientais.

Ainda nesse sentido, Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016) reforçam a importância dos SIGs como ferramenta que potencializa a análise das relações entre geometria urbana e impactos térmicos, especialmente no estudo das ilhas de calor urbanas. A capacidade de integrar dados espaciais permite compreender de forma mais precisa como as variáveis morfológicas influenciam a dinâmica climática local.

Com base nessa linha de entendimento, destaca-se o World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), que organiza a coleta e a classificação de dados urbanos para a construção de mapas de Zonas Climáticas Locais (ZCLs). A partir da classificação de ZCLs proposta Stewart e Oke (2012), permitindo uma padronização metodológica que utiliza imagens Landsat e técnicas de classificação supervisionada em ambiente SIG para mapear padrões urbanos, respeitando os princípios estabelecidos para a identificação e análise das zonas climáticas locais.

Além de garantir que o mapeamento realizado siga uma base científica consolidada, a utilização do WUDAPT possibilita a criação de uma base de dados de alcance mundial, permitindo que diferentes localidades sejam mapeadas de forma comparável. Esse potencial de padronização facilita a análise entre cidades com características similares ou distintas, ampliando as possibilidades de estudos comparativos e de aplicação prática em diferentes contextos urbanos.

2.7 Planejamento urbano e plano diretor

Segundo Duarte (2009), o planejamento urbano pode ser entendido como um conjunto de medidas e decisões adotadas com o objetivo de atingir metas específicas. Para tal, são considerados os recursos disponíveis e os fatores externos que podem influenciar o processo. O autor destaca que o planejamento deve reconhecer tendências e propensões naturais para o desenvolvimento, estabelecer regras de ocupação do solo, definir estratégias e políticas municipais, além de determinar restrições e limitações em determinadas áreas.

A partir desse conceito, compreende-se que, para desenvolver um bom planejamento urbano, há a necessidade de interação entre diferentes áreas do conhecimento, como a Arquitetura e Urbanismo, Engenharias, Geografia, entre outras. A interdisciplinaridade é fundamental para o entendimento e o respeito às diversas variáveis envolvidas, pois estas são imprescindíveis para a construção de cidades mais organizadas e eficientes.

O plano diretor, instrumento fundamental da política de desenvolvimento urbano, é estabelecido pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) como o principal mecanismo de ordenamento territorial dos municípios brasileiros. Trata-se de uma lei municipal que orienta o crescimento das cidades, definindo diretrizes para uso e ocupação do solo, preservação ambiental, mobilidade urbana, habitação, entre outros aspectos essenciais para o equilíbrio urbano.

Além de orientar o uso e ocupação do solo, o Plano Diretor também deve assegurar o cumprimento da função social da cidade e da propriedade, princípio fundamental estabelecido no artigo 2º do Estatuto da Cidade, visando promover a justiça social e a equidade no acesso aos benefícios urbanos.

Considerando as intensas modificações no ambiente construído e seus impactos climáticos, a incorporação de informações sobre a morfologia urbana e o comportamento térmico local, como as obtidas por meio da classificação das Zonas Climáticas

Locais (ZCLs), torna-se uma estratégia relevante para subsidiar revisões de planos diretores mais sensíveis às dinâmicas climáticas. Dessa forma, a integração entre planejamento urbano, análise térmica e regulamentações urbanísticas representa um passo crucial para a construção de cidades mais resilientes, adaptadas às novas condições ambientais e comprometidas com a melhoria da qualidade de vida urbana.

No contexto da cidade de João Pessoa, destaca-se a revisão do Plano Diretor, aprovada pela Câmara Municipal em dezembro de 2023 e sancionada como Lei Complementar nº 166, de 6 de maio de 2024. Em cumprimento às diretrizes do Estatuto da Cidade, a atualização reforça a importância de integrar variáveis morfológicas e ambientais ao planejamento urbano, diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas locais. Nesse cenário, a caracterização das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) configura-se como subsídio técnico relevante para orientar estratégias urbanísticas mais adaptadas às condições térmicas e apoiar a formulação de políticas públicas voltadas à resiliência da cidade.

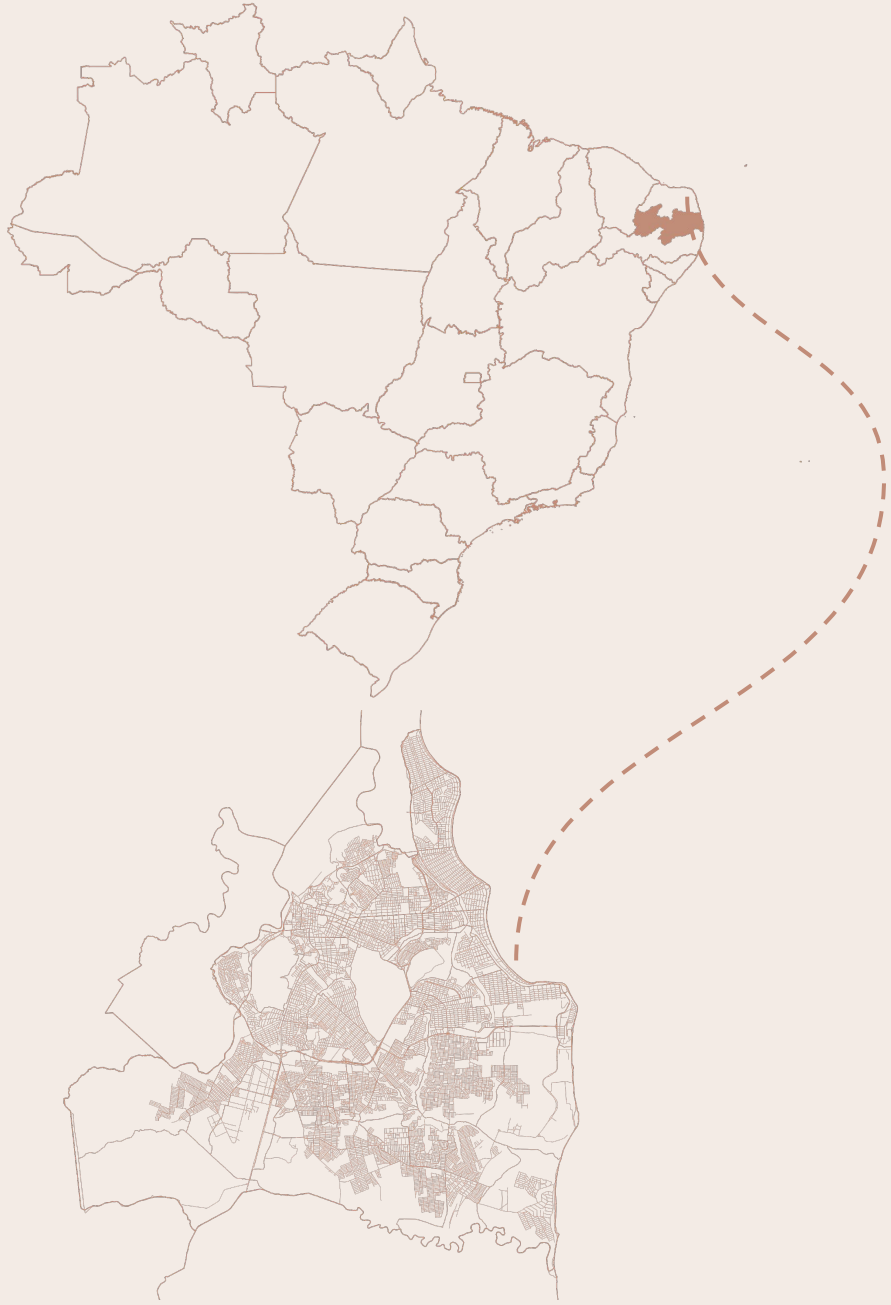
Para fundamentar ações de planejamento e gestão urbana, torna-se necessário compreender e classificar as zonas climáticas locais (ZCL), de forma a identificar padrões térmicos específicos dentro do tecido urbano.

Capítulo III – Metodologia de Classificação das ZCLs em João Pessoa

3.1 Delimitação do universo de estudo

A título informativo, destaca-se que a cidade de João Pessoa – PB está localizada na zona costeira do estado da Paraíba e possui uma área territorial de 210,044 km² (IBGE, 2023). Suas coordenadas geográficas são: Latitude Sul = 7° 14'29", Longitude Oeste = 34° 58'36"; Latitude Sul = 7° 03'18" e Longitude Oeste = 34° 47'36". A cidade apresenta uma temperatura média anual do ar de 26 °C e um regime de ventos hegemônico diário, predominando durante todo o ano os ventos alísios de sudeste (SILVA, 1999). Situada na faixa litorânea do estado, João Pessoa é diretamente influenciada pela entrada dos ventos alísios de sudeste e sofre os efeitos da maritimidade ao longo de todo o ano. No entanto, os tipos de cobertura do solo são determinantes para as condições de conforto térmico na cidade (SANTOS, 2011).

Figura 05: Mapa Brasil com destaque para o estado da Paraíba e detalhamento mapa João Pessoa.



Fonte: Filipéia Mapas [1] (adaptado)

3.2 Procedimentos metodológicos

3.2.1 Identificação da geometria urbana na cidade de João Pessoa/PB

Esta etapa consistiu na identificação e análise da morfologia urbana da cidade de João Pessoa, com o objetivo de caracterizar os espaços urbanos segundo os princípios da classificação de Zonas Climáticas Locais (ZCLs).

A caracterização da geometria urbana foi baseada na análise dos dados morfológicos obtidos para a cidade como um todo, tendo como principal referência a tese de Silva (2017), que mapeou índices morfológicos relevantes para o contexto urbano de João Pessoa. A autora disponibilizou valores médios para parâmetros como altura média dos edifícios, fator de divisão do céu (SVF), rugosidade da superfície (z_0), taxa de ocupação e permeabilidade do solo, os quais foram utilizados como base para a classificação dos setores urbanos neste estudo.

A delimitação espacial das áreas seguiu a metodologia estabelecida por Stewart e Oke (2012), segundo a qual o raio mínimo de uma Zona Climática Local deve variar entre 200 e 500 metros. Dessa forma, a análise foi realizada por bairro, associando os parâmetros morfológicos aos valores de referência definidos para as classes de ZCLs. O procedimento foi aplicado para toda a cidade de João Pessoa, assegurando que todas as diferentes tipologias de ZCL fossem representadas, de modo a garantir uma amostra de treinamento adequada para a geração do mapa da cidade no protocolo WUDAPT, buscando uma acurácia considerável no resultado final.

Dessa forma, pode-se afirmar que o primeiro passo da metodologia consistiu na obtenção dos dados morfológicos da cidade e na comparação desses valores com os parâmetros estabelecidos por Stewart e Oke (2012), visando à classificação das diferentes Zonas Climáticas Locais (ZCLs) presentes em João Pessoa. Concluída essa etapa, inicia-se a segunda fase do trabalho, que corresponde ao mapeamento e à seleção das áreas de treinamento (training areas) para posterior submissão do mapeamento na plataforma WUDAPT.

3.2.2 Cálculo e Análise dos Parâmetros das ZCLs

Concluída a caracterização da morfologia urbana da cidade de João Pessoa, foram comparados os valores dos parâmetros morfológicos obtidos por Silva (2017) com os intervalos de referência estabelecidos por Stewart e Oke (2012) para a classificação das Zonas Climáticas Locais (ZCLs). A partir dessa comparação, foi possível identificar as diferentes tipologias de ZCLs presentes na cidade e definir os pontos correspondentes para cada classe.

Com a identificação das zonas, iniciou-se a etapa de mapeamento das áreas de treinamento (Training Areas), utilizando o arquivo padrão fornecido pela plataforma WUDAPT, em formato compatível com o Google Earth. As áreas de treinamento foram delineadas respeitando critérios metodológicos específicos que estão descritos no próprio site, com apoio de artigos e vídeos para facilitar o entendimento de como será a coleta de dados.

Após baixar o modelo de arquivo gerador de ZCL no site, existe um passo a passo para a correta seleção dos polígonos:

1 - Ao abrir o arquivo no google earth selecione a subpasta do tipo ZCL que corresponde à área que você vai digitalizar. Por exemplo, selecione ZCL 1 ou 2, ou seja, áreas com edifícios compactos.

2- Com a escolha da subpasta é o momento de selecioonar as primeiras training áreas, para obedecer o raio de 200 a 500m é importante ativar a guia de medição para que você possa ver o tamanho da área de treinamento.

3- Adicionar –> Polígono e forneça um rótulo exclusivo (por exemplo, ZCL1a, onde a representa o primeiro polígono desse tipo).

4- Digitalize a área delineando pontos que demarcam o limite.

5- Para cada pasta de classificação o idela é cobrir a maior quantidade de área possível, ou seja, a maior quantidade de polígonos possível para melhorar a qualidade do arquivo de treinamento, visando maior

precisão. Como regra, quanto mais (e maiores) áreas de treinamento para cada tipo de ZCL, melhor para a classificação. Um número maior de pixels de treinamento fornece uma melhor representação da variedade de características espectrais associadas a um tipo de ZCL.

6- Depois que todas as áreas de treinamento para esta classificação forem concluídas, altere a configuração de estilo para esse tipo de ZCL; clique com o botão direito do mouse na pasta ZCL que acompanha e selecione Propriedades > Estilo, Cor > Estilo de compartilhamento.

7- Uma vez feito isso, abra a pasta e exclua o espaço reservado para estilo.

Esse passo a passo de como proceder na configuração consta no site WUDAPT, e como já foi sinalizado há uma área bem amparada de tutoriais para que o pesquisador consiga seguir corretamente o procedimento solicitado pela plataforma.

Outros pontos importantes destacados são alguns cuidados que devemos tomar ao criar esses polígonos:

- Deve haver vários exemplos (5-15) de cada ZCL para ajudar na classificação automática; haverá variações entre um tipo de ZCL em diferentes partes da cidade (por exemplo, diferentes cores de telhado ou materiais de construção) e na mesma ZCL em diferentes épocas do ano devido ao status da vegetação), portanto, certifique-se de digitalizar exemplos.
- Garantir que a cobertura natural da superfície (por exemplo, árvores densas) receba tanta atenção quanto os tipos urbanos; Esses tipos são necessários para delinear a pegada urbana.
- Digitalize recursos que são bastante persistentes ao longo do tempo, por exemplo, evite canteiros de obras e tenha cuidado com terras agrícolas (deve ser ZCL D) e águas sazonais / de maré.

- Use o Street View e imagens georreferenciadas, quando disponíveis, para confirmar sua categorização do bairro.

Abaixo seguem as recomendações constantes na plataforma com exemplificação de imagens para facilitar o entendimento:

TABELA 02: Exemplos de como selecionar as áreas de treinamento

PROPRIEDADES	EXEMPLOS
TAMANHO: Pense na escala local. Edifícios individuais não constituem uma ZCL. Procure por grandes áreas homogêneas que tenham, no mínimo, 200 metros de largura no seu ponto mais estreito. Utilize a ferramenta de medição do Google Earth para garantir que a área seja suficientemente grande.	
FORMA: Evite formas complexas, pois isso pode levar à mistura de informações espectrais. Formas simples, em bloco, maximizarão a homogeneidade das informações espectrais e o número de pixels de satélite disponíveis dentro da forma.	

HOMOGENEIDADE:

Ao digitalizar uma área de treinamento, as características da superfície devem ser semelhantes. Em caso de dúvida, é melhor digitalizar diferentes áreas de treinamento que sejam homogêneas do que uma única área que seja excessivamente heterogênea..

FRONTEIRAS I DISTÂNCIA:

Procure manter uma distância mínima em relação a outras ZCLs durante a classificação. Se polígonos de classes diferentes estiverem muito próximos, o classificador poderá receber sinais espectrais misturados, o que comprometerá a qualidade da classificação.

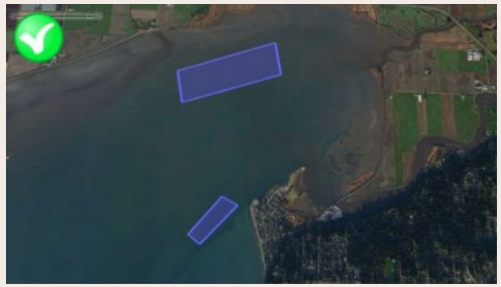
Da mesma forma, não digitalize sua área de treinamento muito próxima a outras coberturas do solo. Além disso, evite a digitalização precisa ao longo de segmentos de estrada ou de rios, pois essas feições geralmente são muito estreitas.

PERSISTÊNCIA | SAZONALIDADE

Evite áreas de construção, pois elas tendem a mudar de tipo de ZCL em um curto período de tempo.

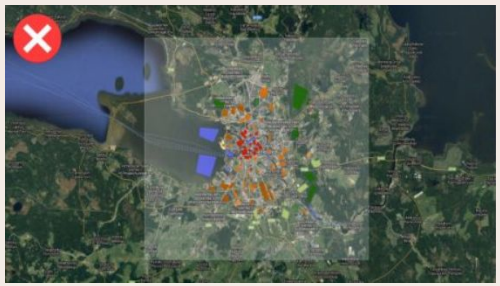
As características da superfície de alguns tipos de ZCL podem depender da sazonalidade. Áreas agrícolas (ZCL D, cultivos) são um exemplo típico, em que a cobertura do solo pode alternar entre solo exposto e áreas cultivadas ao longo do ano. Utilize o recurso de linha do tempo do Google Earth para explorar a sazonalidade.

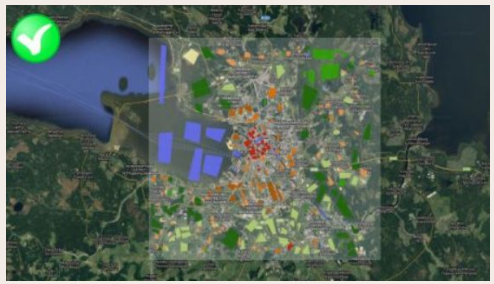
Considere as águas sazonais ou de maré. Dependendo da hora do dia ou da estação do ano, margens e leitos de rios podem estar secos ou conter água.



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Distribua as áreas de treinamento por toda a região de interesse, pois uma mesma ZCL pode apresentar diferenças em sua aparência e propriedades espectrais em diferentes partes da região.





Fonte: Filipéia Mapas [1] (adaptado)

3.2.3 Mapeamento das Zonas Climáticas Locais

Após a caracterização da morfologia urbana da cidade de João Pessoa e a definição das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) conforme os parâmetros de Stewart e Oke (2012), foram selecionados sete bairros para análise mais detalhada: Centro, Cabo Branco, Altiplano, Brisamar, Aeroclube, Mangabeira e Bairro dos Estados. A escolha desses bairros visou representar a diversidade morfológica da cidade, contemplando diferentes padrões de altura das edificações, permeabilidade do solo, taxa de ocupação e ventilação, assegurando a cobertura de distintas classes de ZCLs mapeadas.

Em seguida, deu-se início à criação das áreas de treinamento (Training Areas), respeitando os critérios metodológicos estabelecidos pelo protocolo WUDAPT, como homogeneidade das superfícies, tamanho mínimo, formato simples dos polígonos e distância adequada entre classes distintas. A delimitação das áreas foi realizada utilizando-se a ferramenta Google Earth, seguindo o modelo padrão disponibilizado pela plataforma.

Após a definição das áreas de treinamento, os polígonos foram enviados para o ambiente de processamento do WUDAPT, onde foi aplicada a classificação supervisionada baseada em algoritmos de aprendizado de máquina (Random Forest). Como resultado, foi gerado o mapa das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) da cidade de João Pessoa.

Além da obtenção do mapa classificado e dos arquivos tratados, a cidade passou a integrar oficialmente a base de dados pública do portal WUDAPT, permitindo o acesso aberto aos resultados por meio da plataforma.

Essa etapa finaliza a metodologia proposta, concretizando um dos objetivos específicos deste trabalho: "Inserir as Zonas Climáticas Locais da cidade de João Pessoa no portal WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools)".

Concluída a etapa de classificação baseada nos critérios metodológicos supracitados, passa-se à apresentação dos resultados obtidos e sua interpretação à luz das características morfológicas da cidade.

Capítulo IV –

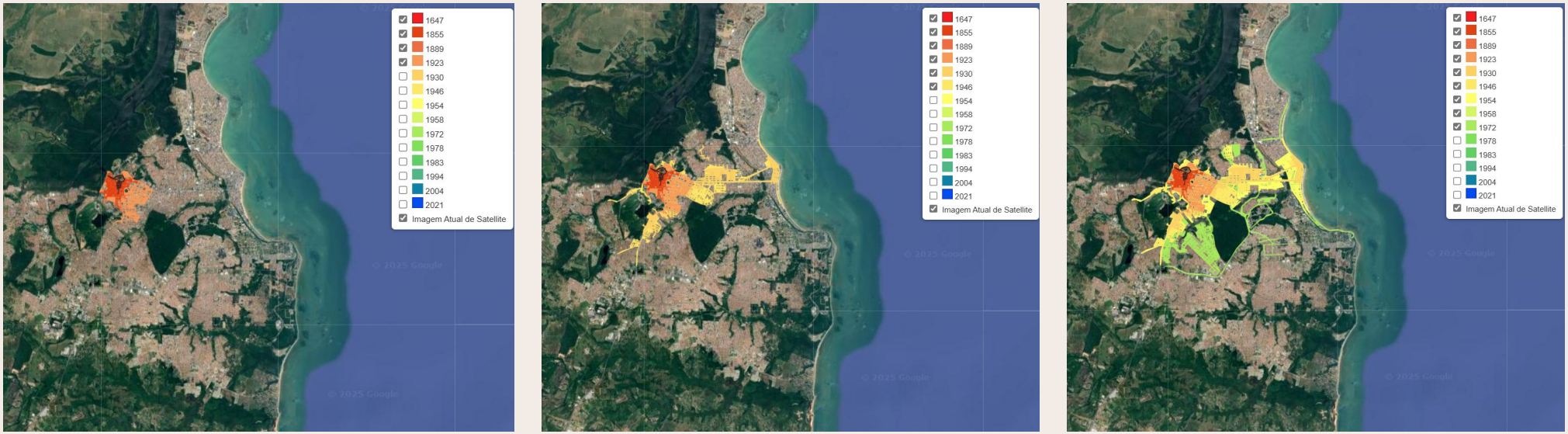
Resultados e discussão

4.1 Análise da expansão urbana de João Pessoa

Neste capítulo, será apresentada uma análise do processo de expansão urbana da cidade de João Pessoa e sua influência sobre a configuração dos bairros, considerando também a relação desse crescimento com as diretrizes do Plano Diretor Municipal. Essa contextualização visa ambientar o leitor para a interpretação dos mapas das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) gerados a partir da metodologia WUDAPT.

Inicialmente, será discutida a formação da cidade, que teve origem às margens do Rio Sanhauá, com posterior expansão para a cidade alta e avanço em direção à orla marítima, conforme evidenciado nas imagens históricas de crescimento urbano (Figura 06). A análise também aborda a abertura de importantes eixos viários, como a Avenida Epitácio Pessoa, que conecta o centro histórico à orla, atravessando bairros de relevância para este estudo, como o Bairro dos Estados.

Figura 06: Expansão urbana de João Pessoa: fases iniciais de ocupação (1647 a 1972)

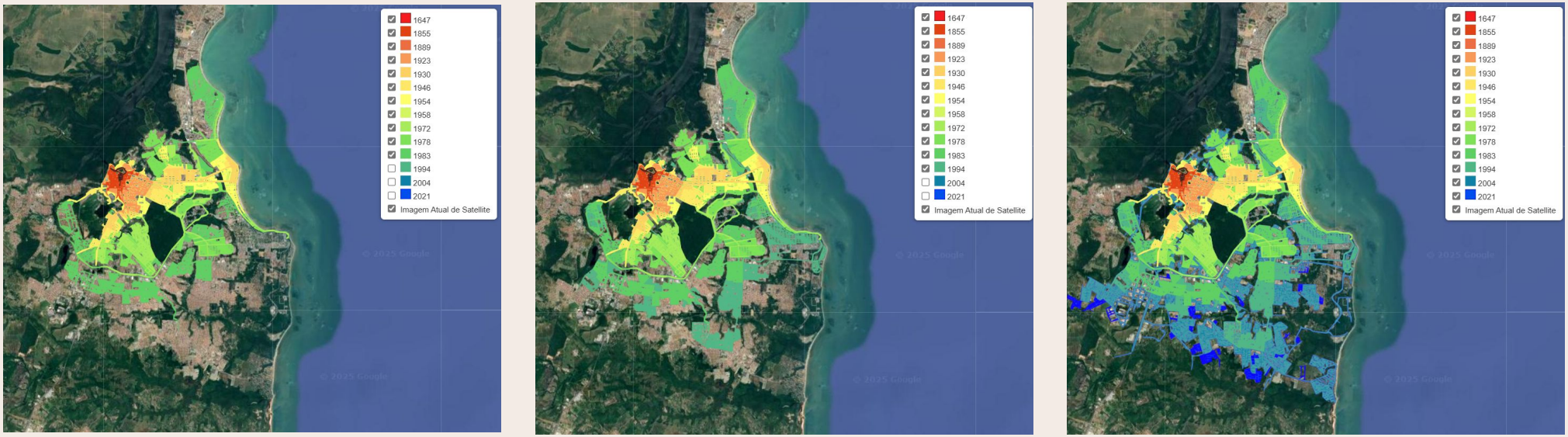


Fonte: Prefeitura Municipal de João Pessoa (2024).

Observa-se ainda, nas fases mais recentes de expansão, a ocupação da região sul do município, destacando-se bairros como Mangabeira (Figura 07). Dessa forma, serão analisados bairros que representam diferentes fases do processo de expansão da cidade: o Centro, pertencente à fase inicial; Cabo Branco e Brisamar, vinculados à expansão intermediária; e Mangabeira, resultado da expansão recente para a zona sul.

Além de compreender a evolução espacial da cidade, é importante destacar que os processos de urbanização de João Pessoa refletem padrões de crescimento típicos das cidades brasileiras, nos quais a expansão desordenada, a abertura de novos eixos viários e a valorização de áreas próximas à orla marítima influenciaram significativamente a configuração morfológica urbana. Esse histórico de crescimento, marcado por diferentes dinâmicas

Figura 07: Expansão urbana de João Pessoa: fases recentes de ocupação (1972 a 2021)



Fonte: Prefeitura Municipal de João Pessoa (2024).

4.2 Planejamento urbano e macrozoneamento de João Pessoa

territoriais ao longo das décadas, impactou diretamente nas características físicas da superfície urbana, variando conforme o período de consolidação dos bairros. Dessa maneira, a observação das etapas de expansão da cidade torna-se essencial para a interpretação das Zonas Climáticas Locais identificadas na pesquisa.

Após essa contextualização, será apresentada a análise do mapa geral das ZCLs, seguida da investigação mais detalhada dos bairros selecionados. A escolha dos bairros considerou a representatividade de diferentes classissifação das Zonas Climáticas Locais identificadas, bem como a existência de particularidades relacionadas à legislação urbanística, como o polígono de tombamento no Centro e as restrições impostas pela Lei do Gabarito no bairro de Cabo Branco.

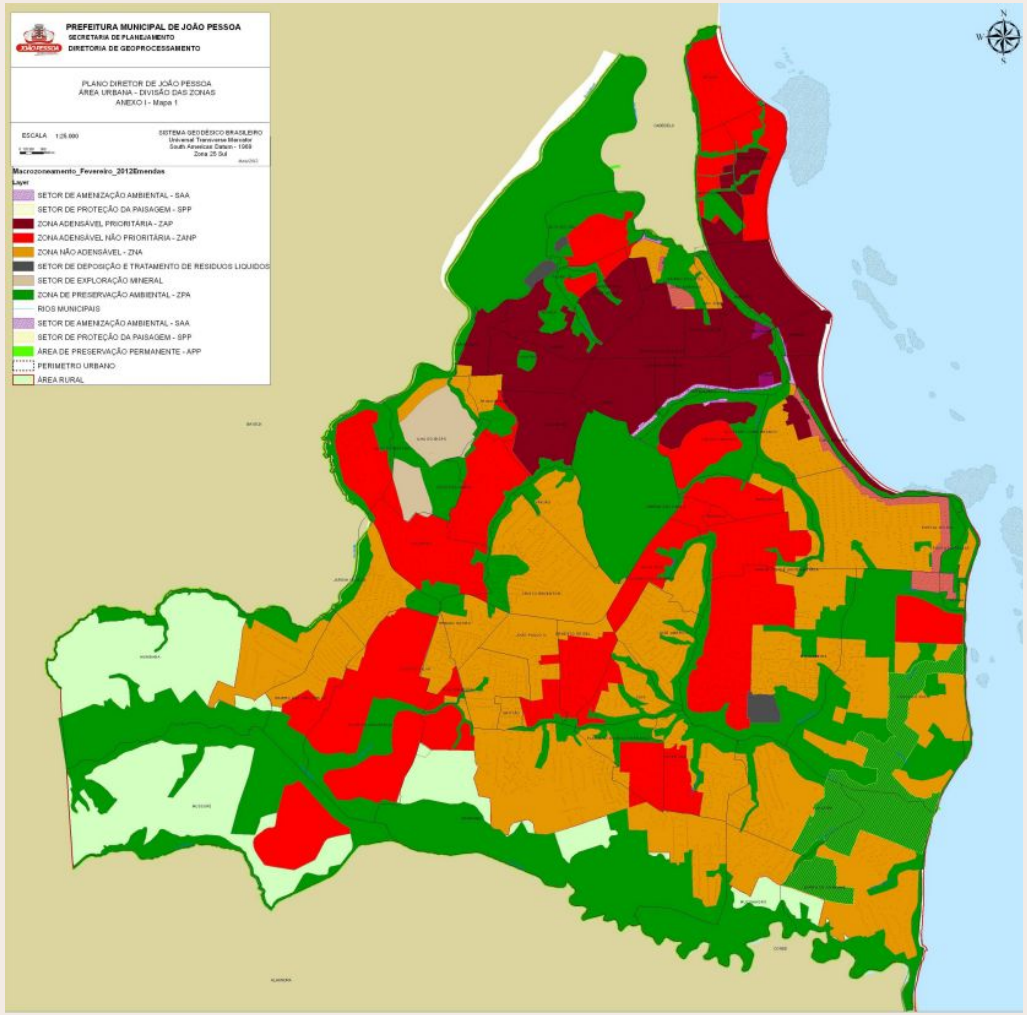
Com o avanço da expansão urbana e o crescimento acelerado da cidade de João Pessoa, tornou-se necessária a implementação de instrumentos de planejamento que orientassem o desenvolvimento urbano garantindo a ocupação ordenada do território. Nesse sentido, o Plano Diretor Municipal configura-se como o principal instrumento de política urbana, conforme estabelece o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001).

Historicamente, o município de João Pessoa foi organizado em diferentes áreas territoriais com a finalidade de orientar a implementação de estratégias urbanísticas previstas no Plano Diretor. Essas divisões, conhecidas como macrozonas, foram estabelecidas a partir da atualização do Anexo I do Plano Diretor de 2008, formalizada em 2012. A Figura 28, extraída do portal Filipeia Mapas, disponibilizado pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, apresenta essa estrutura de macrozoneamento, que compreendia zonas adensáveis prioritárias e não prioritárias, zonas não

adensáveis e zonas de preservação ambiental, definindo os parâmetros para o uso e ocupação do solo urbano à época.

É importante ressaltar que o tecido urbano atual, consolidado ao longo das últimas décadas, reflete em grande parte as diretrizes definidas nesse macrozoneamento anterior. No entanto, com a aprovação do novo Plano Diretor de João Pessoa, pela Lei Complementar nº 117/2022, houve uma reestruturação do macrozoneamento municipal, com novos parâmetros para o uso e ocupação do solo, visando integrar de forma mais sustentável o crescimento urbano, a proteção ambiental e a mobilidade urbana. Essa atualização poderá influenciar de maneira significativa a organização futura do espaço urbano, e, por conseguinte, as dinâmicas térmicas e as categorias de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) que possam vir a ser identificadas nos próximos anos.

Figura 08: Macrozoneamento João Pessoa - 2012



Fonte: Prefeitura Municipal de João Pessoa (2024).

Dessa maneira, compreender tanto o macrozoneamento anterior quanto às novas diretrizes é fundamental para interpretar adequadamente a configuração urbana atual e suas relações com o comportamento térmico observado na cidade.

No macrozoneamento anterior de João Pessoa, as áreas do município foram classificadas em diferentes categorias, buscando orientar o padrão de ocupação do solo de acordo com as condições de infraestrutura urbana e de preservação ambiental.

A Zona Adensável Prioritária (ZAP) refere-se às áreas dotadas de infraestrutura urbana consolidada, como rede viária, sistemas de abastecimento e saneamento, onde é permitida a intensificação do uso e da ocupação do solo. Nessas áreas, o índice de aproveitamento básico poderia ser ampliado até o limite de 4,0. Esse tipo de zona, embora facilite o adensamento controlado e racional, pode também contribuir para o aumento da compactação urbana caso não sejam observadas estratégias adequadas de ventilação, sombreamento e áreas verdes, impactando negativamente no conforto térmico urbano.

Já a Zona Adensável Não Prioritária (ZANP) compreende regiões onde, embora exista infraestrutura básica suficiente, sua disponibilidade é limitada, permitindo apenas um adensamento moderado. Nessas áreas, o índice de aproveitamento poderia ser elevado até o limite de 2,0. Em termos de impacto, a ZANP apresenta riscos menores de compactação excessiva em comparação à ZAP, mas ainda assim exige cuidados para evitar a sobrecarga da infraestrutura existente.

A Zona Não Adensável (ZNA) corresponde às regiões cuja infraestrutura urbana é deficiente ou inadequada, restringindo a intensificação do uso do solo. O limite de aproveitamento básico nestas áreas era fixado em 1,0, podendo chegar a 2,0 apenas mediante consulta ao Conselho de Desenvolvimento Urbano (CDU). Essas zonas, por apresentarem limitações naturais ou estruturais, representam áreas

de menor densidade urbana, funcionando, muitas vezes, como zonas de amortecimento contra processos intensos de compactação.

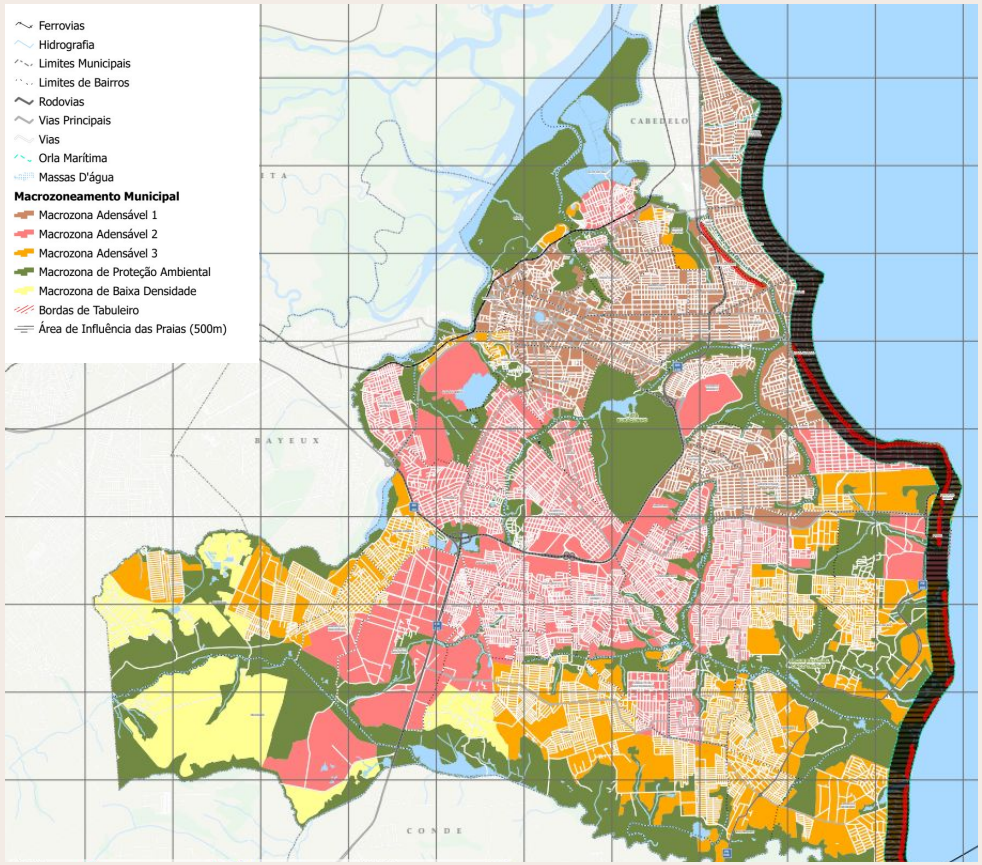
Por fim, a Zona de Preservação Ambiental (ZPA) abrange áreas com valor ecológico significativo, como remanescentes de Mata Atlântica, onde se busca garantir a ocupação sustentável e o uso característico de zonas rurais. Nessas regiões, o índice de aproveitamento é drasticamente reduzido, chegando a 0,05 em setores específicos, como o Setor de Proteção da Paisagem no leste e sul do território municipal. As ZPAs são fundamentais para a regulação térmica da cidade, atuando como espaços de resfriamento urbano.

De modo geral, verifica-se que as áreas classificadas como ZAP e, em menor grau, as ZANP, são as que mais contribuem para o aumento da compactação urbana. A elevação da densidade construtiva, quando realizada sem adequado planejamento ambiental e sem consideração às dinâmicas microclimáticas, pode favorecer a formação de ilhas de calor urbano e impactar negativamente na configuração das Zonas Climáticas Locais (ZCLs), fenômenos diretamente observados na análise realizada neste trabalho.

A configuração urbana consolidada de João Pessoa reflete, em grande medida, as diretrizes estabelecidas no macrozoneamento definido no Plano Diretor de 2008, atualizado em 2012. Esse modelo organizava a cidade em quatro grandes zonas — Zona Adensável Prioritária (ZAP), Zona Adensável Não Prioritária (ZANP), Zona Não Adensável (ZNA) e Zona de Preservação Ambiental (ZPA) —, buscando orientar o adensamento e conter a expansão urbana desordenada. Entretanto, a ausência de subdivisões mais refinadas dentro das zonas adensáveis favoreceu, em determinados setores, o adensamento excessivo e a compactação urbana, impactando negativamente na ventilação natural, no sombreamento e, consequentemente, nas condições de conforto térmico.

Com a aprovação do novo Plano Diretor pela Lei Complementar nº 117/2022, o macrozoneamento urbano foi reorganizado de forma mais detalhada, incorporando novas categorias como Macrozona Adensável 1, 2 e 3, Macrozona de Baixa Densidade, Macrozona de Proteção Ambiental, além da delimitação das Bordas de Tabuleiro e da Área de Influência das Praias. Essa reestruturação visa controlar de maneira mais eficiente os diferentes níveis de adensamento e proteger corredores de ventilação, como aqueles localizados na faixa litorânea da cidade. A expectativa é que, no futuro, tais medidas contribuam para a mitigação dos efeitos da compactação urbana sobre o microclima local, impactando positivamente na configuração das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) de João Pessoa.

Figura 09: Macrozoneamento João Pessoa - 2024



Fonte: Prefeitura Municipal de João Pessoa (2024).

4.3 Análise do mapa das Zonas Climáticas Locais

Após a contextualização do processo de expansão urbana de João Pessoa e a análise das diretrizes de planejamento que moldaram sua morfologia urbana, apresenta-se neste tópico a análise do mapa geral das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) da cidade.

O mapa foi produzido com base na metodologia de classificação de zonas climáticas locais desenvolvida por Stewart e Oke (2012) e sistematizada no âmbito do projeto World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT). Essa metodologia classifica as áreas urbanas a partir de características morfológicas e físicas, considerando atributos como altura das edificações, densidade construtiva, percentual de cobertura vegetal e tipo de superfície.

A identificação das diferentes classes de ZCLs permite compreender como a morfologia urbana influencia as dinâmicas térmicas locais, oferecendo subsídios para a interpretação das condições de conforto térmico observadas. A seguir, apresenta-se o mapa geral da cidade de João Pessoa, com a descrição das classes predominantes e a análise de sua distribuição espacial.

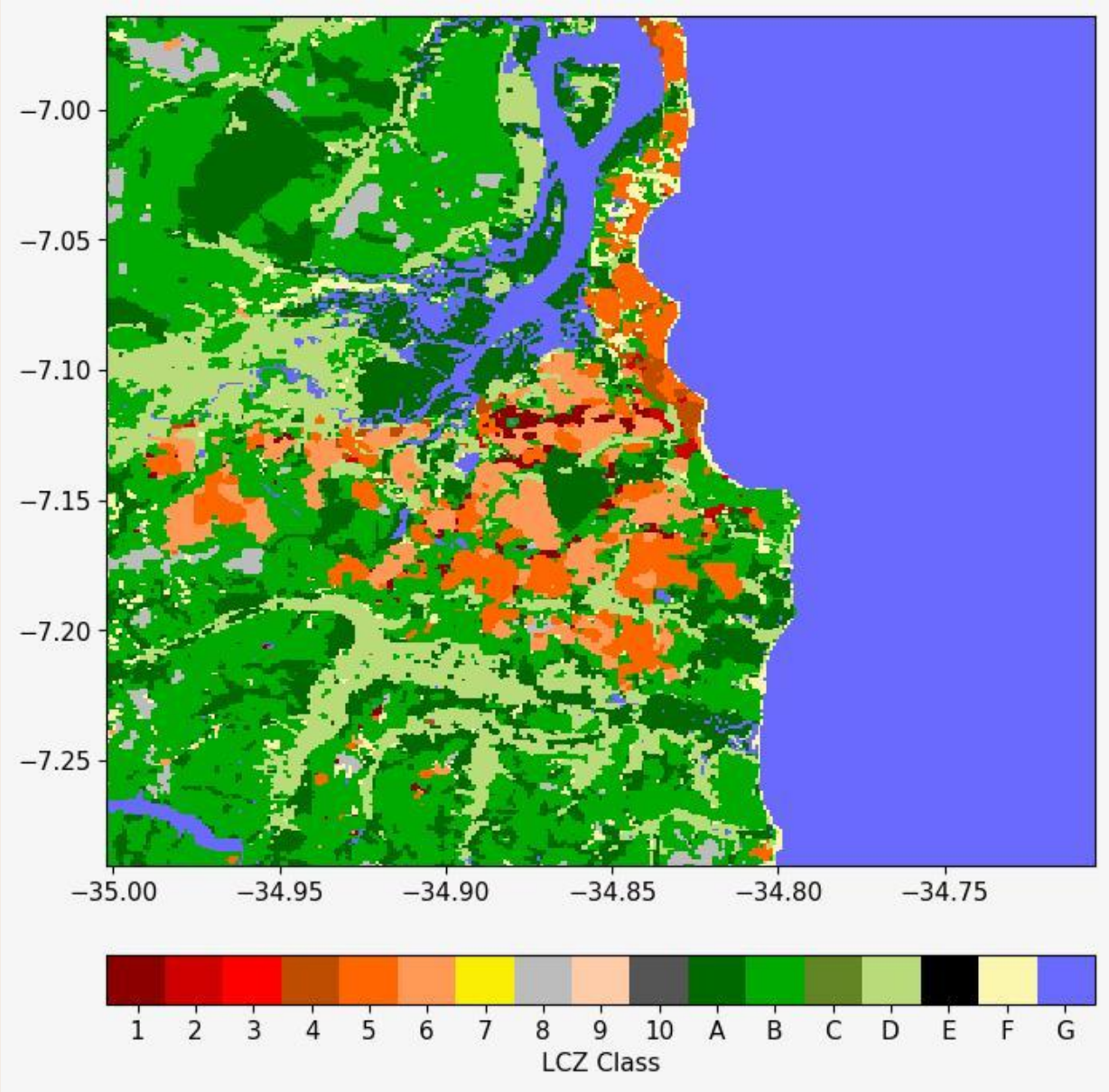
O mapa geral das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) da cidade de João Pessoa, apresentado na Figura 08, evidencia a diversidade morfológica do núcleo urbano e sua organização espacial. As classes predominantes nas áreas urbanizadas consolidadas são ZCL 3 (edificações compactas de altura média), ZCL 5 (edificações espalhadas de altura média) e ZCL 6 (edificações abertas de altura baixa), refletindo diferentes padrões de adensamento e configuração morfológica.

Observa-se ainda a presença de classes associadas à vegetação, como ZCL A (vegetação densa) e ZCL B (vegetação esparsa), especialmente nas bordas do município e em áreas de transição com os municípios vizinhos, como Cabedelo, Bayeux e Conde. Embora essas regiões circunvizinhas sejam importantes para a compreensão integrada da

dinâmica urbana metropolitana, o foco da análise, neste momento, será o núcleo urbano consolidado da cidade de João Pessoa.

Assim, o próximo tópico será dedicado a um olhar mais focalizado sobre os bairros selecionados para o estudo, representativos das diferentes classes de ZCLs identificadas no mapeamento.

Figura 10: Mapa ZCLs de João Pessoa - PB



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

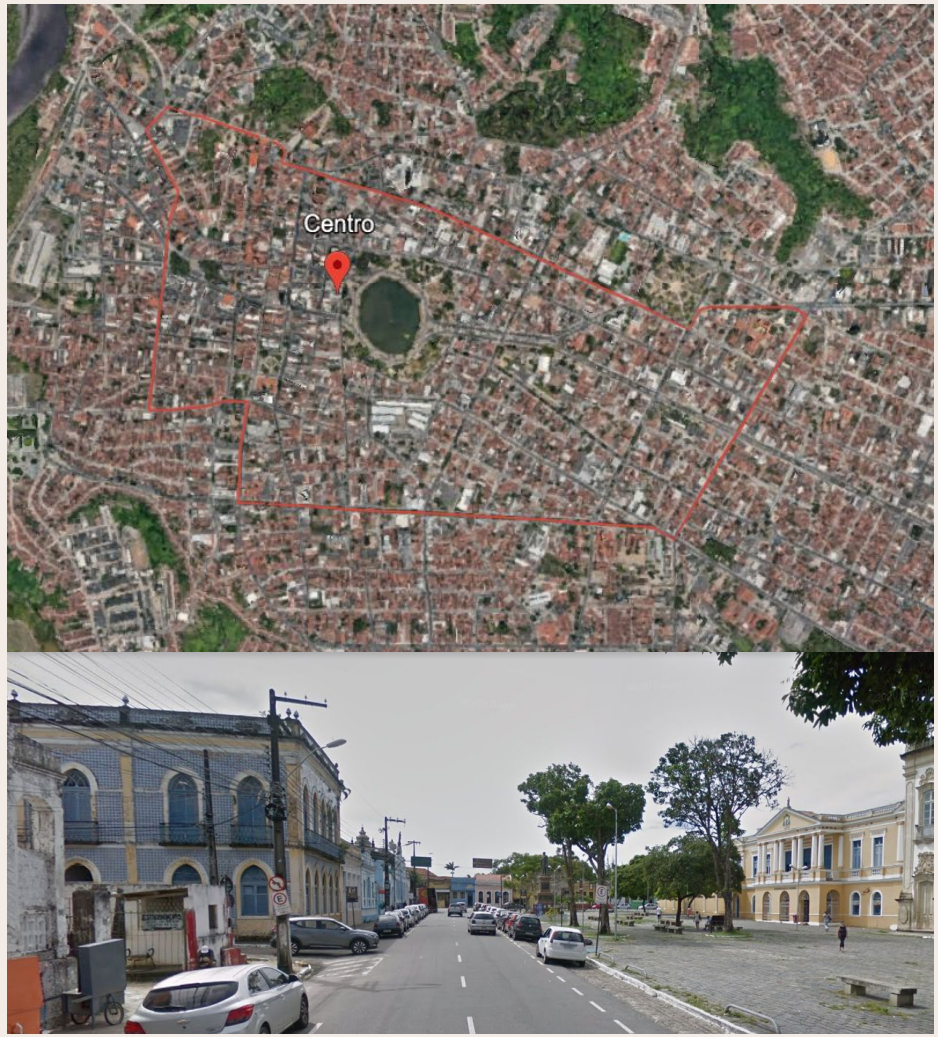
4.4 Caracterização preliminar dos bairros

Antes da análise morfológica baseada nas classes de Zonas Climáticas Locais (ZCLs), apresenta-se uma breve caracterização dos bairros selecionados, visando contextualizar sua ocupação urbana e seus principais usos do solo.

BAIRRO CENTRO

Localizado na área central de João Pessoa, o Centro caracteriza-se pela predominância de atividades comerciais e serviços, com menor presença de áreas verdes. A configuração urbana é marcada por edificações compactas, de altura média a baixa, dispostas em quadras regulares, refletindo a formação histórica da cidade. O bairro encontra-se inserido em Zona de Comércio e Serviços, conforme o zoneamento urbano.

Figura 11: Mapa satélite Centro e Praça Dom Adauto



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO DOS ESTADOS

Situado nas proximidades do Centro, o Bairro dos Estados é predominantemente residencial, composto majoritariamente por edificações térreas e de poucos pavimentos. Sua organização espacial apresenta ruas largas e quadras bem definidas, com uso misto moderado em alguns eixos principais.

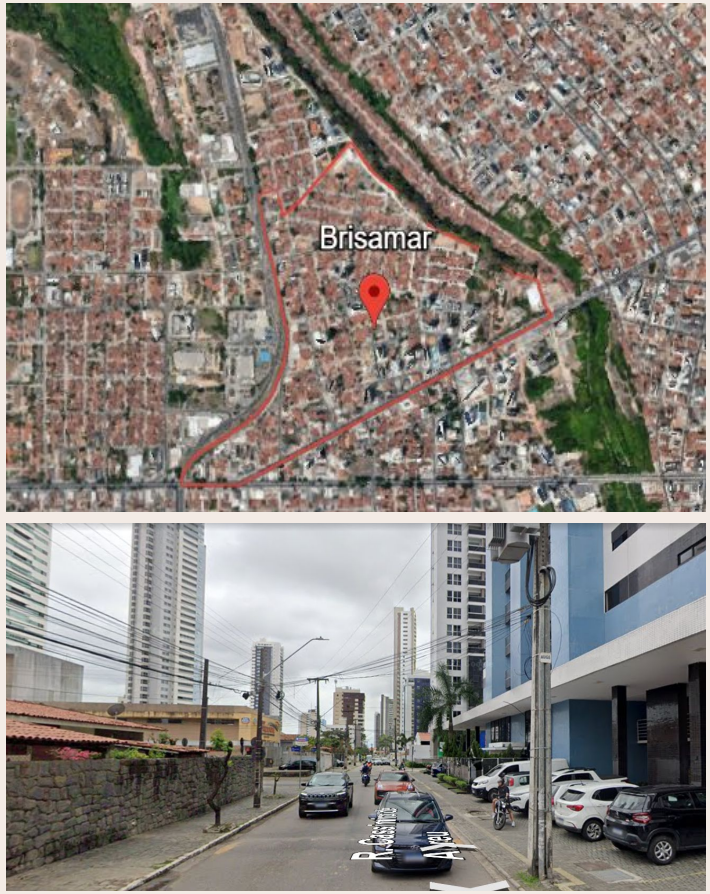
Figura 12: Mapa Satélite Estados e Av. Maranhão

Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO BRISAMAR

Bairro de perfil predominantemente residencial, Brisamar situa-se próximo à orla marítima e apresenta adensamento progressivo, com presença de edificações de média altura. Áreas de comércio e serviços concentram-se em eixos viários principais.

Figura 13: Mapa Satélite Brisamar e Rua Cassimiro de Abreu

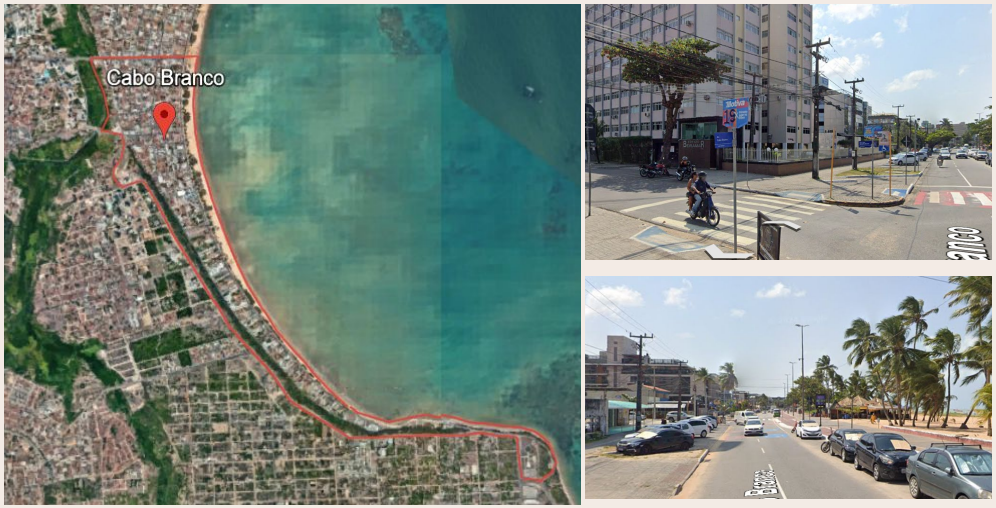


Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO CABO BRANCO

Cabo Branco está localizado na faixa litorânea de João Pessoa e combina ocupação residencial com forte presença de atividades turísticas e comerciais ao longo da orla. A legislação urbanística, em especial a Lei do Gabarito, impõe restrições à altura das edificações, buscando preservar a ventilação e a paisagem natural. A proximidade com o oceano Atlântico e a presença dos ventos alísios de sudeste influenciam a dinâmica ambiental do bairro.

Figura 14: Mapa Satélite Cabo Branco e Av. Cabo Branco



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO ALTIPLANO

O bairro Altiplano se destaca por sua intensa verticalização nas áreas centrais, associada à predominância do uso residencial de alto padrão. Suas bordas apresentam zonas de preservação ambiental, o que contribui para a heterogeneidade de sua ocupação. Um de seus principais diferenciais está na elevação natural do terreno — uma característica geomorfológica — que permite ampla vista para a orla marítima, mesmo sem localização direta na faixa litorânea. Essa condição topográfica, aliada à verticalização, potencializa a valorização imobiliária local.

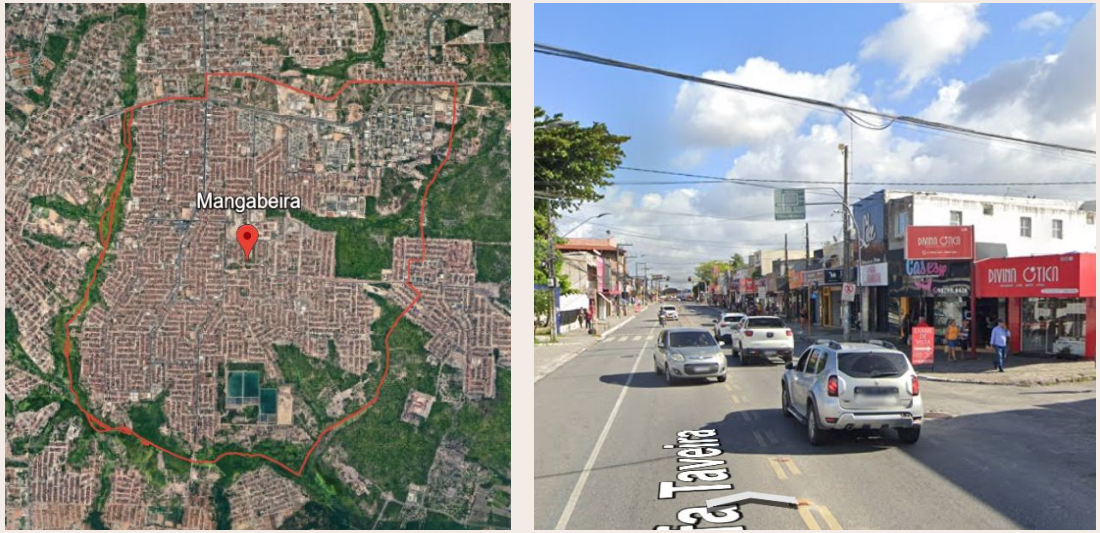
Figura 15: Mapa Satélite Altiplano e Av. Abelardo da Silva Guimarães Barreto

Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO DE MANGABEIRA

Mangabeira é um dos bairros mais populosos da cidade e se situa na zona sul de João Pessoa. Apresenta um padrão de ocupação horizontal denso, com predominância de residências térreas e pequeno comércio distribuído entre as quadras. Inserido em Zona Residencial, o bairro reflete um modelo de expansão urbana periférica consolidada, com ocupação contínua e grande diversidade de usos locais.

Figura 16: Mapa Satélite Mangabeira e Rua Josefa Taveira



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

BAIRRO AEROCLUBE

O bairro Aeroclube apresenta uma ocupação de baixa densidade, com predomínio de edificações unifamiliares e a presença significativa de áreas verdes, especialmente em setores próximos ao antigo campo de aviação. Apesar da predominância residencial, observa-se uma concentração moderada de comércio e serviços em alguns pontos. A vegetação existente contribui para a qualidade ambiental local, embora a expansão urbana recente venha promovendo alterações nessa configuração.

Figura 17 Mapa Satélite Aeroclube e Rua Leocádio Ribeiro Coutinho

Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

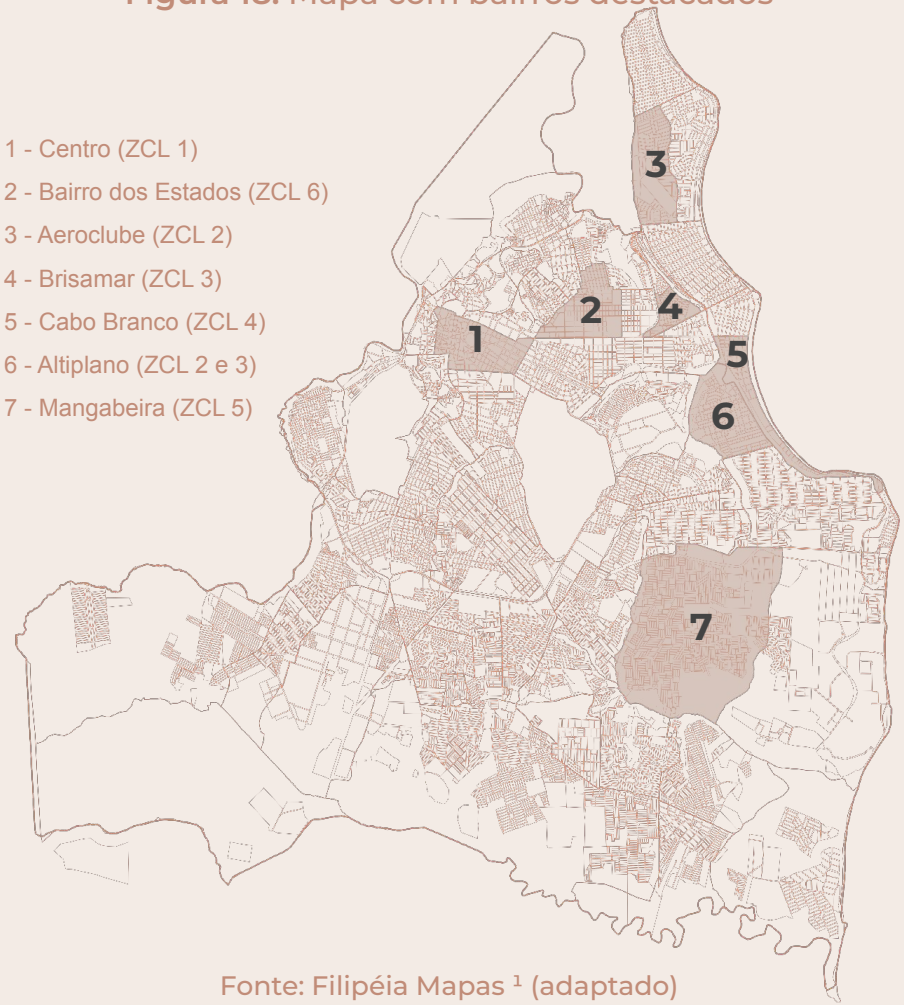
4.5 Análise dos bairros selecionados

Para a análise detalhada, foram selecionados quatro bairros que representam diferentes classes de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) e momentos do processo de urbanização de João Pessoa: Centro, Cabo Branco, Brisamar e Mangabeira. A seleção considerou a diversidade morfológica, a distribuição espacial das classes de ZCLs e a existência de particularidades urbanísticas relevantes, como restrições de adensamento e áreas de proteção patrimonial.

O Centro, área histórica da cidade, caracteriza-se por edificações compactas e preservação do patrimônio arquitetônico. Cabo Branco e Brisamar refletem a expansão voltada para a orla, marcada por restrições construtivas específicas. Mangabeira, por sua vez, integra a frente de expansão recente, apresentando padrões de ocupação predominantemente horizontais e áreas de média densidade.

Nos tópicos a seguir, cada bairro será analisado individualmente, considerando sua configuração morfológica e as implicações térmicas associadas às classes de ZCLs identificadas.

Figura 18: Mapa com bairros destacados



Fonte: Filipéia Mapas [1] (adaptado)

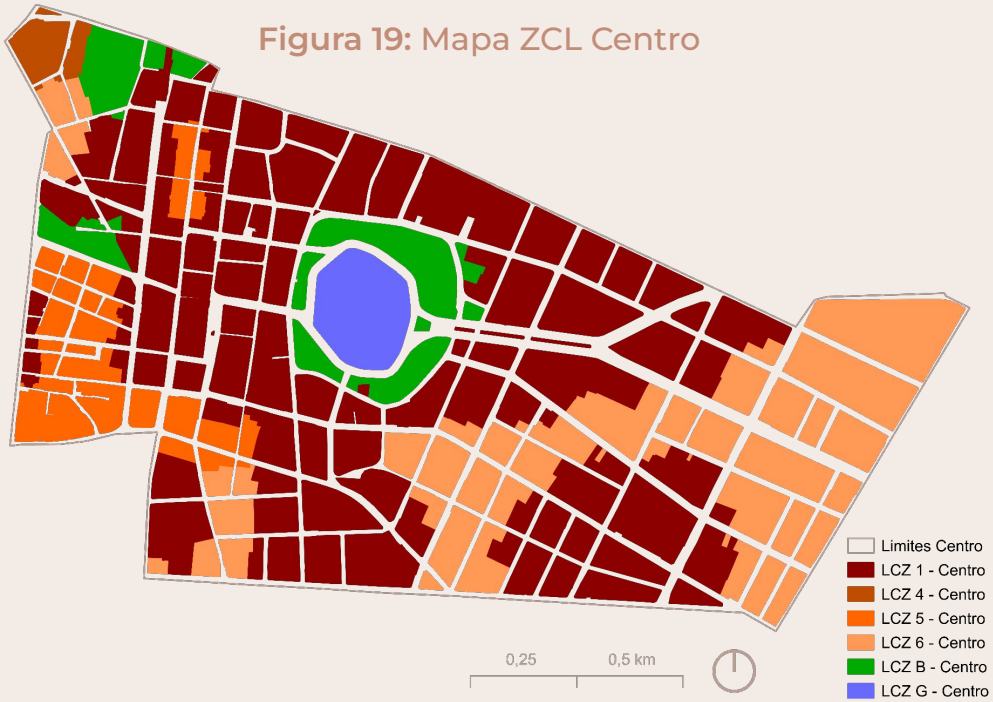
4.5.1 Bairro Centro

O bairro Centro é o núcleo histórico da cidade de João Pessoa e concentra grande parte do patrimônio arquitetônico e cultural da capital. Caracteriza-se por uma morfologia urbana densa, com predomínio de edificações compactas de alta elevação (ZCL 1) e algumas áreas com predominância compacta e de baixa elevação (LCZ 3) e aberta de baixa elevação (ZCL 6). Essa configuração está associada ao processo de urbanização inicial da cidade, quando a ocupação se concentrou nas proximidades do Rio Sanhauá, em uma organização que privilegiava a acessibilidade e a concentração de serviços administrativos, religiosos e comerciais.

No mapeamento de Zonas Climáticas Locais (ZCLs), o Centro apresenta uma predominância clara da classe ZCL 1, compatível com a disposição de edifícios geminados, ruas estreitas e baixa presença de vegetação no interior das quadras. Também são observadas inserções pontuais de ZCL 6 em áreas de transição, onde o padrão construtivo é menos adensado.

Essa configuração morfológica pode favorecer a retenção de calor e reduz a eficiência da ventilação natural, contribuindo para a formação de ilhas de calor urbanas. As restrições impostas pelo polígono de tombamento, voltadas à preservação do patrimônio histórico, limitam alterações significativas na estrutura urbana, o que reforça a manutenção das características térmicas atuais.

Figura 19: Mapa ZCL Centro



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

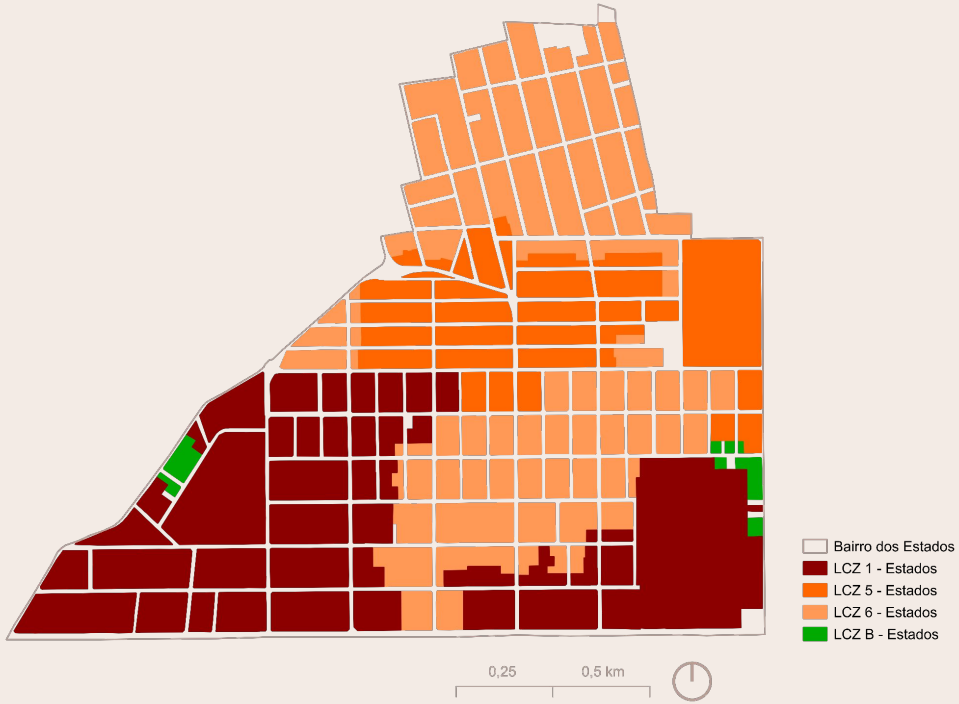
4.5.2 Bairro dos Estados

O Bairro dos Estados apresenta uma configuração morfológica marcada pela predominância das classes ZCL 1 (edificações compactas de alta elevação) e ZCL 6 (edificações abertas de altura baixa). Essa distribuição reflete um padrão de urbanização de densidade intermediária, típico de bairros residenciais planejados, com quadras regulares, ruas largas e maior espaçamento entre as edificações.

O mapa de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) revela ainda a presença pontual de áreas classificadas como ZCL A (vegetação densa), correspondendo a parques e áreas verdes inseridas no tecido urbano, que contribuem para a mitigação dos efeitos térmicos locais. As áreas com classificação ZCL 5 (abera de média elevação) aparecem de forma mais restrita, concentradas entre as ZCLs 1 e 6.

A configuração morfológica predominante favorece a ventilação urbana e a dispersão de calor, embora a crescente pressão imobiliária sobre o bairro, devido à sua localização estratégica, possa vir a alterar essa dinâmica no futuro. A existência de importantes eixos viários, como a Avenida Epitácio Pessoa, reforça a conexão do bairro com as demais regiões centrais da cidade, aumentando sua relevância no contexto urbano de João Pessoa.

Figura 20: Mapa ZCL Estados



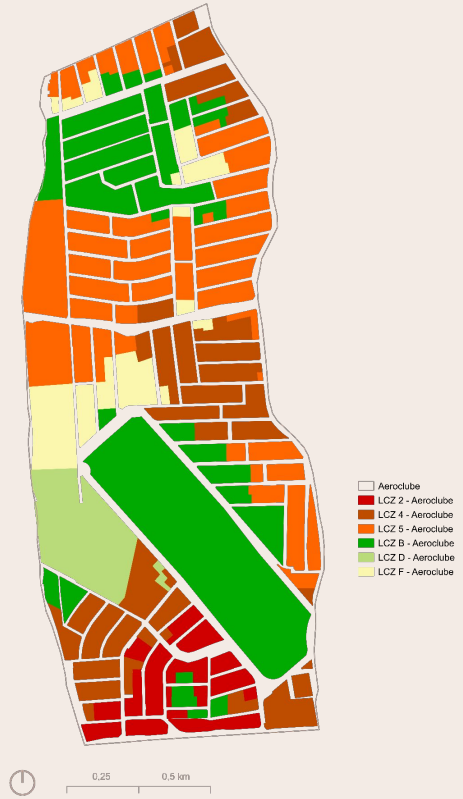
Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

4.5.3 Bairro Aeroclube

O Bairro dos Estados apresenta uma configuração morfológica marcada pela predominância das classes ZCL 5 (edificações espalhadas de altura média) e ZCL 4 (edificações abertas de alta elevação). Essa distribuição reflete um padrão de urbanização de densidade intermediária, típico de bairros residenciais planejados, com quadras regulares, ruas largas e maior espaçamento entre as edificações.

O mapa de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) revela ainda a presença pontual de áreas classificadas como ZCL B (vegetação esparsa), correspondendo a parques e áreas verdes inseridas no tecido urbano, que contribuem para a mitigação dos efeitos térmicos locais. As áreas com classificação ZCL 2 (edificações compactas de altura média) aparecem de forma mais restrita, concentradas em setores específicos de maior adensamento.

Figura 21: Mapa ZCL Aeroclube



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

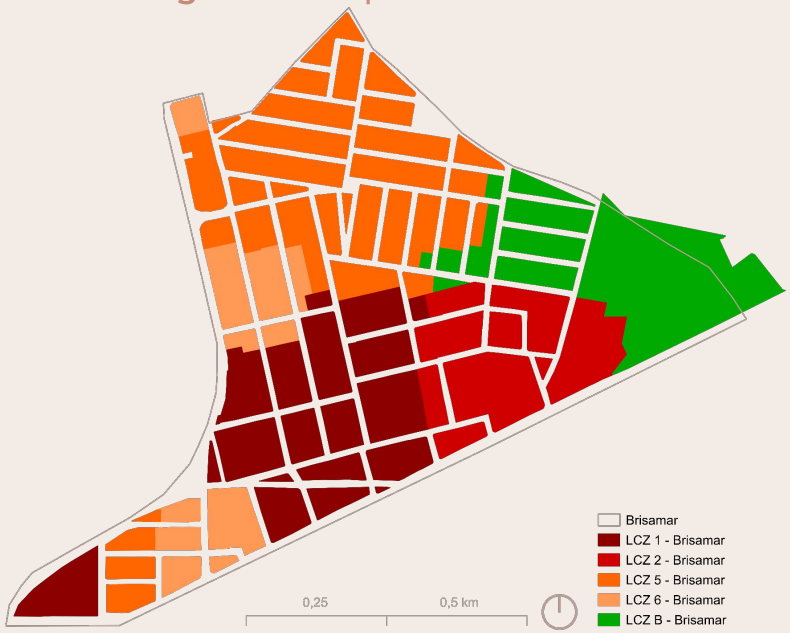
4.5.4 Bairro Brisamar

O bairro Brisamar apresenta uma configuração morfológica marcada pela predominância das classes ZCL 1 (edificações compactas de altura alta), ZCL 2 (edificações compactas de altura média) e ZCL 5 (edificações abertas de média elevação), refletindo um padrão urbanístico verticalizado e adensado, comum em áreas de valorização imobiliária próximas ao litoral.

Semelhante ao bairro Aeroclube, Brisamar se localiza em uma cota elevada em relação ao nível do mar, o que proporciona vistas privilegiadas para a orla mesmo sem ocupar a faixa costeira imediata. Essa característica geomorfológica contribui para o adensamento vertical, uma vez que o bairro não está sujeito às restrições construtivas impostas por legislações específicas de gabarito aplicáveis à orla marítima.

A análise do mapeamento das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) também revela a presença de áreas classificadas como ZCL 6 (aberta de baixa elevação), geralmente localizadas em zonas de transição, além de manchas de ZCL B (vegetação esparsa) nas bordas do bairro, próximas às áreas de preservação ambiental.

Figura 22: Mapa ZCL Brisamar



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

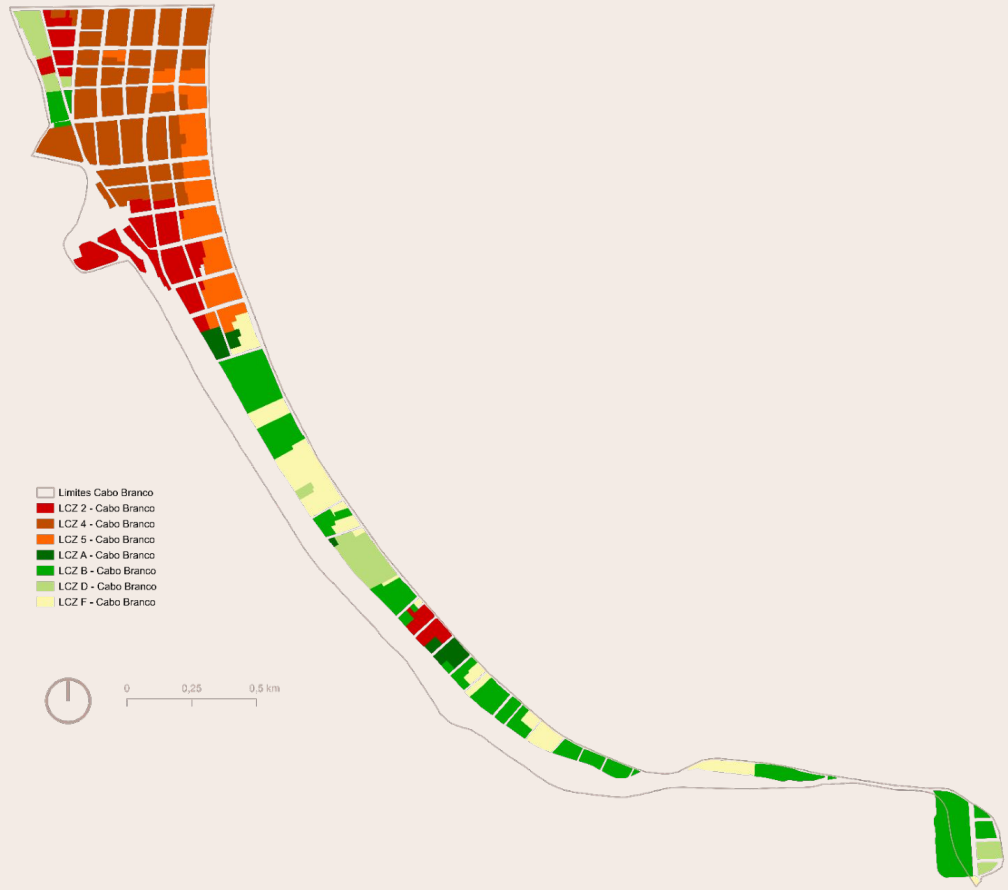
4.5.5 Bairro Cabo Branco

O bairro Cabo Branco apresenta uma morfologia diversificada, com predomínio das classes ZCL 4 (aberta de alta elevação) e ZCL 5 (edificações abertas de altura média) nas áreas internas, e presença significativa de ZCL B (vegetação esparsa) e ZCL D (superfícies pavimentadas permeáveis) ao longo da faixa litorânea.

A ocupação do bairro é fortemente influenciada pela Lei do Gabarito, que limita a altura das edificações na orla marítima, preservando corredores de ventilação e a paisagem natural. Essa restrição favorece a manutenção de áreas de baixa a média densidade construtiva próximas ao litoral.

As regiões com vegetação preservada contribuem para o resfriamento local e facilitam a circulação de ventos, enquanto as áreas mais adensadas, localizadas no interior do bairro, apresentam maior tendência à retenção de calor.

Figura 23: Mapa ZCL Cabo Branco



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

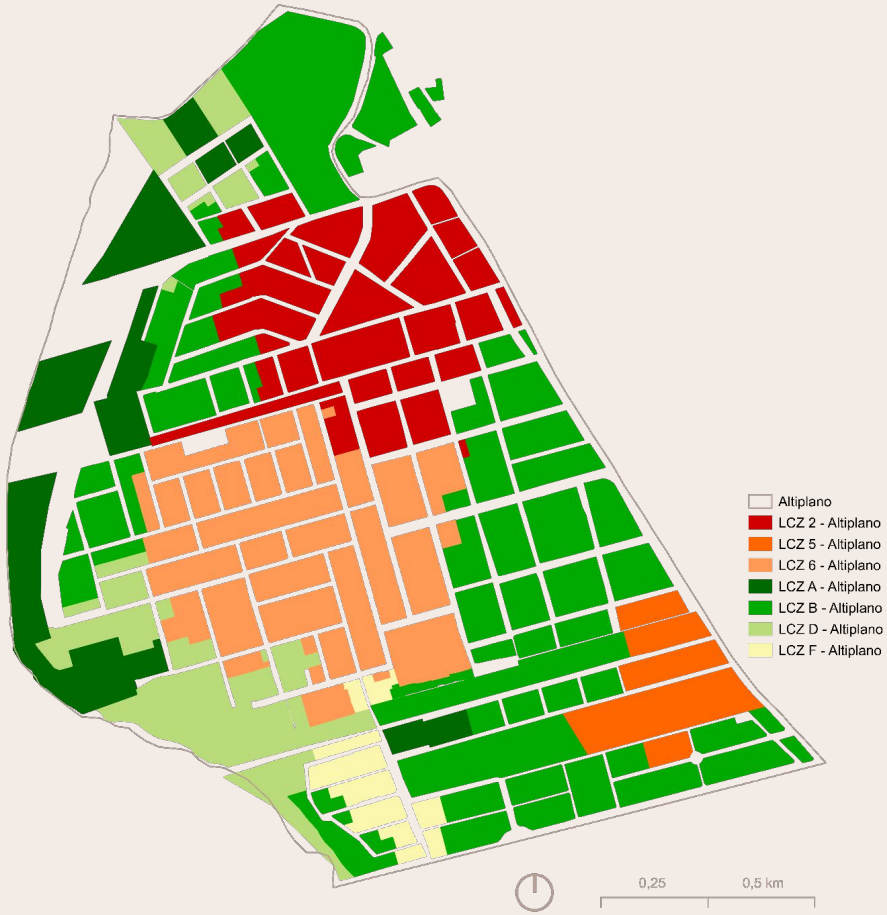
4.5.6 Bairro Altiplano

O bairro Altiplano apresenta uma morfologia marcada pela verticalização, com predominância das classes ZCL 2 (edificações compactas de altura alta) e ZCL 5 (aberta de média elevação) na porção norte. Já as áreas ao sul e leste concentram classes ZCL A (vegetação densa) e ZCL B (vegetação esparsa), associadas a espaços de preservação e setores menos adensados.

De acordo com o Plano Diretor de João Pessoa (Lei Complementar nº 117/2022), o Altiplano está inserido em Macrozona Adensável Prioritária, o que permite maior adensamento construtivo, desde que respeitadas as condicionantes ambientais e de infraestrutura. Isso se reflete na ocupação vertical crescente observada no bairro.

As áreas vegetadas ainda presentes atuam na regulação térmica local, mas sua redução progressiva, caso não controlada, pode comprometer esse equilíbrio. A configuração atual do Altiplano revela a tensão entre adensamento urbano e necessidade de preservar a qualidade ambiental.

Figura 24: Mapa ZCL Altiplano



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

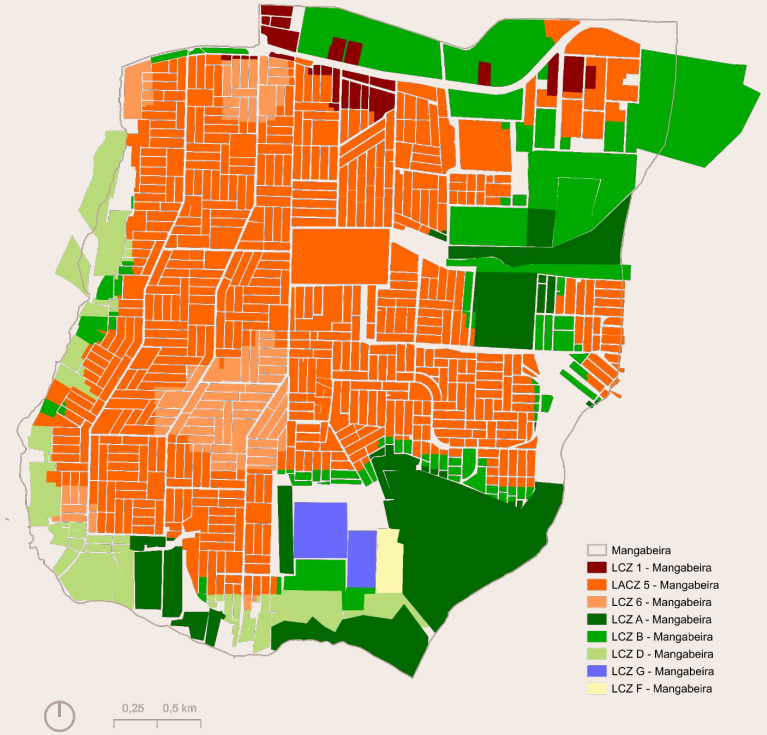
4.5.7 Bairro Mangabeira

Mangabeira apresenta uma morfologia urbana predominantemente horizontal, com ampla ocorrência das classes ZCL 5 (edificações espalhadas de altura média) e ZCL 6 (edificações abertas de altura baixa), o que reflete seu histórico de crescimento periférico e expansão em direção ao sul do município. Essas classes ocupam a maior parte do bairro e evidenciam um padrão construtivo de baixa densidade vertical, com quadras extensas e ruas largas.

As bordas do bairro concentram classes ZCL A e B (vegetação densa e esparsa), associadas a remanescentes de vegetação nativa e áreas não edificadas. Também são identificadas áreas pontuais classificadas como ZCL E (superfícies artificiais não pavimentadas), correspondentes a terrenos baldios ou espaços em processo de consolidação urbana.

Apesar do predomínio de uma morfologia mais aberta, o padrão extensivo e a elevada ocupação do solo geram áreas com baixa permeabilidade e sombreamento reduzido, potencializando a absorção de calor. A falta de arborização efetiva em diversas vias também compromete o conforto térmico. Assim, mesmo com baixa verticalização, o bairro apresenta desafios microclimáticos relevantes associados à sua forma de ocupação.

Figura 25: Mapa ZCL Mangabeira



Fonte: Adaptado de WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, 2023)

Capítulo V – Considerações finais

5.1 Síntese dos resultados

Este trabalho teve como objetivo principal caracterizar as zonas climáticas locais (ZCLs) da cidade de João Pessoa, com base na metodologia proposta pelo WUDAPT, priorizando a análise morfológica dos bairros selecionados. A partir da classificação gerada, foi possível identificar diferentes padrões de ocupação urbana e sua relação com o comportamento térmico local.

Os resultados demonstraram que bairros como o Centro apresentam alta compactação urbana, com predominância de edificações de altura média e reduzida presença de áreas verdes. Em contrapartida, o Cabo Branco, mesmo localizado próximo à orla, preserva características de baixa verticalização em função de restrições construtivas específicas. Já Mangabeira e Altiplano ilustram processos distintos de expansão urbana: o primeiro marcado pela horizontalização e o segundo pela verticalização intensa, especialmente em áreas estratégicas.

A distribuição espacial das classes ZCL reforça a influência direta da morfologia urbana no comportamento térmico da cidade. Esses achados evidenciam a importância de integrar o planejamento urbano a estratégias que mitiguem os efeitos das ilhas de calor, contribuindo para a promoção de maior conforto ambiental em contextos urbanos.

5.2 Limitações da pesquisa

Entre as principais limitações encontradas neste estudo, destaca-se a acurácia do mapeamento ZCL, que, embora satisfatória (0,67), ainda apresenta margens de erro inerentes ao processo de classificação supervisionada por imagens. Além disso, o recorte metodológico priorizou variáveis morfológicas e físicas da superfície urbana, sem integrar dados climáticos atmosféricos medidos em campo, o que poderia enriquecer a análise térmica.

Outro ponto a ser considerado é a delimitação espacial do mapeamento, que, ao abranger a cidade como um todo, incluiu áreas de borda que pertencem a municípios vizinhos, o que pode influenciar a interpretação das transições morfológicas periféricas. Por fim, a pesquisa concentrou-se em uma análise estática da configuração atual, sem aprofundar comparações temporais de evolução urbana.

5.3 Recomendações para trabalhos futuros

Integrar dados atmosféricos (temperatura, umidade, vento) à análise morfológica para ampliar a compreensão das dinâmicas térmicas urbanas.

Aplicar a metodologia ZCL em séries históricas de imagens para analisar a evolução da ocupação urbana e seus efeitos no microclima.

Investigar zonas de adensamento recente e áreas de preservação, avaliando a efetividade de instrumentos como o Plano Diretor e a Lei do Gabarito.

Estender a análise para cidades vizinhas e integrar dados regionais, fortalecendo o entendimento térmico no contexto metropolitano.

Referências

ARAÚJO, Christiane Alves. **Influência da morfologia urbana de diferentes zonas climáticas locais nos microclimas de Maceió - AL**. 2023. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelecendo diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 jul. 2001.

DRACH, P. R. C.; BARBOSA, G. S.; CORBELLA, O. D.; SILVA, M. A. P. Estudos da dinâmica da temperatura intra-urbana: Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil. In: **XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente**, 2016, La Plata. Anais [...]. La Plata: ASADES, 2016. v. 4, p. 19-30.

DUARTE, Fábio. **Planejamento urbano.** Curitiba: IBPEX, 2009.

FERREIRA, F. L. S.; PEREIRA, E. B.; LABAKI, L. C. **Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e características espectrais**. Ambiente Construído, v. 21, n. 1, p. 237–262, 2020.

FERREIRA, Luciana Schwandner; FERRETTO, Diego; DUARTE, Denise Helena Silva. **Mapeando a morfologia urbana: aplicações do método Local Climate Zones (LCZ) em diferentes escalas do projeto.** Pós FAUUSP, São Paulo, v. 30, n. 56, e197563, jan./jul. 2023.

GONÇALVES, E. C. S.; SOUZA, L. C. L. Modelo de predição das diferenças térmicas urbano-rurais em

função da compactação urbana. In: PLURIS 2014 – 6.º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Lisboa, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados: J**oão Pessoa. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/joao-pessoa.html. Acesso em: 05 mar. 2025.

JOÃO PESSOA (Município). **Filipéia Mapas.** Disponível em: https://filipeia.joaopessoa.pb.gov.br/mapashistoricos/index.html. Acesso em: 20 fev. 2025.

KRÜGER, Eduardo Luiz. **Conforto térmico em ambientes urbanos: a contribuição das variáveis climáticas e do desenho urbano.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

LEMOS, A. S.; BARBOSA, G. S.; LIMA, J. R. F. **Urban geometry parameters and outdoor thermal comfort in Recife, Brazil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 293-309, jul./set. 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000300572.

MOREIRA, Raphaela Cristhina Claudino. **A questão do gabarito na orla marítima de João Pessoa: bairros de Manaíra, Tambaú e do Cabo Branco.** 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

NAKATA-OSAKI, C. M. R.; SOUZA, D. R.; RODRIGUES, D. M. **Microclima urbano: conceitos e aplicações no planejamento urbano.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200002.

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

OKE, T. R. **City size and the urban heat island.** Atmospheric Environment, v. 7, p. 769–779, 1973.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** Geneva: World Meteorological Organization, 2006. (Instruments and Observing Methods Report, 81. WMO/TD, 1250).

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. U**rban climates.** Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Mudanças climáticas 2023: relatório de síntese**. Genebra: IPCC, 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. **Mapas históricos da cidade de João Pessoa.** Disponível em: https://filipeia.joaopessoa.pb.gov.br/mapashistoricos/index.html#12/-7.1500/-34.9443. Acesso em: 15 abr. 2025.

SANTOS, J. S. dos. **Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SILVA, Maria de Fátima. **Climatologia da cidade de João Pessoa – PB. João Pessoa:** UFPB, 1999.

SANTOS, Milton. **Espaço e método.** 6. ed. São Paulo: Nobel, 2011.

SILVA, Ivanize dos Santos e. **Índice ambiental urbano (IAU): uma contribuição ao estudo do planejamento e do conforto térmico em espaços abertos.** 2017. 218 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

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

UNESP. **As ilhas de calor urbanas e o que elas podem nos ensinar sobre as mudanças climáticas.** Para Jovens. Disponível em: https://parajovens.unesp.br/as-ilhas-de-calor-urbanas-e-o-que-elas-podem-nos-ensinar-sobre-as-mudancas-climaticas/. Acesso em: 02 mar. 2024.