

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

CARLOS ALBERTO DE MENDONÇA RIBEIRO

**ATUALIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DO MAPA DE ANÁLISES CLIMÁTICAS
DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PARAÍBA**

JOÃO PESSOA – PARAÍBA
2013

CARLOS ALBERTO DE MENDONÇA RIBEIRO

**ATUALIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DO MAPA DE ANÁLISES CLIMÁTICAS
DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo
PPGAU-UFPB

Coorientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Gonçalves
PPGAU-UFPB

Consultor técnico: Prof. Dr. Lutz Katschner
Universidade de Kassel, Alemanha

JOÃO PESSOA – PARAÍBA
2013

R484a Ribeiro, Carlos Alberto de Mendonça.
Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de João Pessoa - Paraíba / Carlos Alberto de Mendonça Ribeiro.- João Pessoa, 2013.
157f. : il.
Orientador: Aluísio Braz de Melo
Coorientador: Francisco de Assis Gonçalves
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1. Arquitetura e urbanismo. 2. Planejamento urbano.
3. Mapa climático. 4. Clima urbano.

UFPB/BC

CDU: 72+711(043)

**“Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município
de João Pessoa- Paraíba”**

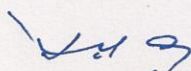
Por

Carlos Alberto de Mendonça Ribeiro

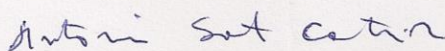
Dissertação aprovada em 25 de Novembro de 2013



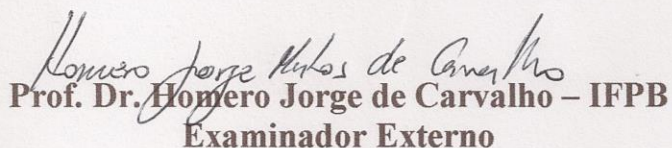
Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo – UFPB
Orientador



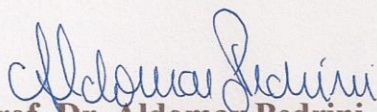
Prof. Dr. Francisco de Assis Gonçalves da Silva – UFPB
Co-Orientador



Prof. Dr. Antônio Souto Coutinho – UFPB
Examinador Externo



Prof. Dr. Homero Jorge de Carvalho – IFPB
Examinador Externo



Prof. Dr. Aldomar Pedrini – UFRN
Examinador Externo

João Pessoa-PB
2013

EPÍGRAFE

Então o Senhor Deus fez crescer uma planta sobre Jonas, para dar sombra à sua cabeça e livrá-lo do calor, e Jonas ficou muito alegre.

Jonas 4:6

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à sociedade o que em mim foi investido, à Universidade Federal da Paraíba e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio institucional, e, ainda, à Secretaria de Planejamento de Prefeitura Municipal de João Pessoa.

Mas não posso deixar de ser grato a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização desta pesquisa. Desde os que a fizeram com simples comentários aos que forneceram informações, discutindo e propondo ideias. A todos vocês meu muito obrigado. Por isso, caso tenha esquecido de mencionar alguém, peço que relevem e que se sintam desde já reconhecidos e agradecidos.

Agradeço aos meus pais, Maria Helena e José Alberto, que jamais mediram esforços para que eu e minha irmã alcançássemos nossos objetivos.

Ao meu orientador, professor Aluísio Braz, o apoio e pelas decisões tomadas.

A Chico, os ensinamentos e a amizade.

A Vladimir, aos dados compartilhados.

Ao Professor Lutz Katzschner, as orientações técnicas.

A Filipe Maia, as conversas, os esclarecimentos e, principalmente, a sua experiência com o mapeamento climático em Portugal.

Ao LABcon e ao LACESSE, o empréstimo de equipamentos.

Ao Professor Paulo Rosa (*in memoriam*), os dados microclimáticos fornecidos pelo Laboratório de Energia Solar – LES.

Ao Professor Mario Lyra, as indispensáveis ajudas.

À Danielly Ramos, o carinho, o apoio e as palavras de conforto.

Ao parceiro Diego Padilha, o acesso às informações fundamentais para que cumprisse os objetivos.

Aos meus amigos do curso, Andreia Oliveira, Andreína Fernandez, Lilianne Queiros, Rodrigo Dias, entre outros, a amizade que construímos juntos.

E, principalmente, a Deus, por permitir esta vitória na minha carreira acadêmica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Esquema representativo das escalas climáticas	25
Figura 02: Classificação das Zonas Climáticas Urbanas	26
Figura 03: a) Mapeamento de camadas e b) Sobreposição de camadas	33
Figura 04: Relacionamento entre dados gráficos e não gráficos.....	34
Figura 05: Países com Mapas climáticos	37
Figura 06: a) Imagem termal e b) Velocidade média dos ventos em Stuttgart.....	39
Figura 07: Sobreposição de camadas do mapa climático de Kassel.	42
Figura 08: Estrutura do esquema da metodologia aplicada em Hong Kong	45
Figura 09: Mapa climático da cidade de Hong Kong	46
Figura 10: Mapa recomendações ao Planejamento de Hong Kong	47
Figura 11: Estrutura de elaboração do mapa climático de João Pessoa.....	49
Figura 12: Mapa de temperatura aparente de São Paulo-SP.....	50
Figura 13: Localização e limites do município de João Pessoa	52
Figura 14: Mapa de densidade populacional do município de João Pessoa.....	53
Figura 15: Reconstituição da área urbana de João Pessoa nos diversos períodos. .	54
Figura 16: Tipos de clima no estado da Paraíba, segundo classificação de Köppen	56
Figura 17: Mapa do macrozoneamento de João Pessoa.	59
Figura 18: Metodologia da pesquisa	67
Figura 19: Inserção de novas edificações utilizando imagens de satélite	70
Figura 20: Ilustração do processo de construção do Mapa de carga térmica de João Pessoa – PB	79
Figura 21: Ilustração do processo de construção do Mapa de potencial dinâmico de João Pessoa – PB.....	79
Figura 22: Ilustração do processo de sobreposição de camadas para construção do Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB	80
Figura 23: Equipamento (data loggers) do tipo HOBO e instalação.....	82
Figura 24: Mapa de volume construído de João Pessoa-PB	88
Figura 25: Distribuição das classes conforme o volume construído de João Pessoa- PB	89
Figura 26: Mapa de espaços verdes de João Pessoa-PB.....	91

Figura 27: Distribuição das classes conforme o mapa de espaços verdes de João Pessoa-PB	92
Figura 28: Mapa de cobertura do solo de João Pessoa-PB	94
Figura 29: Distribuição das classes conforme a cobertura do solo de João Pessoa-PB	95
Figura 30: Mapa de proximidades de corpos d'Água de João Pessoa-PB.....	97
Figura 31: Mapa de Espaços Abertos de João Pessoa-PB.....	99
Figura 32: Mapa de encostas de João Pessoa-PB	101
Figura 33: Distribuição das classes conforme a Proximidade de Espaços Abertos de João Pessoa-PB	102
Figura 34: Mapa de proximidades de João Pessoa-PB	103
Figura 35: Mapa de carga térmica de João Pessoa-PB.....	105
Figura 36: Distribuição das classes conforme a carga térmica de João Pessoa-PB	106
Figura 37: Distribuição das classes conforme o potencial dinâmico de João Pessoa-PB	108
Figura 38: Mapa de potencial dinâmico de João Pessoa-PB	109
Figura 39: Sobreposição das camadas dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico de João Pessoa-PB.....	110
Figura 40: Mapa de análises climáticas de João Pessoa-PB.....	112
Figura 41: Distribuição das classes para 2010 no Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB.....	113
Figura 42: Distribuição atual (2013) das classes no Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB.....	113
Figura 43: Imagem termal ASTER de João Pessoa – PB	116
Figura 44: Comparativo entre a imagem termal Lansat e o mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB	118
Figura 45: Distribuição dos 8 (oito) pontos de medição microclimática na malha urbana de João Pessoa – PB.....	121
Figura 46: Gráfico de temperatura medida em cada classe climática na malha urbana de João Pessoa – PB.....	122
Figura 47: Gráfico de umidade medida em cada classe climática na malha urbana de João Pessoa – PB.....	123

Figura 48: Zona adensável prioritária e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB	128
Figura 49: Zona adensável não prioritária e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB.....	130
Figura 50: Zona não adensável e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB	132
Figura 51: Zona de preservação e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB	134
Figura A1: Representação vetorial	145
Figura A.2: Estrutura do arquivo raster	146
Figura A.3: Estrutura de dados vetorial e raster	147
Figura A.4: Sobreposição de planas ou camadas de informações.....	148
Figura A.5: Reclassificação <i>pixel a pixel</i> e Reclassificação de imagem.....	149
Figura A.6: Adição – pixel a pixel e Multiplicação – pixel a pixel.....	150

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01: Categorias taxinômica geográficas do clima urbano	23
Quadro 02: Descrição das classificações climáticas da carga térmica	103
Quadro 03: Descrição das classificações climáticas do potencial dinâmico.....	106
Tabela 01: Características do bioclima de João Pessoa - PB.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
DWG	<i>DraWinG Files</i>
FVC	Fator de Visão do Céu
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
L	Leste
N	Norte
MNT	Modelo Numérico de Terreno
O	Oeste
PMJP	Prefeitura Municipal de João Pessoa
S	Sul
SAD 69	<i>South American Datum 1969</i>
SHP	<i>ESRI® Shape file</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS 84	<i>World Geodesic System</i>
PET	<i>Physiological equivalent temperature</i>

RESUMO

A reprodução cartográfica das informações climáticas da cidade é um instrumento que pode auxiliar no entendimento das questões ambientais urbanas e na tomada de decisão no planejamento das cidades. Diante disto, na presente pesquisa caracterizou-se a cidade de João Pessoa a partir da metodologia de mapeamento climático, aplicada por Katzschner, (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, 2008), que avalia o clima urbano considerando o balanço de energia da cidade, determinado pela sua carga térmica (características térmicas) e seu potencial dinâmico (ventilação). Nesse sentido, foram elaborados os mapas de volume construído, de áreas verdes, de ocupação do solo, e de proximidades a elementos que favorecem a ventilação. Através desses mapas, realizaram-se a classificação e a valoração das áreas da cidade segundo suas capacidades de elevação da temperatura do ar e de obstrução aos escoamentos dos ventos. Essa classificação e valoração fornecem informações que podem auxiliar futuras intervenções arquitetônicas e urbanísticas e incorporação de critérios climáticos ao planejamento da cidade, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes. Das análises dos resultados dos referidos mapas, constataram-se que as alterações causadas pelo aumento do volume construído, pela redução da porosidade ao escoamento de vento e pela escassez da cobertura vegetal têm provocado alterações no clima urbano de João Pessoa.

Palavras-chave: Planejamento urbano; Mapa climático; Clima Urbano.

ABSTRACT

The cartographic representation from a city's climatic data is an information and evaluation tool that helps understand environmental and urban problems, assisting decisions involving urban planning. According to this, this research analyzed the City of Joao Pessoa (Brazil) applying the methodology of Urban Climatic Map (UCMap) developed by Katzschner, (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE , 2008), which implies on an assessment of urban climate, determined by its thermal load (thermal characteristics) and its dynamic potential (urban air ventilation). In that sense, maps indicating building volume, green spaces, ground coverage, and proximity of open spaces which promote air paths, were elaborated. Through these maps, these areas were evaluated and classified about the tendency to increase air temperature and the obstruction to wind flow. This method produces information that contributes to future architectonic and urban interventions and the appliance of climatic criteria into urban planning, resulting on life quality benefits to the local population. Analyzing the data obtained through these maps, it may be perceived that the changes caused by increasing building volume, reduction of wind paths and the loss of green coverage areas are interfering on Joao Pessoa's urban climate.

Keywords: Planning and urban design, urban climatic map, urban climatic.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Clima Urbano e o Balanço Energético.....	20
2.2	As escalas climáticas urbanas.....	23
2.3	O clima urbano no planejamento das cidades	27
2.4	Geoinformação aplicada ao Urbanismo.....	31
3	MAPA CLIMÁTICO URBANO	36
	Caso 1 - Stuttgart, Alemanha	37
	Caso 2 - Kassel, Alemanha	40
	Caso 3 – Hong Kong	42
	Caso 4 –João Pessoa, Brasil	48
	Caso 5 – Outros casos no Brasil	50
4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DE OCUPAÇÃO EM JOÃO PESSOA	52
4.1.	Perfil climático e caracterização morfológica	55
4.2.	Legislação urbana	58
4.3.	Pesquisas climáticas na cidade	62
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	66
5.1	Levantamento documental e coleta de Dados.....	68
5.2	Descrição das etapas	69
	Primeira etapa – Coleta de dados e atualização da base cartográfica.....	69
	Segunda etapa – Determinação das camadas que constituem o mapa de análises climáticas.....	71
	Terceira etapa – Mapa de Análises Climáticas	78
	Quarta etapa – Definição dos pontos de coleta de dados microclimáticos	81

Quinta etapa – Medições microclimáticas	81
Sexta etapa – Constatações e Conclusão	83
6 RESULTADOS E DISCURSÕES.....	85
6.1. Caracterização das classes mapeadas	85
6.1.1. Camada 1 - Mapa de Volume Construído.....	85
6.1.2. Camada 2 - Mapa de espaços verdes	90
6.1.3. Camada 3 - Mapa de cobertura do solo.....	93
6.1.4. Camada 4 - Mapa de proximidades	96
6.1.5. Mapa de carga térmica	104
6.1.6. Mapa de potencial dinâmico	107
6.1.7. Mapa de análises climáticas	110
6.2. Caracterização climática das classes mapeadas	115
6.3. Análise comparativa das zonas climáticas com o macrozoneamento urbano de João Pessoa – PB.....	126
7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
7.1. Trabalhos futuros.....	137
7.2. Limitações	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICE	144
APÊNDICE A - Representação dos dados espaciais urbanos.....	145
APÊNDICE B - Análise geográfica de dados - Álgebra de mapas	147
APÊNDICE C - Lista com endereços	151
APÊNDICE D - Dados de temperatura.....	152
APÊNDICE E - Dados de umidade	155

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos dois séculos, a humanidade presenciou um grande êxodo populacional de áreas rurais para áreas urbanas. Para comportar o crescimento demográfico decorrente desse êxodo e os impactos recorrentes das atividades humanas, a superfície territorial urbana foi e vem sendo constantemente moldada pelos mais diversos interesses (políticos, econômicos e sociais). De tal modo, o aumento da estrutura urbana, mais extensa e mais densa, tem colaborado para o surgimento de significativos problemas, que incluem o crescente aumento do preço da terra, a possibilidade de colapso dos sistemas de transportes, de telecomunicações e de abastecimento, mais tempo de deslocamento, maiores custos de mão de obra e encarecimento da produção, assim como problemas ambientais, segregação, exclusão social e criminalidade.

Sabe-se que, nas cidades, as relações entre iluminação e ganho de calor, naturalmente impostas pela radiação solar, podem ser potencializadas pela transformação do ambiente natural proporcionada pelas construções que, além de suprimirem a vegetação nativa, impermeabilizam o solo, alteram a rugosidade da superfície e a forma do relevo, tornando o ambiente urbano, conseqüentemente, um dos mais afetados climaticamente.

Algumas evidências das modificações climáticas existentes nas cidades são observadas no aumento da temperatura do ar, principalmente se comparadas ao entorno não urbanizado, e também nas alterações na direção e na velocidade dos ventos, na diminuição da umidade relativa do ar, na redução das áreas verdes urbanas e na adoção dos chamados materiais de superfícies frias. Fatores como a redução da umidade do ar, o aumento das precipitações, a mudança nos fluxos de ventos, as inversões térmicas e a poluição do ar, também estariam diretamente ligados à urbanização.

Essas modificações climáticas podem repercutir de maneira positiva ou negativa nas atividades do homem. Em caso positivo, estando na chamada zona de conforto, as condições climáticas podem favorecer as reações humanas físicas e psicológicas. Em caso negativo, essas alterações poderão exigir mais energia

metabólica para adaptarem-se ao meio. Sabe-se que o raciocínio e o vigor físico podem ser afetados pelas temperaturas extremas, o que pode, por exemplo, prejudicar o resultado de tarefas cotidianas. O clima pode gerar conforto ou desconforto, percebidos pela sensação térmica (frio, calor ou conforto), pela umidade do ar (seco ou úmido) ou pela exposição ao Sol (ou pelas sombras). Em alguns casos, a demanda por refrigeração pode aumentar o consumo energético, mas, esse aumento estaria condicionado a fatores culturais ou condições de renda dos usuários. Em outros casos, a ação repentina e de grande intensidade das rajadas de ventos, concentrados nos cânions urbanos, pode trazer incômodos aos pedestres, tendo até mesmo capacidade para derrubá-los.

Por isso, o planejamento urbano deve agregar informações resultantes de estudos de clima urbano e considerar aspectos relevantes, como assegurar a circulação e a renovação das massas de ar nas cidades. Um projeto urbano que considere as características climáticas locais pode ser realizado com base na análise geográfica do território e, para isso, diversas técnicas vêm sendo aplicadas ao longo dos anos, que vão desde a utilização de estações meteorológicas, pelo registro temporário e pontual de dados climáticos, às sondagens a partir de balões meteorológicos, sensoriamento remoto, ou modelagens matemáticas.

Do ponto de vista ambiental, a criação de espaços urbanos que proporcionem boa qualidade de vida e maior eficiência energética é um desafio para arquitetos e planejadores dispostos a contribuir para um desenvolvimento mais sustentável. Porém, nem sempre os modelos de urbanização e os instrumentos de legislação urbana, como o estatuto das cidades¹, ditam a ordenação das cidades brasileiras e contribuem para assegurar a salubridade e o conforto térmico urbano, necessários à população.

¹ Estatuto das cidades - Lei Federal Nº 10.275 estabelece as ações do poder público na regulamentação do uso da propriedade urbana em prol do interesse público, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Instrumentos de regulação locais devem nortear o crescimento e desenvolvimento das cidades, evitar e corrigir as distorções e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente. BRASIL (2001).

Um dos obstáculos apontados pela literatura para a aplicação dos conhecimentos da climatologia urbana é a dificuldade de comunicação entre os investigadores dessa área e os planejadores. Nesse sentido, a utilização da componente cartográfica representa um ganho de informação, uma vez que as variáveis climáticas podem ser mapeadas, o entendimento do comportamento do clima local passa a ser visualmente perceptível, ajudando a superar as dificuldades de integração entre a pesquisa sobre o clima e o planejamento urbano, atribuídas, em parte, à temática do próprio clima urbano e à falta de diálogo entre os profissionais envolvidos. Assim, os mapas podem auxiliar o entendimento do comportamento do clima local e, com isso, a informação contida neles torna-se útil para o planejamento e para a tomada de decisões dos gestores urbanos.

Uma vez de posse do mapa climático, é possível chegar a um conjunto de orientações climáticas para o planejamento e ordenamento urbano a fim de evitar, não agravar ou mitigar as condições climáticas locais. Os mapas climáticos consistem em ferramentas de informação e de avaliação para integrar fatores climáticos e considerações para o planejamento das cidades, e são obtidos através da sobreposição de camadas compostas por mapas temáticos com avaliação dos efeitos positivos e negativos no clima local, levando em conta elementos como topografia do terreno, vegetação e edificações da cidade e os padrões de vento. A cada um desses mapas são empregados pesos e, posteriormente, utilizando recursos computacionais, eles são sobrepostos. Essa sobreposição resulta em oito zonas ou classes climáticas que dividem a cidade com base em critérios que contribuem para aquecimento ou esfriamento do ar.

As diferentes zonas climáticas variam das áreas urbanas para áreas rurais e permitem uma avaliação dos efeitos adversos das estruturas urbanas e as condições meteorológicas locais. Essas zonas são representadas com cores e símbolos que indicam, por exemplo, os locais que devem ser preservados ou terem os efeitos negativos do clima urbano mitigados. Para cada uma das zonas existe uma orientação a fim de evitar, manter ou amenizar os efeitos adversos do ponto de vista do clima urbano.

A elaboração e o acompanhamento de mapas climáticos ao longo do tempo, assim como de qualquer outro mapa, enfrentam as problemáticas relacionadas à atualização de seus dados. O espaço geográfico, no caso da cidade de João Pessoa, encontra-se em constante modificação, por isso, antes de realizar estudos em áreas urbanas, deve-se contar com informações referentes à superfície a ser estudada, assim, indicações precisas sobre os elementos do terreno, tanto geográficos quanto antrópicos, devem ser os mais atualizados possíveis. Uma vez que o mapa é criado, sua atualização pode ser feita dentro dos sistemas de informações geográficas mediante a incorporação das modificações existentes na paisagem, principalmente dos novos elementos que tratam das camadas relacionadas com as edificações.

Dessa maneira, a primeira versão do mapa de análises climática de João Pessoa, desenvolvida por Souza (2010) passa pela mesma problemática. Além da atualização a confrontação dos dados mapeados com as medições microclimáticas fornecem dados que podem aperfeiçoar o entendimento sobre o Mapa de Análises Climáticas, possibilitando uma melhor compreensão da estrutura urbana e a provável repercussão dela nos dados microclimáticos da cidade de João Pessoa.

Assim, considera-se importante que reflexões relativas aos impactos climáticos causados pelo processo de urbanização sejam consideradas no planejamento urbano, contribuindo, com isso, para a melhoria da qualidade de vida da população. Ainda mais em João Pessoa, onde os instrumentos de ordenamento urbano não contemplam os aspectos do clima urbano, nem atentam para efeitos como os das ilhas de calor; das trajetórias do vento e da poluição do ar.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivos:

Objetivo geral:

Ampliar o Mapa de Análises Climáticas do município de João Pessoa – PB, tendo como uma das bases sua atualização.

Objetivos específicos:

- Contribuir, com dados climáticos organizados cartograficamente, para o entendimento das questões ligadas ao clima urbano do município de João Pessoa.
- confrontar o mapa de análises climáticas com o plano diretor do município de João Pessoa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentam-se conhecimentos gerados por trabalhos científicos na área de Climatologia Urbana e da Geoinformação aplicada ao urbanismo, com a ajuda dos quais se fundamentou esta dissertação.

2.1 Clima Urbano e o Balanço Energético

Quando comparado o clima no ambiente rural com o clima nas cidades, percebe-se que esses dois ambientes distinguem-se principalmente no que se refere aos valores de temperatura do ar. A primeira referência sobre essa característica aconteceu em 1818, quando Luke Howard detectou, em Londres, um “excesso de calor”, em locais da cidade onde as temperaturas do ar e da superfície são mais altas do que em outras áreas ao seu redor. (HOWARD, 1833).

Os estudos realizados ao longo do século XX colaboraram para uma fundamentação teórica clara o suficiente para afirmar que o espaço construído é um dos fatores que contribuem para a criação de microclimas. Fatores climáticos como radiação solar, temperatura, velocidade e direção dos ventos, precipitação e umidade do ar, entre outros, estão diretamente relacionados com a urbanização. Por sua vez, a morfologia e a geometria urbanas, as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções, a proporção entre as áreas construídas e as áreas verdes e a poluição da atmosfera são as principais variáveis envolvidas na alteração do balanço energético local, ocasionando, a chamada ilha de calor, fenômeno que pode ser compreendido como um maior aquecimento de uma área urbana em relação ao seu entorno ou a uma área rural. (DUARTE, 2000; VILELA, 2007; SANTOS, 2007).

A partir da análise meteorológica e da síntese de Landsberg, Monteiro (1975) elaborou um enunciado que trata da comparação entre a cidade e o campo circundante, descrita pelos seguintes fatos:

1. a cidade modifica o clima através de alterações em sua superfície;

2. a cidade produz acúmulo de calor, observado em modificações na ventilação, no aumento de temperatura na umidade e até nas precipitações, que tendem a ser mais acentuadas;
3. a maior influência se manifesta através da alteração da própria composição da atmosfera, atingindo condições adversas na maioria dos casos; a poluição atmosférica representa, no presente, o problema básico da climatologia das modernas cidades industrializadas.

O clima urbano seria, portanto, um “sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. (MONTEIRO, 1975, p.95). Quanto aos seus aspectos fundamentais, Monteiro e Mendonça (2011, p.93) apontam que:

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seu estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades. As condições climáticas destas áreas, entendidas como clima urbano, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas. Neste ambiente socialmente construído, o balanço de energia precedente sofre profundas mudanças, sendo que os elementos climáticos mais observados têm sido a temperatura e a umidade relativa do ar (ilha de calor, ilha de frescor, conforto/desconforto térmico etc.), os ventos (diretamente ligados à dispersão da poluição) e, nas cidades tropicais, a precipitação (inundações). As atividades socioeconômicas urbanas, de maneira geral, são fatores da formação do clima urbano, sendo que a intensidade do adensamento humano e urbano e a localização geográfica da cidade desempenham forte influência em tal formação.

Em cidades mais frias, em latitudes mais elevadas, os efeitos do aquecimento das ilhas de calor são benéficos. Em outros casos as sombras ao redor dos edifícios criam áreas mais frescas durante alguns períodos do dia. Mas, na maioria das cidades ao redor do mundo, os efeitos das ilhas de calor são vistos como inconvenientes ou desconfortáveis. Segundo Vidal (1991), os canais de ruas, constituídos pelas áreas verticais típicas das grandes cidades, os chamados cânions

urbanos, resfriam mais lentamente se comparados às áreas mais abertas. Por definição, o cânion urbano é um espaço tridimensional formado por uma rua e os edifícios que a ladeiam e quanto mais obstruído é um local no meio urbano (maior obstrução da visão do céu), maior será a dificuldade de o ambiente dissipar energia térmica armazenada para a atmosfera. (OKE, 2006). Isso porque a morfologia urbana e a verticalização aumentam a superfície de contato exposta à radiação e, conseqüentemente, há um aumento de absorção de radiação solar. Além disso, as edificações dificultam a dissipação de calor por causa da falta de movimento do ar. Para Emmanuel (2005 *apud* VILELA, 2007), a temperatura das superfícies está intimamente ligada à geometria do cânion urbano, independentemente da localização em relação ao centro da cidade.

Um dos aspectos apontados para a formação de ilha de calor é a relação entre a largura da rua e a altura dos edifícios que a delimitam. Essa relação dá origem ao fator de visão de céu – FVC (*sky view factor*), que indica o quanto de céu pode-se ver a partir de um ponto situado no centro da rua ao limite dos edifícios. Os elementos que impedem a visualização do céu a partir do ponto onde ele é observado recebem o nome de obstrução. O FVC pode ser responsável pela formação de ilhas de calor nas áreas urbanas; o aumento do armazenamento do calor sensível devido às características térmicas dos materiais de construção; a redução da evapotranspiração, devido à diminuição da cobertura vegetal e expansão das superfícies impermeabilizadas nas áreas urbanas. Outros aspectos como o aumento da absorção da radiação solar devido à maior área de absorção e ao baixo albedo, consequência das “reflexões” entre os prédios, mas também em decorrência dos materiais de construção e cobertura; a redução (em média) da velocidade do vento e, conseqüentemente, das transferências de calor; a poluição do ar.

2.2 As escalas climáticas urbanas

A abordagem do estudo do clima urbano tem ocorrido em diversas escalas geográficas. Monteiro (2011, p.29) preparou, dentro da visão geográfica, um quadro didático de relacionamento das unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômicas e com os graus de urbanização (Quadro 01).

Nesse mesmo quadro, as escalas zonal e regional não consideram a presença de espaços urbanos. Esses espaços começam a ser observados na escala sub-regional que, juntamente com a escala local, aborda o clima de megalópole ou de metrópole.

A partir do mesoclima surgem frações. Um mesoclima pode ser um conjunto de topoclimas, cujas unidades de superfície que representam a cidade aumentam a escala cartográfica e passam a incluir a estrutura urbana, a própria massa edificada (entre outras coisas) e suas variações de volume associados a traços topográficos. Por último, os microclimas que compreendem pequenos nichos sem a rigidez de dois metros, mas sem atingir dezenas de metros.

Para Oke (2006), a escala local considera a influência das características físicas da paisagem, como da topografia sobre o clima, excluindo os efeitos da microescala. Ela é ideal para a representação de áreas urbanas com características semelhantes quanto ao seu desenvolvimento (cobertura das superfícies e espaçamento entre edificações). A mesoescala compreenderia a influência atmosférica e climática da cidade como um todo. Nesse sentido, uma única estação meteorológica não é capaz de representar essa escala, em virtude de sua dimensão atingir dezenas de quilômetros. Já a microescala reflete a influência dos elementos urbanos individuais, considerando que cada elemento na superfície possui o seu próprio microclima e pode influenciar estruturas vizinhas (edifícios, ruas, praças, pátios, estradas, jardins etc.). Nessa escala a temperatura do ar pode variar em muitos graus em distâncias muito curtas.

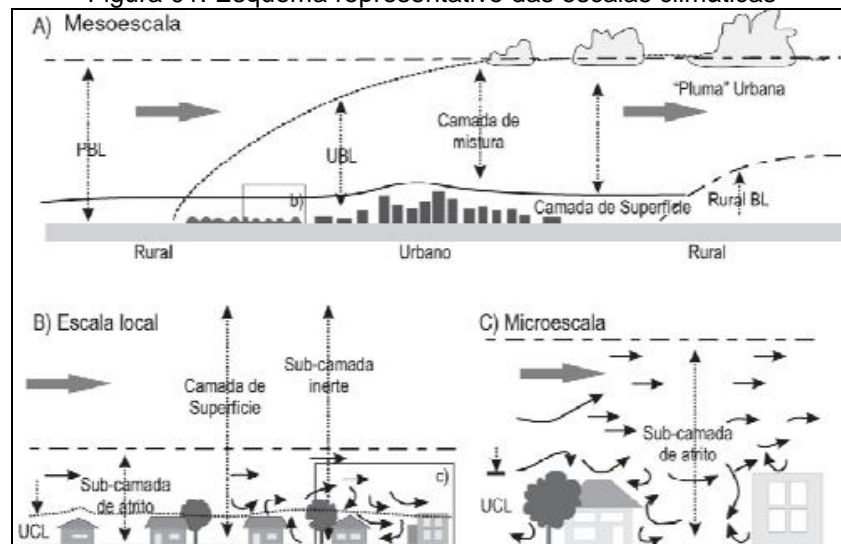
Quadro 01: Categorias taxonômicas geográficas do clima urbano

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meio de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	Milhões de Km ²	1:45.000.000 a 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	Milhões de Km ²	1:5.000.000 a 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	Centenas de Km ²	1:1.000.000 a 1:5.000.000	Sub-Regional (fáceis)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	Dezenas de Km ²	1:250.000 a 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede Complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	Centenas de Km ²	1:50.000 a 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou Subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios) Urbanismo	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros ²	1:10.000 a 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fáceis de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros ²	1:2.000	Microclima	Grande edificação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

A compreensão acerca das transformações do clima no âmbito da cidade ocorre, segundo Oke (2006), a partir dos conceitos relativos às escalas verticais. A uma mesma altura, as velocidades de vento são mais baixas na superfície da cidade do que sobre as superfícies rurais. Porém, a velocidade do vento é maior sobre a cidade devido à influência das edificações há o surgimento de vórtices que elevam a camada limite nas cidades.

O referido autor descreveu uma estrutura vertical da atmosfera estimando as alturas das camadas em função da relação vento-superfície. Essa estrutura, ou escala, estaria dividida em camada intraurbana e camada limite urbana. A camada intraurbana ou camada urbana inferior corresponde à expressão “Urban Canopy Layer” (UCL). Ela se estende do solo até o nível da cobertura das edificações, ou seja, está em plano microclimático. A camada limite urbana, ou camada urbana superior - “Urban Boundary Layer” (UBL) - situa-se logo acima da camada intraurbana, apresentando características parcialmente determinadas pela malha urbana.

Figura 01: Esquema representativo das escalas climáticas



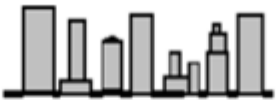





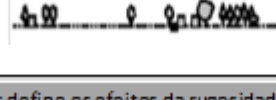
Fonte: Oke(2006).

A Figura 01 demonstra a classificação das camadas horizontais sugeridas por Oke (2006). Nela observa-se que há um comportamento distinto entre o clima na camada urbana inferior, na camada acima dessa e na camada limite rural. A

incidência dos ventos regionais pode mudar a conformação dessa camada, alongando-a em forma de “pluma urbana”, atingindo o sotavento da estrutura urbana.

Oke (2006) adota o conceito de Zona Climática Urbana (Urban Climate Zone – UCZ), que consiste na classificação de áreas urbanas com as particularidades morfológicas da cidade, identificando características e potencialidades, avaliando a influência de cada tipologia urbana na modificação do clima local. (Figura 02).

Figura 02: Classificação das Zonas Climáticas Urbanas

Zona Climática Urbana	Imagem	Classe de Rugosidade ¹	Relação H/W ²	% Construído (im permeável) ³
Desenvolvimento urbano intenso com aglomerado de altos edifícios. Ex.: Altas torres		8	> 2	> 90
Área urbana com alta densidade construtiva e intenso desenvolvimento, com edificações de 2 e 5 pavimentos. Ex.: Núcleo antigo da cidade		7	1.0-2.5	> 85
Área da cidade com média densidade urbana, próxima a conjuntos residenciais e comércios.		7	0.5-1.5	70-85
Baixa densidade com edifícios altos e baixos e estacionamento pavimentados. Ex.: Shoppings e supermercados.		5	0.5-0.02	70-95
Área com baixa densidade, com edificações de 1 ou 2 andares. Ex.: Residências suburbanas.		6	0.2-0.6 Acima de 1 com árvores	35-65
Áreas com uso misto com grandes edifícios e paisagem aberta. Ex.: instituição como hospitais, universidades e aeroportos.		5	0.1-0.5 Depende das árvores	< 40
Área semirural com residências distribuídas em propriedades agrícolas. Ex.: Fazendas		4	> 0.05 Depende das árvores	< 10

¹Classe de rugosidade: o autor define os efeitos da rugosidade no espaço urbano.
²Relação entre altura (W) e largura (h) entre os elementos constituintes da rugosidade urbana.
³ Proporção média de terreno coberto por materiais impermeáveis.

Fonte: Oke (2006).

As pesquisas sobre clima urbano têm encontrado diferenças quanto os processos térmicos no ambiente rural e na cidade, trazendo o conceito de ilha de calor urbana. Para Romero, (1988 *apud* CARVALHO 2006) a ilha de calor urbana inicia por um padrão centrípeto de fluxo do ar das áreas mais frescas da periferia para o centro mais adensado e mais quente. O vento sopra para dentro da cidade com velocidades de poucos metros por segundo, podendo até ficar bloqueado. Em vista disso ele aquece e se eleva, esfriando gradualmente com a altura e descendo novamente sobre o campo.

A ilha de calor pode ser observada em várias escalas, desde pequenas áreas (nos arredores de um edifício, no meio de uma avenida), áreas maiores (em um bairro, por exemplo), ou regiões (muitos bairros ou uma zona) e até mesmo na cidade inteira, conforme HARRIS (2004 *apud* POLIZEL 2009). Além disso, as ilhas de calor variam temporal e sazonalmente. Dessa forma, percebe-se que, nas cidades, diferentes aspectos da morfologia e das funcionalidades urbanas gerariam bolsões climáticos.

Segundo Monteiro e Mendonça (2011), é possível observar temperaturas mais amenas em bairros com mais arborização e menos densidade de construções. A situação é oposta no caso dos bairros industriais de alta densidade de construções e alta densidade populacional, com temperaturas mais elevadas, devido à ausência de alamedas e áreas verdes.

2.3O clima urbano no planejamento das cidades

As transformações geradas pela ocupação antrópica (edificações e suas formas, uso do solo, mudanças na topografia, características de absorção e refletância das superfícies e etc.) ao interagir com a radiação solar tem, como principal resultado, o fenômeno chamado ilha de calor. A incidência da radiação solar e as alterações da circulação atmosférica tornam o ambiente urbano um dos mais afetados climaticamente.

Por isso, o estudo climático pode ser um importante subsídio ao planejamento das cidades, proporcionando a base para intervenções que minimizem

os impactos gerados pelas modificações antrópicas do ambiente. O aumento da estrutura urbana tem fomentado significativos problemas, grande parte deles ligados à degradação ambiental decorrente da escassez de áreas verdes urbanas, da intensa circulação de veículos automotores e da elevada concentração de edificações, equipamentos e pessoas em pequenas áreas. No que diz respeito às áreas verdes, sabe-se que os processos de urbanização e crescimento das cidades ocorreram em detrimento desses espaços verdes, e são justamente estes apontados como agentes reguladores das amplitudes termo-higrométricas², geradoras de desconforto térmico.

Embora haja um reconhecimento da importância do clima urbano para o planejamento das cidades, a sua aplicabilidade ainda é restrita, carecendo de uma maior aproximação entre a climatologia urbana e o planejamento das cidades. Segundo Parcher (1989 *apud* ALCOFORADO, 1999), no planejamento das cidades gregas (por volta de 500 a.C.) as condições climáticas já eram consideradas. O engenheiro e arquiteto romano Marcus Vitruvius estabeleceu, no início da era cristã, regras sobre o local ideal para construções, considerando: a orientação da vertente, a distância de pântanos, lagos e do litoral; as ruas principais deveriam ter uma direção intermediária entre os dois rumos predominantes de vento.

A elaboração e implantação de planos como orientadores das atividades humanas tem sido o melhor caminho para o desenvolvimento. Segundo Monteiro e Mendonça (2011, p.110):

O ato de planejar, ou orientar o desenvolvimento urbano de uma localidade, é uma atividade muito recente enquanto perspectiva da ação de instituições ligadas à gestão das cidades no mundo tropical. O seu início se deu em meados do século passado em alguns países da Europa, notadamente na Inglaterra, França e Alemanha e ganhou pleno emprego a partir da Segunda Guerra Mundial; nos países em desenvolvimento, foi somente a partir da década de sessenta que a noção de planejamento se repercutiu; ainda

² Termo-higrométrica é um termo que combinada condição de temperatura e de umidade do ar

assim, pouquíssimas áreas foram submetidas à intervenção segundo planos pré-estabelecidos.

De acordo com Monteiro e Mendonça (2011, p.48) “a análise termodinâmica da cidade fornece a informação básica ao arquiteto e ao urbanista. É a partir dessa análise que ocorre a criação dos espaços habitacionais e urbanos e que se estabelecem os mecanismos de reciclagem e adaptação do sistema urbano ao clima”. Os autores lamentam que os arquitetos e urbanistas brasileiros “não possam ainda contar com informações e parâmetros climáticos úteis à criação dos espaços urbanos”. Não apenas no que concerne à tecnologia do conforto térmico como em outros aspectos técnicos de construção e conservação, “eles são forçados a utilizar normas estabelecidas para outros países de realidades bem diferentes das nossas”. Monteiro (2011) acredita ainda que existe uma tendência “estética e técnica indisfarçável a igualar o mundo todo, em detrimento de suas diferenças naturais e sociais”. E assim “de duas, uma: ou essas edificações dispõem de tecnologia de conforto tão especializada, a ponto de anular a realidade climática, ou há lugares onde o grau de desconforto é enorme”.

Os impactos das ilhas de calor afetam muitas pessoas e de várias maneiras, vão além da sensação de desconforto. São relatadas influências diretas das ilhas de calor sobre a mortalidade e saúde da população (DESMOULIÈRE, 2011). Para Duarte (2000), o principal interesse do planejamento urbano está em entender os impactos da atmosfera urbana nos aspectos funcionais, econômicos e de segurança do ambiente edificado na saúde e no bem-estar de seus ocupantes.

Nesse sentido, Gartland (2010) apresenta algumas estratégias de engenharia e de planejamento urbano com vistas a reverter as tendências de aquecimento nas áreas urbanizadas. A primeira proposta traduz-se na substituição dos materiais tipicamente empregados nas coberturas das construções por materiais mais frios. Esses materiais mais frios têm a característica de possuir alta refletância solar e alta emissividade térmica, que auxiliam na dissipação de maior proporção do calor. A segunda estratégia diz respeito ao resfriamento dos pavimentos tradicionalmente existentes no ambiente urbano (seja o asfalto, seja o concreto), os quais tendem a ser mais quentes por serem impermeáveis e possuírem cor escura.

Em conformidade com a autora, são duas as alternativas para resfriar tais pavimentos: mudar a sua cor para uma mais clara, aumentando, assim, a sua refletância e, por conseguinte, reduzir a absorção ou torná-los permeáveis, permitindo a drenagem da água através deles. Por último, destaca o papel das áreas verdes na redução da temperatura do ar, seja por meio da produção de sombras, mantendo as superfícies mais frias, seja devido à utilização da energia solar na evapotranspiração, evitando que essa energia seja usada para aquecer a cidade.

Por sua vez, Souza *et. al.* (2005), apontaram para a existência de uma estreita ligação entre a obstrução do céu determinada pelo FVC e o aumento do consumo de energia elétrica em Bauru – São Paulo. Isso porque a redução do FVC gera desconforto, seja pelo excesso de sombreamento proporcionado pelo entorno que diminui consideravelmente a luz natural na unidade, forçando a utilização de iluminação artificial ou pelo calor armazenado (necessidade de refrigeração), que, conseqüentemente, ocasiona aumento no consumo de eletricidade para amenizar o desconforto. A autora ressalta que os hábitos do consumidor e a faixa de renda influenciam diretamente no padrão de consumo.

Sabe-se que todos os projetos de desenho urbano ou de edificações devem ser precedidos de estudos do clima nos quais serão inseridos. Porém, quando esses estudos ocorrem, são feitos de maneira superficial, utilizando dados pontuais ou de estações meteorológicas muitas vezes instaladas em locais com configuração ocupacional bastante distinta dos locais de intervenção. Nesse sentido, a climatologia moderna surge como auxílio aos projetistas para superar as dificuldades que têm em aplicar os dados climáticos ao projeto.

Para Guerra (2005, p. 51), a climatologia tem por objetivo

abordar o estudo do clima em várias etapas que se diferem pelas distintas escalas espaciais a que se referem formulando, com isso, um conjunto de informações mais sólido que junto aos dados meteorológicos específicos de cada caso em estudo, contribuirão, de maneira eficaz, para todos os projetos contidos no meio urbano.

A compreensão das ações transformadoras do meio físico sobre o clima faz-se necessária à organização e à instrumentação das informações, já que essas transformações criam um cenário envolvendo dados de temperatura, umidade, precipitação, velocidade e direção dos ventos e insolação.

Romero (2000, *apud* GUERRA, 2005) enfoca uma conceituação do clima definindo-o pelos elementos climáticos (temperatura, umidade do ar, precipitação e movimentos de ar), e originado e condicionado por fatores climáticos. Os fatores climáticos estariam subdivididos em fatores climáticos globais (radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água) e fatores climáticos locais (topografia, vegetação e superfície do solo). Os fatores locais são os responsáveis pela origem de microclimas ou de climas em pontos restritos e pelo condicionamento e determinação destes. Cada um desses fatores climáticos é o resultado da conjunção dos demais, de forma que se torna imprescindível que sejam conhecidos tanto isoladamente como em suas ações conjuntas.

As alterações climáticas locais condicionam a sensação de conforto e esta sensação pode estar relacionada com o tamanho e a densidade das áreas urbanizadas, com a disposição e as dimensões das ruas, as orientações e a relação com os ventos dominantes, com a forma, o tamanho e a orientação dos lotes, com a altura, a forma e a localização dos edifícios e com as condições de sombreamento ao longo das ruas. Silva (1999) destaca que a influência do vento no bem-estar das pessoas pode ser observada sob dois aspectos distintos, o concernente ao conforto/desconforto causado pelo vento e o relativo ao perigo potencial (riscos de acidentes e quedas) que este pode representar para as pessoas, dependendo das circunstâncias.

2.4 Geoinformação aplicada ao Urbanismo

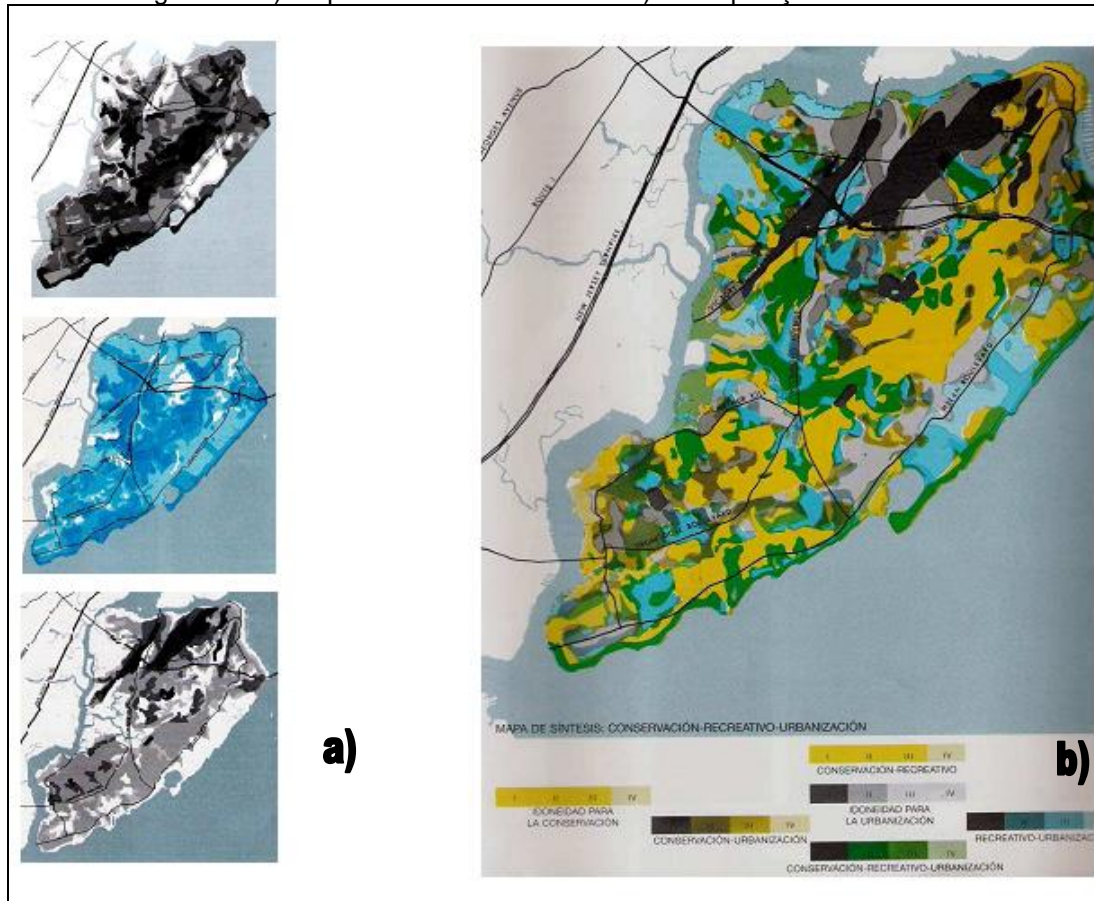
As representações da realidade urbana, especialmente as voltadas às atividades de planejamento de cidades sob a forma de mapas, maquetes, planos e modelos não são recentes. Exemplos de cidades deliberadamente planejadas permearam a história da humanidade desde a antiguidade, como os assentamentos Hindus, que remontam a 2600 a.C. ou as cidades de Roma e da Grécia. Segundo

Almeida (2009), o planejamento urbano alcançou certa expressividade no Renascimento, mas a sua afirmação como campo de atuação somente se consolidou na segunda metade do século XIX, a partir das reformas sanitárias de Londres e do redesenho de Paris. Atualmente, esse campo continua conquistando importância com o crescimento exponencial da população urbana, sobretudo com a progressão de cidades com mais de um milhão de habitantes.

No universo de representação da realidade urbana, os computadores passaram a ganhar destaque no início dos anos 1960. Os primeiros modelos computacionais foram ao encontro das necessidades do planejamento de transportes nas cidades americanas, caracterizadas pelo crescente contingente de veículos, aliado a um padrão de desenvolvimento urbano disperso (*Sprawl*). Gradualmente, esses modelos computacionais passaram a ampliar a sua atuação, envolvendo questões como a população, a distribuição espacial dos empregos, a mobilidade urbana e a identificação de usos do solo intraurbano. (ALMEIDA, 2009).

Em meados do século XX, as pesquisas intensificaram-se e surgiram os primeiros estudos que utilizavam os aspectos físico-geográficos das cidades como forma de apoiar os planos de desenvolvimento urbano. McHarg (1969), por exemplo, desenvolveu uma metodologia que pretendia conciliar o desenvolvimento e a preservação através da identificação de lugares aptos e não aptos para edificar. Em linhas gerais, a metodologia é expressa em mapas temáticos através de variações de tons de cor, representando, cada um, uma característica natural, definindo assim o conceito de *overlays* (camadas). Em cada mapa, uma componente é representada em cinco divisões variando os tons de cor. Os tons mais escuros representam menor aptidão para ocupação, o que implica na presença de empecilhos ou simples ausência de benefícios, que favorecem, por exemplo, a ocupação urbana ou a instalação de um empreendimento. Cada mapa é construído em transparências (folhas de acetato) podendo, dessa forma, ser sobreposto. Da sobreposição dos mapas de relevo, de vegetação, de hidrologia, dos solos, entre outros, resultou um padrão no qual as zonas mais claras eram as zonas mais aptas para a implantação de determinada atividade, conforme a Figura 03.

Figura 03: a) Mapeamento de camadas e b) Sobreposição de camadas



Fonte: Batistela (2007 *apud* MCHARG, 2000)

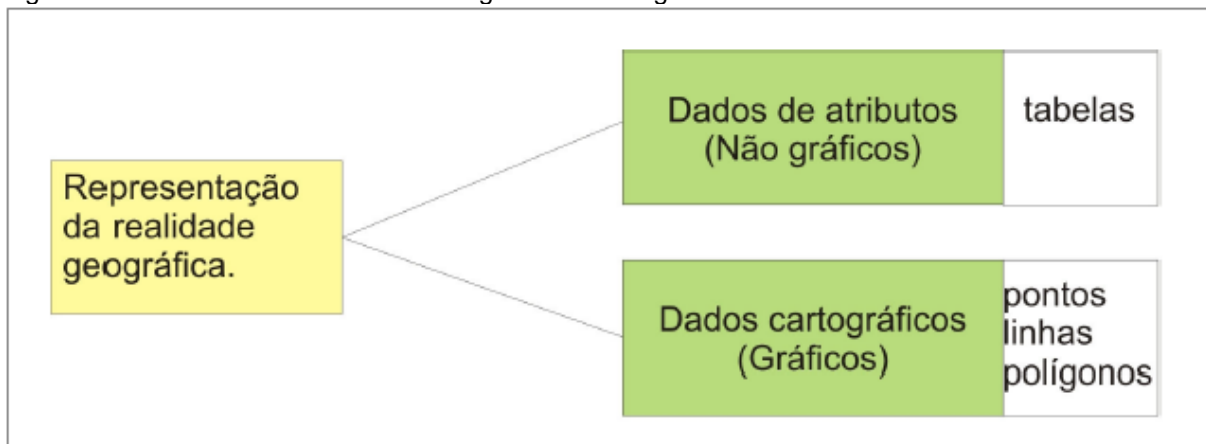
No fim dos anos 80, os avanços da computação gráfica, principalmente os relacionados à inserção de interfaces gráficas permitiram que os Sistemas de Informações Geográficas – SIG (*geographic information system*) ganhassem impulso. A princípio, eles foram concebidos para representar o ambiente em meio computacional, através da ideia de camadas (*layers*), utilizando um sistema de projeção geográfica. As primeiras aplicações se voltavam para questões ambientais na esfera regional. Só recentemente, em particular, com o surgimento de imagens de satélite de alta resolução espacial, os SIG passaram a ter uma aplicação mais marcante em problemáticas do ambiente urbano. (ALMEIDA, 2009).

Rocha (2000, p. 47) define SIG como sendo um “sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos”. Câmara *et. al* (2005, p. 2) apontam o grande diferencial de um SIG que é “sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos

diferentes tipos de dados geográficos”. Desse modo, os SIG suportam dados de diversas fontes e formatos e permitem que esses dados integrem-se. Assim, em uma base de dados, pode-se obter e manipular informações de dados geográficos, imagens de satélite e dados alfanuméricos. Burrough (1986, *apud* ROCHA, 2002) conclui que o SIG é um “poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real”.

A base de dados SIG é uma coleção estruturada de gráficos digitais, dados cartográficos que são a representação da realidade, e dados não-gráficos, chamados tabulares, que descrevem atributos do mapa, relacionados espacialmente. A Figura 04 pode ajudar nesse entendimento.

Figura 04: Relacionamento entre dados gráficos e não gráficos



Fonte: Soares (2008).

O SIG, segundo Pina (2000, p. 14 *apud* SOARES, 2008, p.25), “é uma das técnicas de Geoprocessamento, a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais, mas nem todo Geoprocessamento é um SIG”. Castro (2007, p.13), por sua vez, entende Geoprocessamento por um “conjunto de métodos e técnicas destinados à coleta, ao tratamento, à representação e à análise de dados geográficos espacialmente localizados por coordenadas e projeção cartográfica, disponíveis em meio digital”. O Geoprocessamento tem como objetivo focar não apenas a representação de fenômenos que possuam expressão territorial, ou recuperação, organização e manuseio de dados, mas, principalmente, buscar ganho

de conhecimento, produção de novas informações acerca da realidade a ser estudada.

É ampla a possibilidade do uso de um SIG. Câmara, (2009, p. 33) aponta alguns exemplos desses usos nas diversas áreas de conhecimento, tais como: otimização de tráfego; controle cadastral; gerenciamento de serviços de utilidade pública; demografia; cartografia, administração de recursos naturais; monitoramento costeiro; controle de epidemias; planejamento urbano.

É importante ressaltar que o “Geoprocessamento é uma ferramenta que se baseia na representação e que, por isso, não pode alcançar todos os níveis de complexidade inerentes à realidade, proporcionando uma visão de conjunto, cujos elementos constituintes se dispõem de maneira integrada”. (CASTRO, 2007, p.14).

No Apêndice A está uma breve conceituação sobre a representação de dados espaciais no Sistema de Informações Geográficas.

3 MAPA CLIMÁTICO URBANO

O mapa climático urbano é uma ferramenta de informação que contém características relevantes do clima urbano, de modo que os planejadores podem encontrar informações úteis na tomada de decisão durante o processo de planejamento. Ele é desenvolvido com a finalidade de reconhecer funções climáticas urbanas e contribuir na descrição da atmosfera mais próxima às edificações. Basicamente o mapa climático urbano é composto de dois mapas: o mapa de análise e o de recomendações. O primeiro é um sistema de classificação que utiliza dados mapeados de carga térmica, potencial dinâmico e informações de velocidade e direção dos ventos. O entendimento dessas informações possibilita o desenvolvimento do mapa de recomendações, usado para orientar ações de planejamento e tomada de decisão. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008).

Pesquisadores da área de climatologia urbana em países da Europa, América do Norte, Ásia e América do Sul têm buscado desenvolver princípios para avaliação e análise do clima urbano (Figura 05). Entre eles, a Alemanha destaca-se, pois várias cidades já contam com mapas elaborados, fazendo-o, em parte, por causa da exigência legal³. Além do interesse na opinião pública, há uma visão política de planejar o futuro com responsabilidade e sensibilidade em relação ao meio ambiente. A exigência legal na Alemanha regulamenta que nenhum novo desenvolvimento deve afetar negativamente o ambiente natural e que as questões climáticas, como os efeitos positivos de evapotranspiração, topografia, e os efeitos negativos da carga térmica, têm que ser considerados em projetos de planejamento

3 Verein Deutscher Ingenieure - VDI-3787- Part1 Environmental meteorology – climate and air pollution maps for cities and regions, 1997. Disponível em: http://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/7420153.pdf

Verein Deutscher Ingenieure - VDI-3787-Part 2 Environmental meteorology –methods for the human bio- meteorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level, 1998 Disponível em: http://www.vdi.eu/uploads/tx_vdirili/pdf/1464197.pdf

regional e urbano. Os detalhes de mapeamento do clima urbano têm sido publicados pela Sociedade de Engenharia Alemã, (VDI-3787).

Figura 05: Países com mapas climáticos



Fonte: *Department of Architecture, CUHK (2008)*.

A conscientização pública para a sustentabilidade das cidades, assim como as questões do clima urbano têm despertado o interesse pela elaboração de mapas climáticos urbanos. Como forma de elucidar o entendimento da metodologia de elaboração desses mapas, assim como os resultados alcançados através dela, foram abordados alguns casos de cidades que implantaram tais mapas e os utilizam na gestão e administração pública, a exemplo, das cidades de Stuttgart e Kassel na Alemanha, e na cidade-estado de Hong Kong. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008).

No Brasil, apontam-se o caso da cidade de João Pessoa e as experiências em São Paulo, Rio Claro, Salvador e Maceió.

Caso 1 - Stuttgart, Alemanha

Em 1900, a cidade de Stuttgart ocupava uma área de 6% do território municipal e tinha uma população de 270 mil habitantes. Porém, 100 anos depois, o número de habitantes dobrou, mas a área urbana havia aumentado nove vezes. Esse crescimento implicou em problemas relacionados aos transportes e à poluição

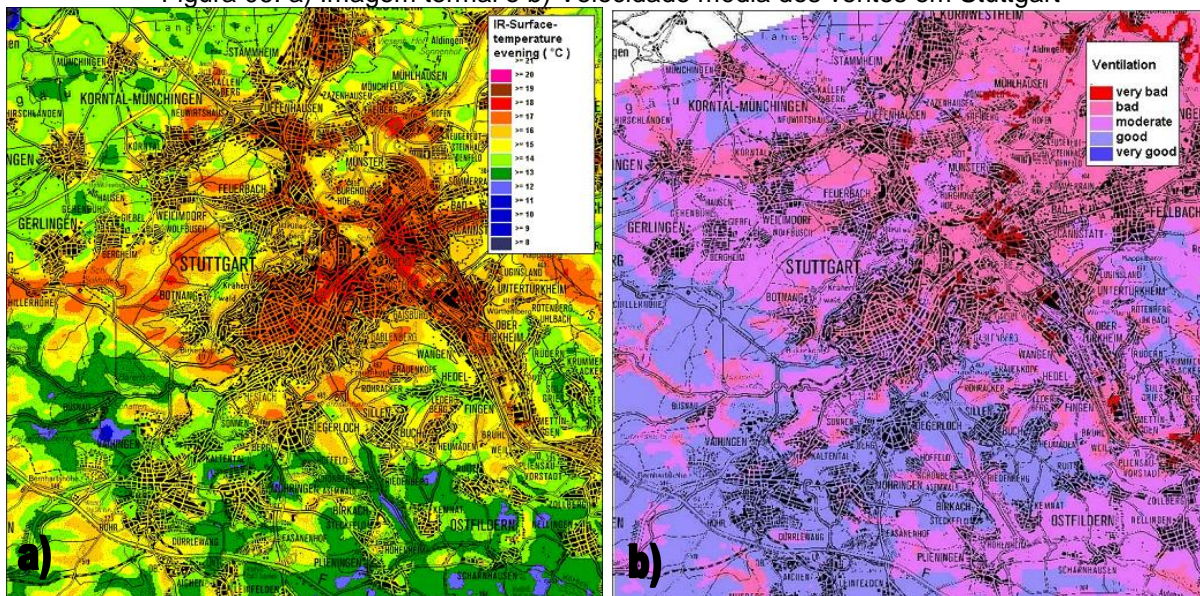
do ar, mas também em problemas associados às preocupações climáticas, como as ilhas de calor. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008).

Percebeu-se que o uso intensivo do solo traz prejuízos ao ambiente. O governo passou a considerar que o desenvolvimento regional e urbano deve ser precavido no que diz respeito à proteção ambiental. Assim, hoje em dia, leis ambientais alemãs lidam com a proteção ambiental, sendo que essa questão é também tratada na Constituição Alemã. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008, p. 23), destacando que:

“De acordo com o Capítulo 1 (5) da *German Federal Building Law*, Lei Federal Alemã que regulamenta que as construções e o planejamento do desenvolvimento urbano têm de ser sustentável integrado às demandas sociais, econômicas e ecológicas. Os Planos de desenvolvimento urbano têm que contribuir para um ajuste ambiental que favoreça os seres humanos e a proteção dos recursos naturais para as gerações futuras”.

Como o planejamento está relacionado a áreas específicas, o uso de mapas como uma base de informação passou a ser recomendado, isso, porque eles são considerados ferramentas para o planejador, e também por serem úteis na transmissão de informação para políticos e ao público interessado. Nesse contexto, mapas foram preparados para relacionar espacialmente dados climáticos e de qualidade do ar. A metodologia aplicada para gerar o mapa de análises climáticas de Stuttgart consistiu na identificação de topoclimas, de áreas sujeitas a aquecimento e zonas de estagnação do ar. Para tanto, foram empregados dados de imagens em infravermelho, elementos da estrutura urbana (topografia, vegetação, edificações, entre outros) e elementos climáticos (temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos, umidade do ar, precipitações e carga de poluentes) foram representados em mapas. Na Figura 06, há exemplos dos mapas de análises, gerados para descrever as condições climáticas de Stuttgart. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008).

Figura 06: a) Imagem termal e b) Velocidade média dos ventos em Stuttgart



Fonte: Department of Architecture, CUHK, 2008

A partir dos dados coletados foram identificados onze topoclimas, nomeados com base no uso do solo e, especialmente, na natureza da urbanização, sendo eles: topoclimas de ferrovias, de indústria, de comércio, de centro de cidade, de cidade, de periferia, de cidade jardim, de áreas verdes, de floresta, de campo e de corpos d'água. Inicialmente foi construído o mapa de análises climáticas, no qual, além da representação dos topoclimas por cores e símbolos, é possível identificar o padrão de comportamento dos ventos locais e regionais.

Posteriormente, um segundo mapa foi gerado com o objetivo de fornecer instruções e recomendações sobre os aspectos climáticos aos gestores públicos da cidade de Stuttgart.

As instruções para o planejamento foram combinadas em sete zonas climáticas, referentes ao espaço não construído (áreas livres), as áreas urbanizadas e, por fim, recomendações para vias de tráfego com elevadas taxas de emissões de gases. Por deterem características importantes para as trocas de ar, às áreas livres receberam recomendações de planejamento que levam à preservação desses espaços, com nenhuma ou muito pouca alteração em seu uso e ocupação do solo. As áreas habitadas contaram com recomendações bem distintas, partindo de áreas onde foi permitida uma intensificação do uso e de ocupação do solo, devido à sua

baixa função climática, áreas com necessidade de intervenções arquitetônicas por causarem transtornos do ponto de vista climático da cidade e áreas onde a troca de ar estava praticamente impedida pelo volume das edificações. As vias ilustradas no Mapa caracterizam-se pela intensidade de tráfego de, aproximadamente, 15.000 veículos por dia. As altas emissões de poluentes e a poluição sonora foram observadas no planejamento.

Caso 2 - Kassel, Alemanha

Assim como Stuttgart, a cidade de Kassel compartilha as diretrizes do Código Federal Alemão de Construção, em que as questões climáticas devem ser levadas em consideração no planejamento urbano.

No início da década de 1890, quando o governo local de Kassel iniciou os estudos de expansão da área urbana, foram detectados os efeitos da localização da cidade em problemas como a poluição do ar e o conforto térmico. A cidade está localizada em um vale cercado por montanhas com uma altura de cerca de 500m e dentro da cidade há uma condição fraca de ventos, com velocidade média inferior a 2 m/s.

Nesse contexto, Lutz Katzschner na Universidade de Kassel observando os problemas do conforto térmico em Kassel, desenvolveu uma primeira versão do mapa de clima urbano em 1990, aplicando o conceito de "clima urbano ideal" como uma meta a ser perseguida. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008):

A definição do clima urbano ideal considera as áreas e o tempo como critério de avaliação, portanto:

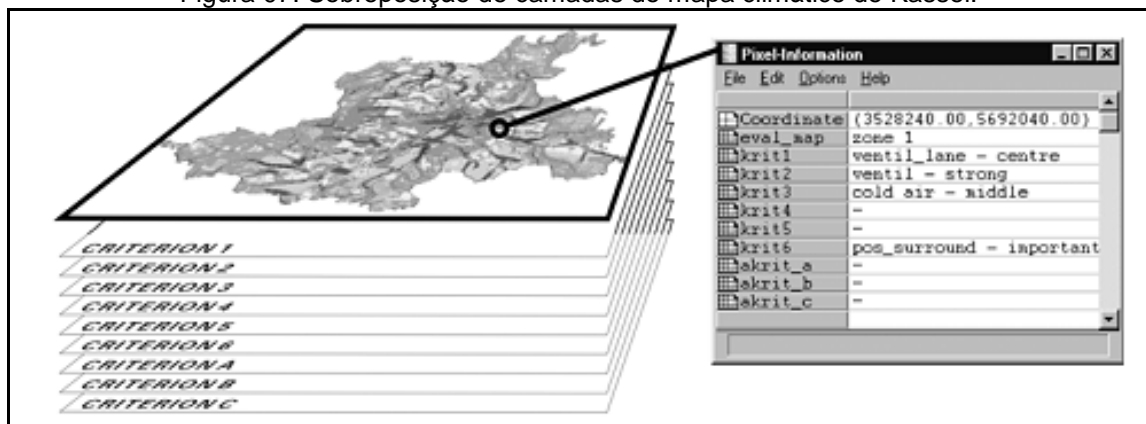
O clima urbano ideal é uma situação atmosférica na camada de cobertura urbana, com uma grande variação no tempo e espaço que desenvolve condições térmicas heterogêneas para o homem. O clima deve ser livre de poluição do ar e estresse térmico por meio de mais sombreamento e ventilação (em áreas tropicais) ou proteção contra o vento (em climas moderados e frios) (MAYER et al, 1990 *apud* KATZSCHNER 2007 p.02).

Em Kassel, os mapas climáticos foram criados com o propósito de avaliar as condições bioclimáticas, porque tais mapas poderiam fornecer a informação sobre o clima urbano, incluindo os efeitos de ilha de calor, ventilação e o índice de Temperatura Equivalente Fisiológica – PET⁴ (*Physiological equivalent temperature*) Basicamente, a metodologia de elaboração dos mapas é composta por seis etapas e conta com investigações e avaliações de dados climáticos existentes, classificação de elementos físicos da cidade, medições em campo, elaboração de mapas que representam áreas sensíveis do ponto de vista térmico, avaliação dos processos climáticos e, por fim, a elaboração de um mapa climático voltado ao planejamento urbano.

A partir de uma abordagem teórica, as análises climáticas consideraram critérios físicos da cidade que influenciam o clima, tais como a topografia, o uso do solo, a vegetação, o gabarito em altura das edificações, a rugosidade, os aspectos da radiação e a velocidade dos ventos. Para cada critério físico analisado no estudo do clima urbano, um mapa temático foi produzido, representando as áreas segundo a sua influência na temperatura do ar e nas trocas de massas de ar. Esses critérios físicos são a base das avaliações da carga térmica e do potencial dinâmico de ambientes urbanos. Em um sistema de informações geográficas, as influências desses critérios foram combinadas e calculadas por um programa de SIG, (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE , 2008). Na Figura 07, observa-se a estrutura esquematizada dos procedimentos metodológicos com a sobreposição de camadas.

⁴ PET *Physiological Equivalent Temperature* – considera os mecanismos humanos de termorregulação como a dilatação e a contração dos vasos sanguíneos periféricos, a sudorese e a produção de calor pelo tremor muscular para obter as condições de estabilidade. Seu valor é igual ao da temperatura do ar de um ambiente interno de referência no qual a temperatura interna corporal e a da pele são iguais àquelas sob as condições do ambiente considerado. Nery *et al.* 2008.

Figura 07: Sobreposição de camadas do mapa climático de Kassel.



Fonte: *Department of Architecture, CUHK (2008).*

Finalmente, um mapa de recomendação foi gerado, com base em oito zonas de classificação, que têm como finalidade fornecer recomendações de planejamento. Dentro de cada zona, diretrizes de planejamento especiais ou sugestões foram fornecidas de modo que a situação climática dentro dessa zona fosse melhorada ou pelo menos não fosse agravada.

Caso 3 – Hong Kong

Nos exemplos de mapas anteriormente descritos, utilizaram o uso do solo e a morfologia como informações para gerar os mapas climáticos. No entanto, percebeu-se que, para Hong Kong, empregar apenas as informações de uso do solo não era suficiente. A cidade/estado de Hong Kong está localizada em uma região de clima subtropical, com verões quentes e úmidos, tem uma alta densidade urbana, o seu formato compacto pode ser justificado pelas limitações topográficas, regiões montanhosas com encostas íngremes e com vegetação que colaboram para a escassez de terras para expansão territorial. Devido às características climáticas, existe a necessidade de aumentar a ventilação intraurbana, a fim de melhorar a qualidade de vida e o conforto térmico de seus habitantes. Existia, portanto, a necessidade de aperfeiçoar o entendimento do padrão de escoamento dos ventos e levar em consideração influências da densidade (volume construído) e cobertura de

solo (rugosidade) na geração do mapa climático. (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, CUHK, 2008).

Para a elaboração do mapa climático de Hong Kong, utilizou-se de uma metodologia que consiste em uma avaliação e classificação de suas condições climáticas urbanas. Inicialmente, os aspectos da estrutura urbana foram mapeados de acordo com três atributos principais: carga térmica; potencial dinâmico e informações de ventos.

A carga térmica é considerada a principal razão do aumento da temperatura intraurbana e depende, principalmente, do volume construído que tem impacto sobre o armazenamento de calor, e na redução do Fator de Visão do Céu retardando o resfriamento durante a noite; da topografia e da disponibilidade de espaços verdes.

O potencial dinâmico avalia a rugosidade do solo e, portanto, a disponibilidade de vento e a troca de massa de ar em determinadas áreas urbanas. Depende, principalmente, da cobertura do solo, da disponibilidade de paisagem natural, em encostas, e da proximidade de espaços abertos. A ventilação é uma maneira eficaz para mitigar os efeitos adversos da carga térmica; pode transportar o ar quente da cidade e substituí-lo por ar mais frio, (*Department of Architecture, CUHK, 2008*).

As Informações sobre ventos consistem da representação da velocidade e da direção do vento baseada em aspectos de topografia e de rugosidade. Para o estudo, foram utilizados dados de uma ampla rede de 40 estações meteorológicas distribuídas pela cidade, bem como os dados simulados no software MM5.

Os aspectos da estrutura urbana são mapeados em seis camadas. Cada uma delas é classificada com valores, atribuídos de acordo com os seus níveis de prováveis efeitos sobre o aumento ou a redução das temperaturas. Assim, em Hong Kong foram elaboradas as seguintes camadas:

Camada 1 - volume construído: considera a influência das edificações frente à capacidade dessas bloquearem a visão do céu. As edificações absorvem parte da energia solar que recebem. Essa energia eleva a temperatura, inicialmente, da superfície e, posteriormente, do ar. A energia, proveniente

da radiação solar é armazenada e, posteriormente, libertada de volta para a atmosfera, com isso, o bloqueio da visão do céu pelas edificações limita o resfriamento, principalmente, no período noturno.

Camada 2 - Topografia: avalia termicamente a influência das variações de altitude na temperatura do ar. Sabe-se que as elevações nas cotas altimétricas podem minimizar as temperaturas, podendo também minimizar o aquecimento local.

Camada 3 - Espaço verde: a existência de áreas verdes pode afetar a temperatura do ar e do solo. A vegetação tem potencial de mitigar os efeitos adversos da carga térmica.

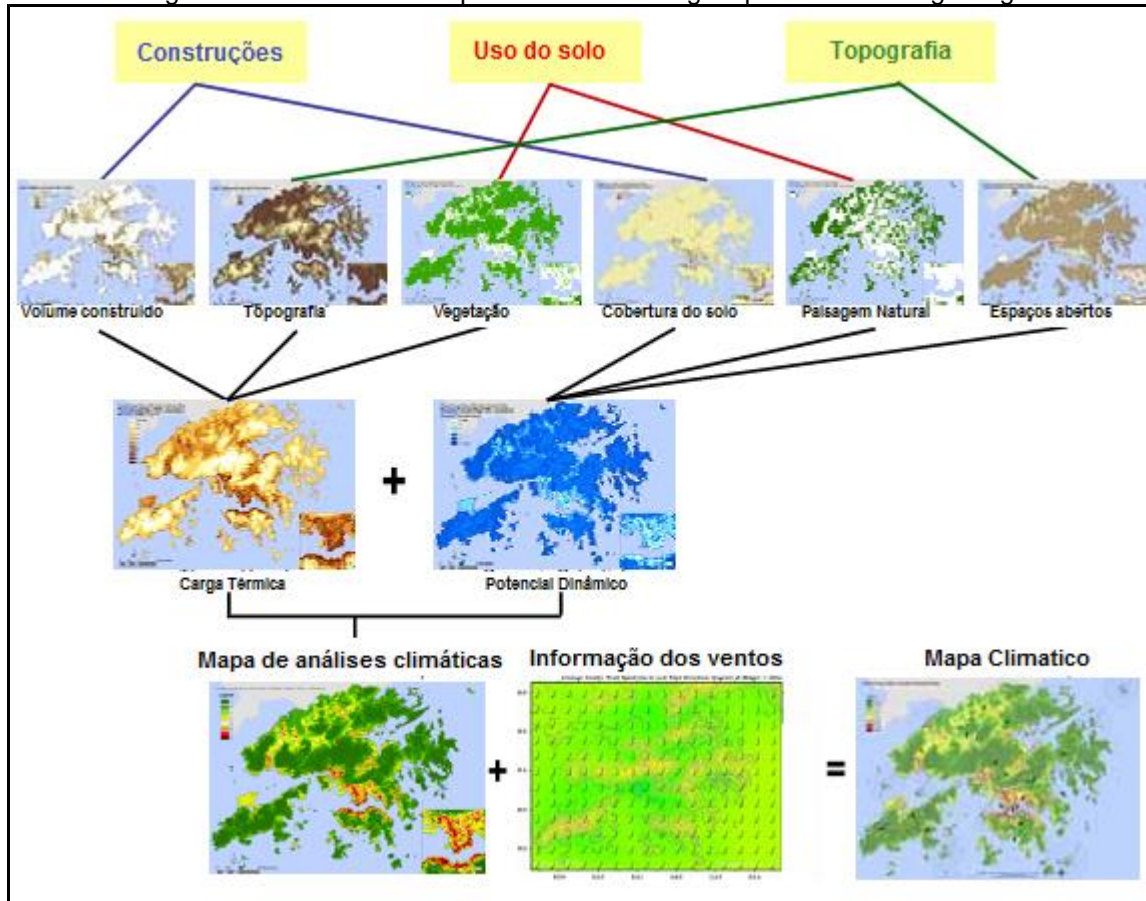
Camada 4 - Cobertura do solo: quantifica o uso do solo quanto à área da projeção edificações. Essa área é diretamente relacionada com o potencial de ventilação (permeabilidade ao vento) do local. Em geral, uma vizinhança com edifícios de maior cobertura de solo terá menor potencial de ventilação de ar.

Camada 5 - Paisagem natural: a vegetação presente em espaços com características rurais, campos, pastos, áreas gramadas e parques pode favorecer a ventilação, contribuindo com o resfriamento da cidade.

Camada 6 - Proximidade de espaços abertos: leva em conta as regiões urbanas localizadas próximas à orla marítima, a corpos d'água, a grandes espaços abertos e encostas que beneficiam os movimentos da ventilação natural.

De forma resumida, a metodologia aplicada em Hong Kong utiliza um sistema de informações geográficas – SIG. Nele, os dados mapeados são combinados. Posteriormente, os mapas gerados para carga térmica, potencial dinâmico e informações de ventos são sobrepostos. A estrutura dessa metodologia é demonstrada na Figura 08.

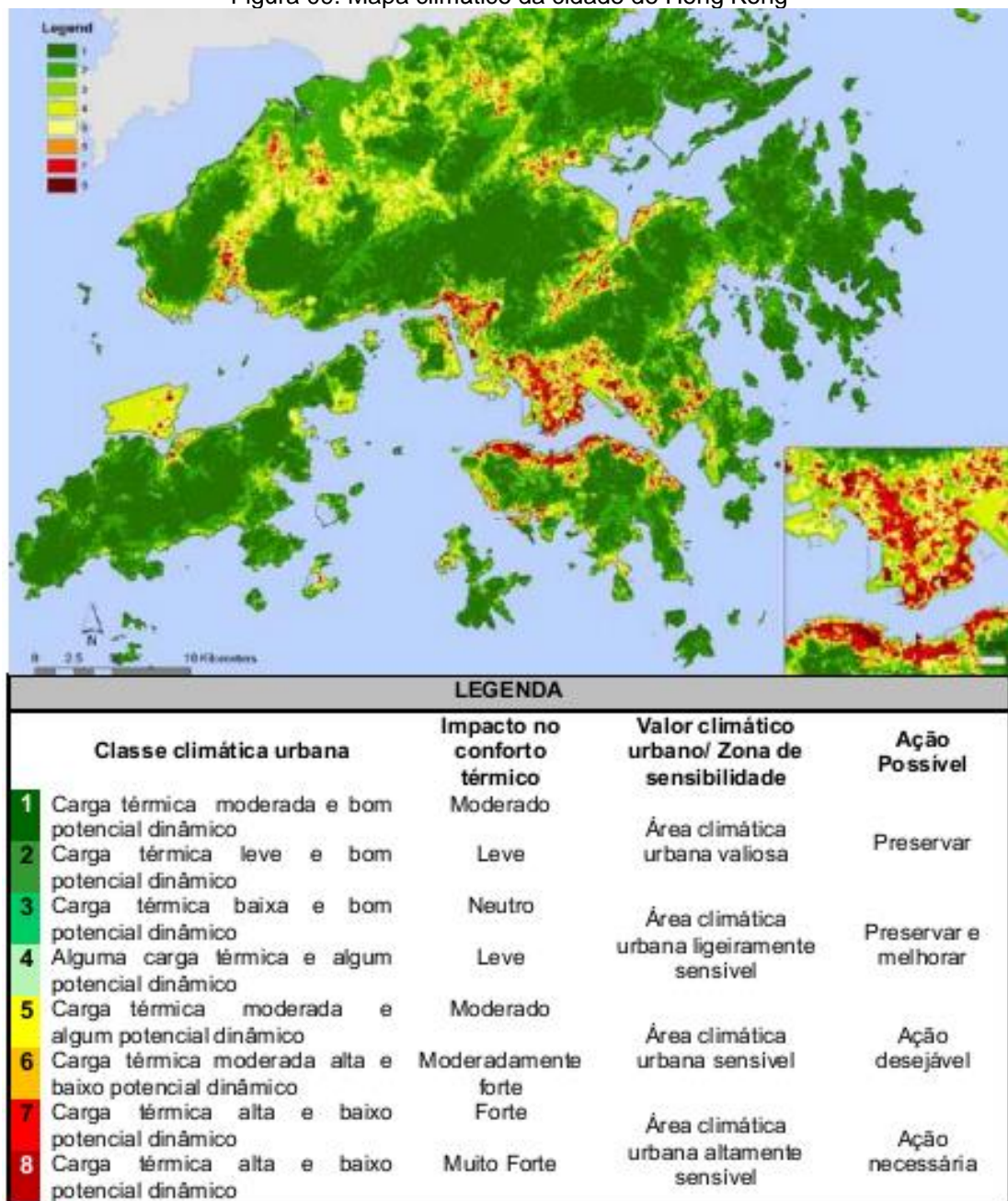
Figura 08: Estrutura do esquema da metodologia aplicada em Hong Kong



Fonte: *Department of Architecture, CUHK (2008)* adaptado de Sousa (2010).

Após os procedimentos descritos anteriormente, chegou-se ao Mapa Climático. Na Figura 09 pode-se observar a representação de oito classes climáticas urbanas do Mapa climático urbano. As classes climáticas são áreas da cidade que foram agrupadas e categorizadas, segundo as características topo-climáticas e os seus efeitos no balanço de energia térmica da cidade. Dessa forma, distinguiram-se claramente, por meio do mapa, quais são as áreas da cidade que apresentaram implicações negativas ou positivas no balanço de energia urbano.

Figura 09: Mapa climático da cidade de Hong Kong



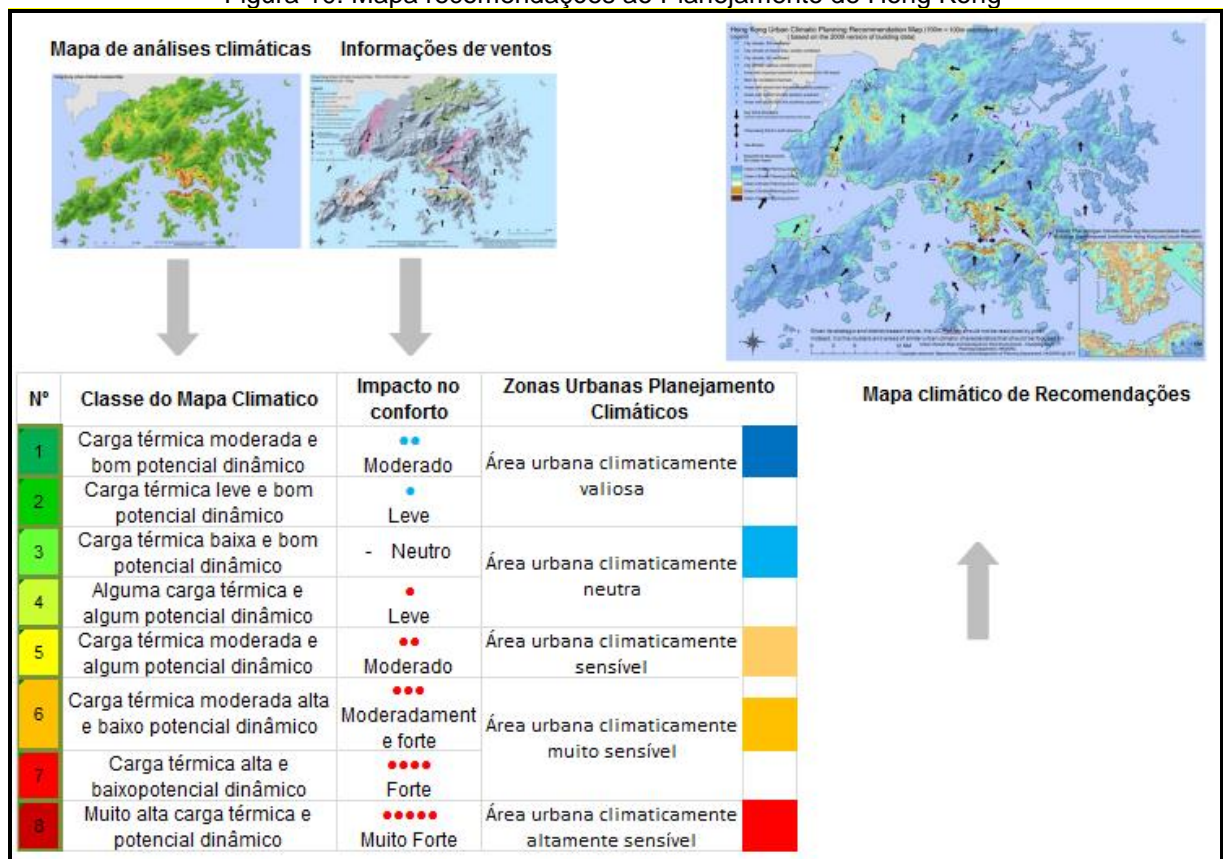
Fonte: *Department of Architecture, CUHK (2008)*, adaptado de Sousa (2010).

Com base na análise dos seis fatores climáticos que afetam a carga térmica (capacidade de ganho de calor) e potencial dinâmico (capacidade de ventilação) e, portanto, que têm impacto no conforto térmico humano, oito classes climáticas foram mapeadas em Hong Kong.

O índice *Physiological equivalent temperature* – PET (Temperatura equivalente fisiológica) foi utilizado para constatar a sensação térmica dos habitantes nas respectivas zonas climáticas e, assim, validar a classificação. O intervalo PET entre duas classificações foi da ordem de aproximadamente 1 ° C.

Com a adição das informações de direção dos ventos, as oito classes do mapa de análises climáticas são consolidadas em cinco zonas, gerando assim o Mapa Climático de Recomendações que consiste num instrumento amplo de orientação das ações de planejamento estratégico. De uma maneira geral, as zonas agrupadas por seus efeitos negativos no ambiente urbano tiveram ações de correção na estrutura urbana. Já as zonas com efeito positivo foram preservadas ou melhoradas e preservadas quanto às recomendações. Na Figura 10, pode ser visto o Mapa de Recomendações ao Planejamento da cidade de Hong Kong.

Figura 10: Mapa recomendações ao Planejamento de Hong Kong



Fonte: *Department of Architecture;*(2008) adaptada por souza (2010)

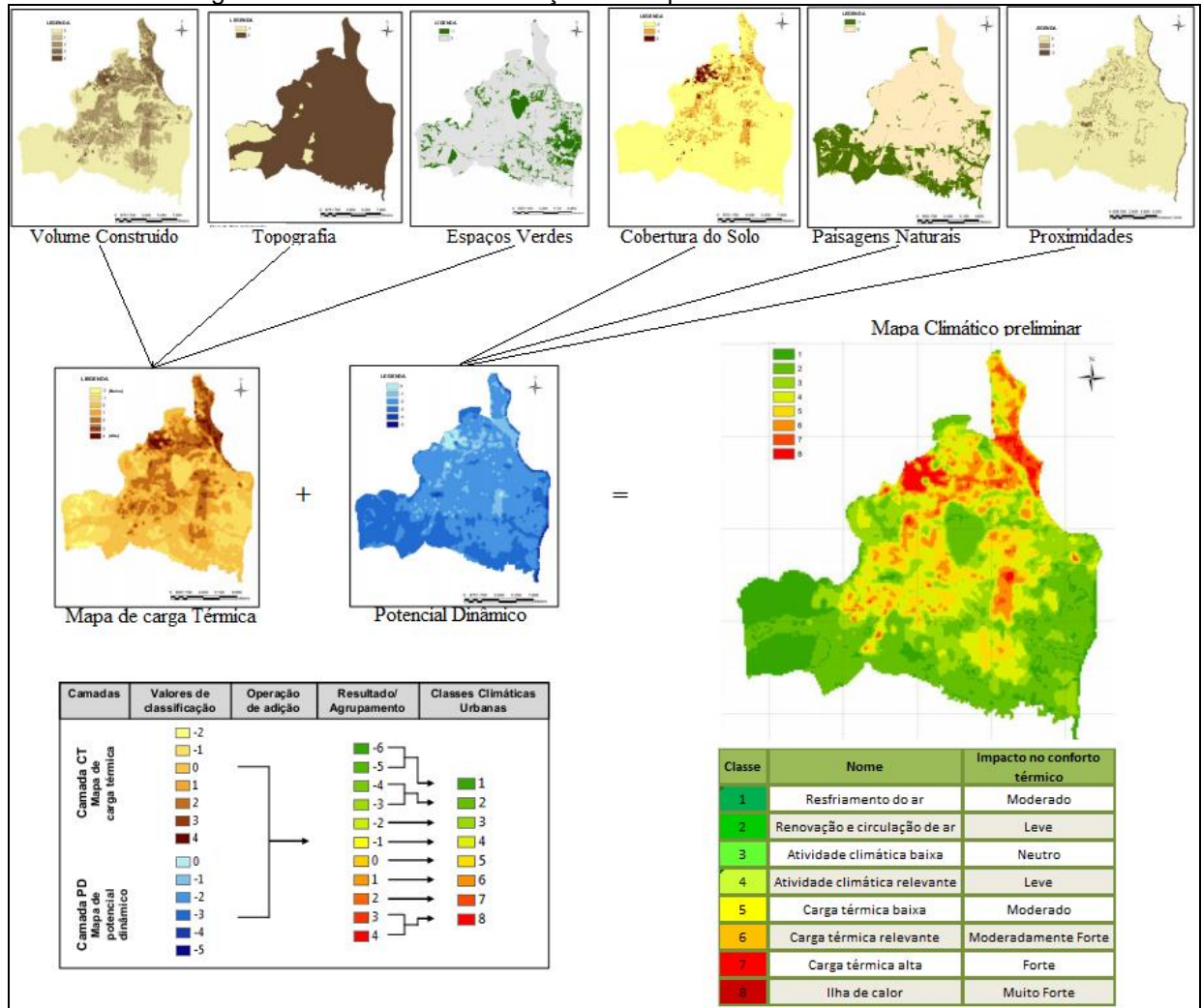
Caso 4 –João Pessoa, Brasil

Das cidades brasileiras, a única que dispõe de um mapa climático com escala de abrangência que contemple o município e procedimentos metodológicos descritos no *Department of Architecture, CUHK* (2008) é João Pessoa – PB (Paraíba). Souza (2010) elaborou para João Pessoa uma pesquisa que gerou o mapa de análises climáticas, aplicando a mesma metodologia utilizada em Hong Kong, o qual se constituiu da identificação, classificação e valoração de áreas que contribuem, de forma positiva ou negativa, no balanço de energia da cidade, segundo os aspectos da carga térmica e do potencial dinâmico, sem analisar as informações dos ventos.

Para elaboração do mapa climático de João Pessoa, foram elaboradas seis camadas de informações. Cada uma delas foi classificada com valores, de acordo com os seus graus de prováveis efeitos sobre o aumento ou a redução das temperaturas.

Pela metodologia, exemplificada na Figura 11, as camadas de volume construído, topografia e espaços verdes, resultam no Mapa de carga térmica. Já a soma das camadas de cobertura do solo, paisagens naturais e proximidades (este envolve outros três mapas: o de proximidade de corpos d'água; o de proximidades de espaços abertos e o mapa de encostas) resulta no mapa de potencial dinâmico. A técnica permite a exploração das relações entre as diferentes camadas de dados ou tipos de atributos. Com essa ferramenta, é possível, então, que se relacionem espacialmente a temperatura da superfície e aspectos morfológicos para obter uma análise indicativa da contribuição da morfologia urbana na formação das ilhas de calor.

Figura 11: Estrutura de elaboração do mapa climático de João Pessoa



Fonte: Sousa 2010 adaptado.

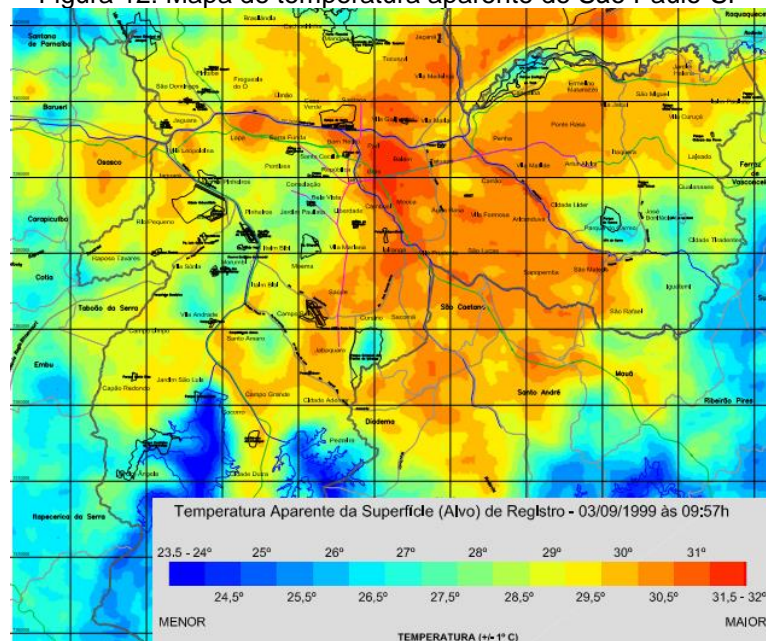
Sousa (2010), em seu mapa climático identificou e classificou oito classes climáticas em João Pessoa. Quando correlacionadas essas classes com o zoneamento urbano da cidade, o referido autor alerta para a importância de preservar as áreas que contribuem com a redução do ar (classes 1 e 2). Essas regiões localizadas, principalmente, nas regiões sul e sudeste, que coincidem com o percurso dos ventos predominantes advindos das distribuições do quadrante Sudeste entre os rumos 150° e 180°, sendo preservadas, podem colaborar para que esses ventos alcancem as áreas urbanas mais centrais. Outra constatação relevante é o fato de os resultados demonstrarem que as áreas em que há um maior comprometimento das condições de conforto térmico estão localizadas nas regiões

onde as relações de comércio e de serviços são mais expressivas, juntamente com áreas mais adensadas da orla marítima da cidade. As áreas onde o impacto na sensação de conforto térmico é “forte” ou “muito forte” abrangem 9,14km² de extensão, o que equivale a 10,68% de toda a área urbana do município de João Pessoa/PB.

Caso 5 – Outros casos no Brasil

No Brasil, outras experiências relacionadas ao emprego de mapas com informações climáticas urbanas na administração pública podem ser citadas. No município de São Paulo, Tarifa & Armani (2000) elaboraram as Cartas de Unidades Climáticas Naturais e Urbanas, como parte do projeto Atlas Ambiental do Município de São Paulo - Fase I: “Diagnósticos e Bases para a Definição de Políticas Públicas para as Áreas Verdes no Município de São Paulo”. Esse estudo recorreu às imagens do Satélite Landsat 7, incluindo o canal termal (banda 6) para identificação de elementos importantes na delimitação de unidades climáticas. Entre os resultados estão o Mapa de Temperatura Aparente da Superfície (em 03/09/1999 às 10h aproximadamente), conforme Figura 12.

Figura 12: Mapa de temperatura aparente de São Paulo-SP



Fonte: Tarifa & Armini (2000).

O mapa do município de São Paulo foi estruturado em quatro macrounidades climáticas urbanas consideradas como “homogêneas”. Os controles climáticos urbanos (uso do solo, fluxo de veículos, densidade populacional, densidade das edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, represas, parques e emissão de poluentes) e os atributos (temperatura da superfície, do ar, umidade, insolação, radiação solar, qualidade do ar, pluviosidade, ventilação) foram considerados na produção da carta de Unidades Climáticas Urbanas.

Além de São Paulo, outras cidades brasileiras desenvolveram estudos relacionados ao mapeamento climático. Katzschner (*et. al*, 1999) exemplificam o caso de Rio Claro – SP, onde um modelo baseado em SIG foi utilizado para classificar aspectos térmicos e de ventilação e possibilitar a análise climática da cidade. Em Salvador – BA (Nery *et. al*, 1997), com a finalidade de compreender as relações entre o meio físico e a urbanização, tendo como referência o conforto térmico, propuseram um zoneamento topoclimático preliminar. Posteriormente, mapas de uso dos solos, topografia, ventilação e de análises climáticas foram criados.

Em Maceió – AL, Melo (2009) sobrepôs mapas de topografia, de uso, ocupação do solo, altura de edificações e áreas verdes aliados à análise térmica, dinâmica da cidade e informações de ventos para gerar o mapa climático. Posteriormente, um mapa com zoneamento climático foi elaborado com propostas de orientação ao planejamento, identificando áreas na cidade que devem ser protegidas, preservadas e melhoradas. Os resultados desse mapa foram comparados com o macrozoneamento estabelecido pelo Plano Diretor e o zoneamento previsto pelo Código de Edificações de Maceió.

4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DE OCUPAÇÃO EM JOÃO PESSOA

A capital Paraibana foi fundada em 1585 e aparece entre as mais antigas cidades do País. Seu processo de urbanização teve início às margens do rio Sanhauá, no Porto do Capim e nas colinas circundantes. Nessa fase, a cidade era dividida em Cidade Baixa, de características portuárias, e a Cidade Alta, onde ficavam as residências, as igrejas, o comércio e as atividades administrativas. A ocupação se deu no sentido do rio para o mar. Hoje, tem como limite ao Norte o município de Cabedelo; ao Sul, o município do Conde; a Leste, o Oceano Atlântico e, a Oeste, os municípios de Bayeux e Santa Rita, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13: Localização e limites do município de João Pessoa - Paraíba



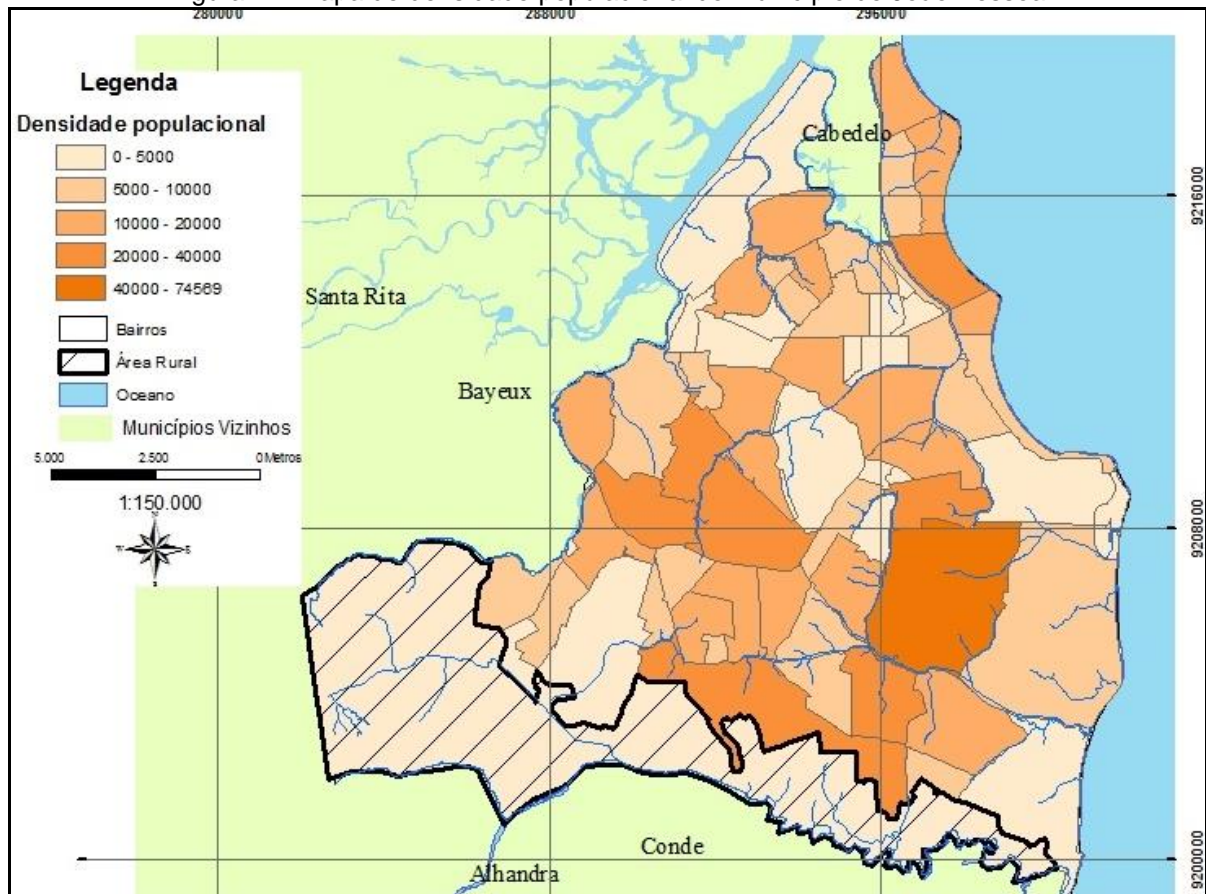
Fonte: Adaptado do mapa urbano digital pelo Autor (2013)

Segundo estimativa fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE⁵, em 2010, a cidade possuía uma população estimada em

⁵ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010*. Disponível na Internet pelo site <http://www.ibge.gov.br>. Consultado em 2012

723.515 habitantes, sendo que 99,62% desse contingente populacional esta na área urbana, distribuídos entre os seus 64 bairros e suas áreas de preservação ambiental que ocupam uma área de 211 km². A distribuição desse contingente populacional nos bairros pode ser analisada na Figura 14.

Figura 14: Mapa de densidade populacional do município de João Pessoa

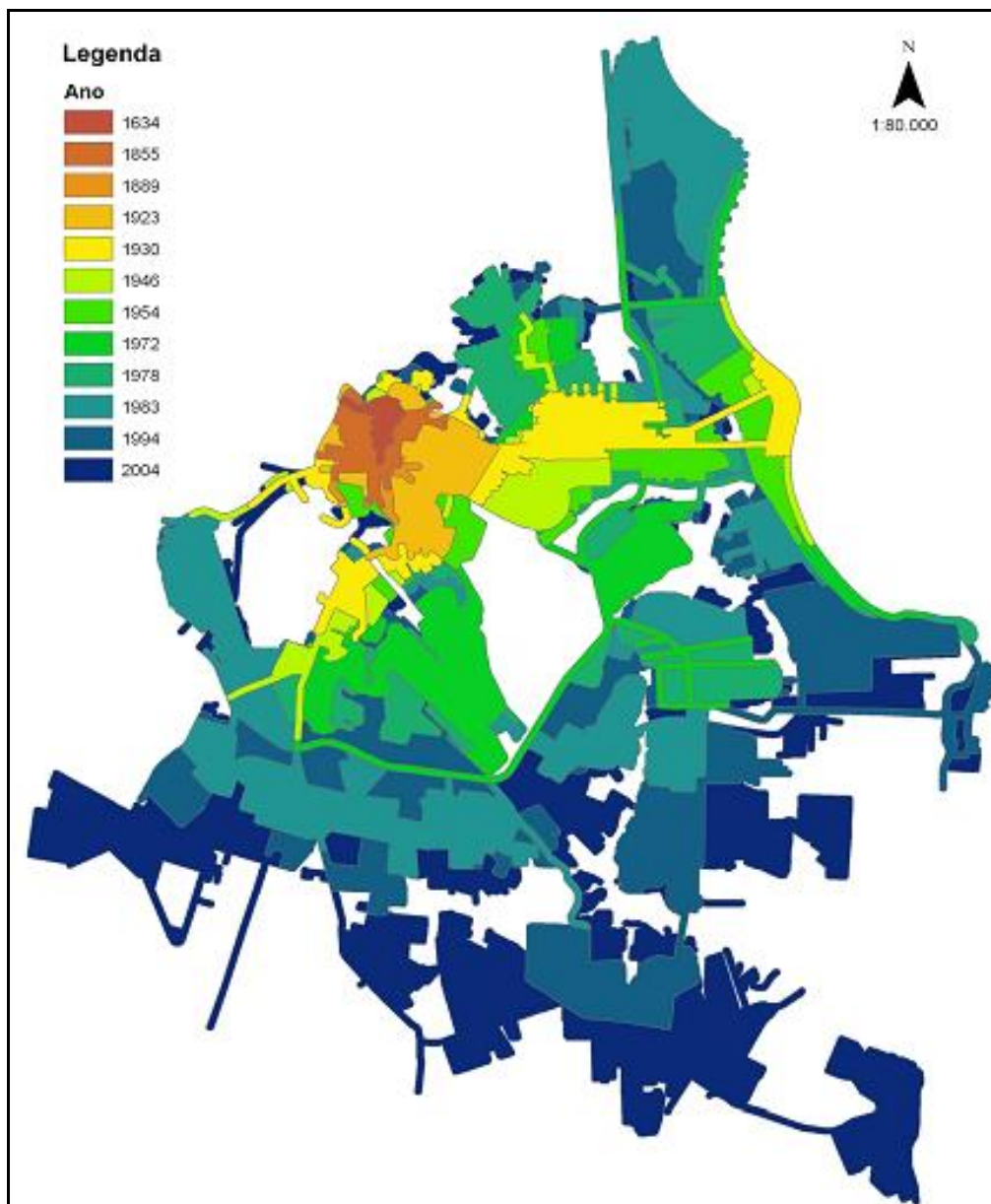


Fonte: Adaptado do mapa urbano digital pelo Autor (2013).

Segundo Silveira, Ribeiro e Amorim (2008), João Pessoa cresceu a partir do Rio Sanhauá, (afluente do Rio Paraíba) em um território contido num ângulo de cerca de 90 graus (da margem do rio em direção ao mar), no qual dos eixos principais e centrais correspondeu à linha de ligação centro – praia. A expansão urbana da cidade de João Pessoa, assim como na maior parte das cidades brasileiras, ocorreu de forma exageradamente extensiva, na forma espreada (*sprawl*). Ao observar a sequência evolutiva da cidade, construída por Oliveira

(2006), Figura 15, verifica-se que, até a década de 1910, a expansão aconteceu concentrada, em um pequeno território compreendido pelo atual bairro de Varadouro e a chamada cidade alta (indicada em cor laranja avermelhada). Outro ponto a ser destacado é o espraiamento urbano, particularmente entre as décadas de 1970 e 1990, quando, segundo o autor, os programas estatais de habitação contribuíram muito para esse processo de expansão urbana.

Figura 15: Reconstituição da área urbana de João Pessoa nos diversos períodos.



Fonte: Oliveira (2006).

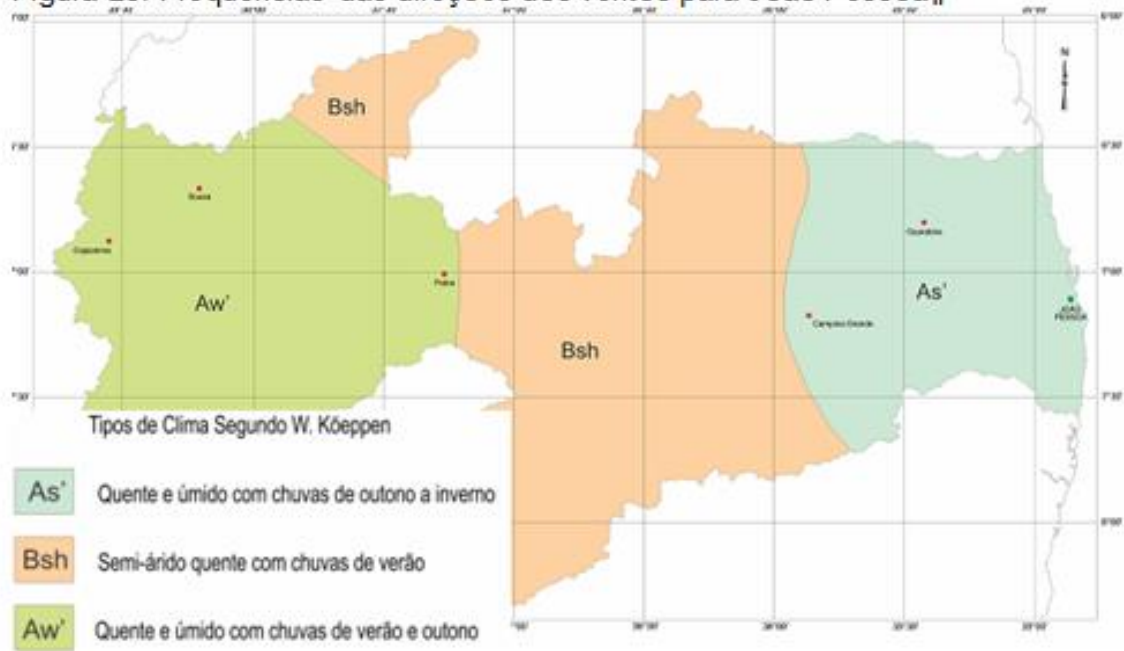
Segundo Duarte (2011), João Pessoa vem passando por profundas modificações em sua malha urbana, desde o início de sua urbanização, no final do século XIX, quando o desenvolvimento da produção de algodão e o colapso do trabalho escravo fizeram com que os fazendeiros e os senhores de engenho passassem a ter residência permanente na cidade. A autora também destaca as intervenções públicas de órgãos federais em João Pessoa na década de 1960, como importantes momentos de reestruturação da cidade. A implantação da Universidade Federal, o distrito industrial e conjuntos habitacionais foram decisivos para a expansão em direção ao Sul e Sudeste, principalmente devido à localização daqueles conjuntos habitacionais destinados para a população de renda média e média baixa. No setor litorâneo, as unidades habitacionais destinaram-se à população com maior poder aquisitivo, contribuindo para a valorização e que, hoje, é refletida no processo de verticalização.

4.1. Perfil climático e caracterização morfológica

A cidade de João Pessoa, segundo a classificação de Köppen, adaptada aos dias atuais, tem um clima que pode ser classificado como sendo do tipo 3dth, denominado, no Brasil, como Mediterrâneo ou Nordeste seco. São duas as estações do ano com ocorrência de chuvas, que elevam os índices pluviométricos e umidade do ar. O clima é caracterizado por temperaturas médias anuais, em torno de 25°C, para temperatura, e 80% para umidade relativa do ar.

De acordo com a classificação bioclimática, a cidade apresenta um clima do tipo As' (Quente e Úmido com chuvas de outono e inverno) e encontra-se numa faixa climática denominada como Mediterrâneo ou Nordeste, o que, naturalmente, provoca na população momentos de desconforto, em especial no verão, pela temperatura do ar elevada (média anual de 25°C - 26°C), alta umidade e alteração na frequências dos ventos, que tendem a soprar com maior frequência e intensidade nos meses menos quentes. (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2008), Figura 16.

Figura 16: Tipos de clima no estado da Paraíba, segundo classificação de Köppen



Fonte: Atlas geográfico da Paraíba, 2008

A tabela 1 ilustra as características bioclimáticas para a cidade de João Pessoa –PB.

Tabela 1 Características do bioclima de João Pessoa

Bioclima	Característica do Bioclima	Denominação no Brasil	Temp. Média Anual	Altitude	Latitude	Longitude
3dth	<p>Apresenta médias térmicas anuais em torno de 25°C</p> <p>Totais pluviométricos anuais de 1000 a 2000mm na área do brejo e 1500 a 1700 no litoral</p> <p>Umidade relativa do ar em torno de 80 %</p> <p>A estação seca dura de 01 a 03 meses</p>	<p>Mediterrâneo ou Nordestino Subseco</p>	25°C	5m	7°8'S	34°53'

Fonte: ATLAS DO ESTADO DA PARAÍBA (1985 *apud* CARVALHO 2006).

O clima de João Pessoa é caracterizado por fatores geográficos regionais como a localização em baixa latitude (7° em relação à linha imaginária do Equador) e a proximidade do Oceano Atlântico, que confere certa amenidade térmica.

A sua proximidade do Equador faz com que os efeitos da inclinação do eixo da Terra praticamente não se deixem sentir, impedindo-lhe de viver variações significativas do tempo ao longo do ano. Assim sendo, permanece sempre dentro da faixa correspondente aos ventos alísios de Sudeste, os quais, integrando o sistema de circulação atmosférica global, sopram, caracteristicamente, nos meses menos quentes com maior frequência e velocidade e que, somente com a chegada dos meses mais quentes, têm sua frequência alterada através dos ventos de Leste e de Nordeste, vindo das áreas equatoriais na corrente de deslocamento, em direção Sul da Zona de Convergência Tropical Interna. (SILVA, 1999, p. 29).

Na cidade de João Pessoa, o regime de ventos é predominantemente diário, característico de zonas costeiras, detectando-se maior frequência e direção entre os ângulos de 150° (25,7 %) e 180° (24,3 %) durante o ano (SILVA, 1999).

A localização geográfica próxima da linha do Equador e a grande variação da nebulosidade fazem com que, em João Pessoa, a quantidade de horas anuais de insolação seja bastante elevada, chegando a ter aproximadamente 3.000 horas de insolação por ano. Quanto à nebulosidade, esta apresenta uma grande variação entre céu claro e céu encoberto, atribuindo-se à cidade um índice de nebulosidade entre 5,5 a 6,5 numa escala de 0 a 10 (SANTOS, 2007).

Os dados coletados por Sobreira (2010) mostram a correlação entre o aumento de temperatura e a urbanização. A referida autora verificou que, em 1976, existia uma diferença de 0,5°C de amplitude térmica entre as estações microclimática do aeroporto (área pouco urbanizada) e do INMET localizada às margens da BR-230 (área que tem passado por processos de urbanização), onde foram encontradas as temperaturas de 25,9°C e 26,4°C, respectivamente. Em 2008, entre as mesmas estações existia uma diferença de mais de 1,6°C nas médias anuais de temperatura, 26,1°C e 27,7 °C, respectivamente.

A topografia da cidade pouco colabora para o resfriamento adiabático da temperatura do ar. A cidade é uma mancha urbana assentada sobre um relevo resultante de formas de acumulação e de dissecação de sedimentos.

As formas de acumulação com cotas variando entre 5 a 10 metros incluem: (1) Planícies Fluviais: áreas relativamente planas provenientes de depósitos fluviais sujeitos às inundações periódicas; (2) Planícies Fluvio-marinhas: superfície aplainada e originada da acumulação de depósitos fluviais e marinhos, com inundações periódicas, caracterizadas pela vegetação de mangue; e (3) Planície Marinha: área plana originada da acumulação

marinha, onde se encontra a vegetação de restinga. As formas de dissecação incluem: (1) Tabuleiros: baixos planaltos costeiros, com cotas variando entre 40 e 74m; e (2) Baixada Litorânea: vertentes com cotas variando 10 a 40m. (MARTINS, 2006, p. 54).

4.2. Legislação urbana

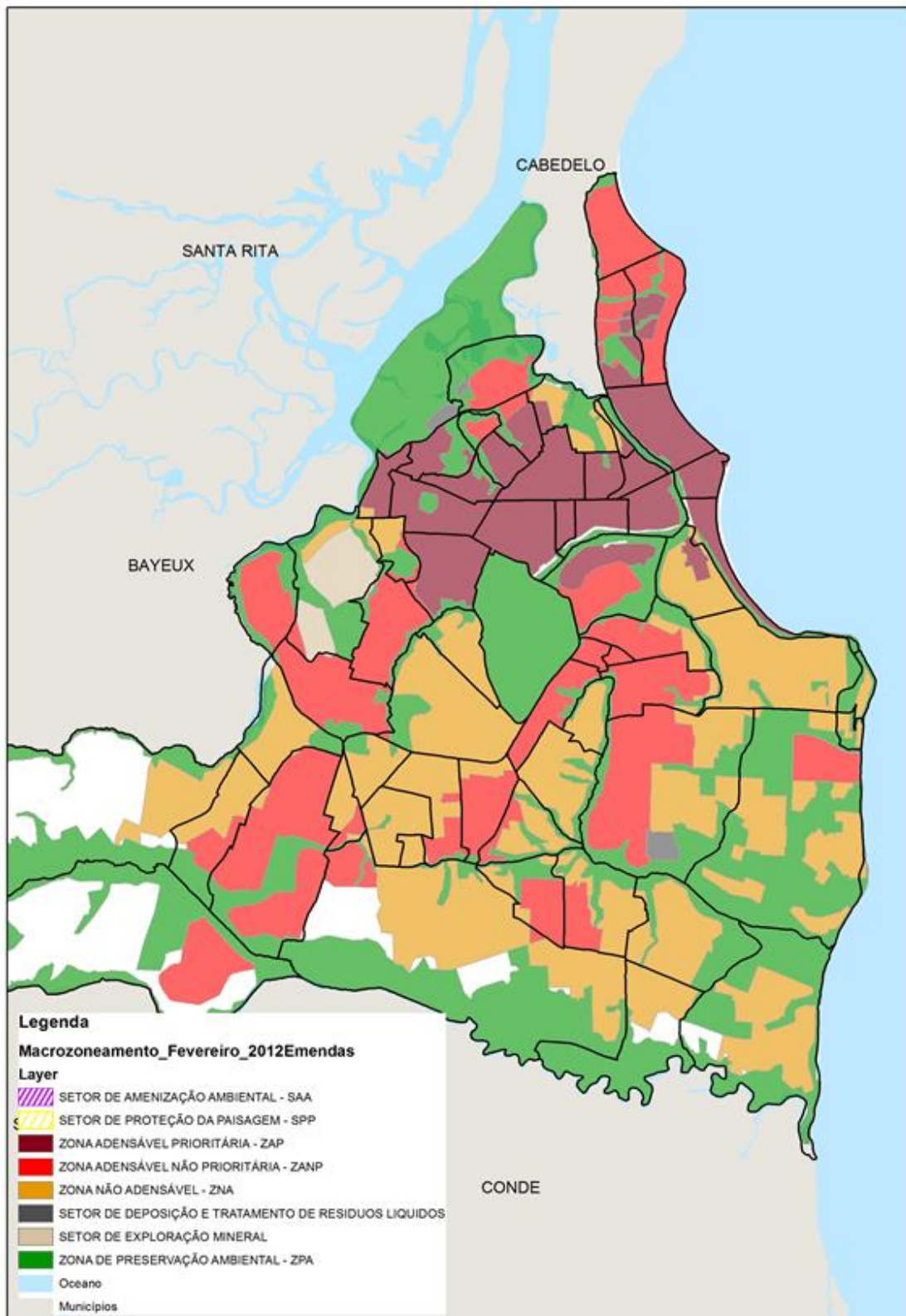
A legislação urbanística de João Pessoa, através do código de obras – Lei nº 1.347 de 27/04/1971; Código de Urbanismo⁶ - Lei n.º 2.102, de 31/12/1975 e o Código de Posturas - Lei complementar n.º 07, de 17 /08/1995, confere normas ordenadoras e disciplinadoras pertinentes ao planejamento físico do Município, tendo como finalidade assegurar o desenvolvimento físico da estrutura urbana, capacitando-a a atender plenamente as funções de habitar, trabalhar, circular e recrear, proporcionando também a vida social equilibrada e sadia. Os códigos impõem restrições fazendo referência a elementos como taxa de densidade demográfica residencial líquida, o índice de aproveitamento e a taxa de ocupação dos lotes, os afastamentos mínimos em relação às divisões dos lotes, as áreas de ventilação de cômodos e a reserva de espaços livres, entre outros.

O plano diretor de João Pessoa, segundo Silva (2009), aborda os principais instrumentos promotores da justiça social, tendo, por modelo base, o Plano Diretor de São Paulo, cujos instrumentos foram as prerrogativas do Movimento Nacional pela Reforma Urbana e, posteriormente, transformadas em lei com o Estatuto da Cidade. O Plano Diretor considera as exigências para o ordenamento e a gestão do espaço urbano, segundo o qual o uso e a ocupação do solo terão sua distribuição compatível com a infraestrutura e limitada à adequação das características físico-ambientais de forma a impedir a deterioração ou o desequilíbrio do ambiente. Assim, o município foi dividido em marazonas, conforme demonstra o mapa na Figura 17. (PLANO DIRETOR, 2012⁷).

⁶ O código de obras e de urbanismo regulam as relações jurídicas da competência do município de João Pessoa, referentes aos problemas de obras e urbanismo. Código de urbanismo integrante do plano diretor físico do município, suas normas são ordenadoras e disciplinadoras.

⁷ Anexo ao plano diretor 2012, disponível em <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/ANEXO-I-MAPA-1-DIVISAO-DE-ZONAS-A3-JANEIRO-2012.pdf> acesso 26 de novembro de 2012.

Figura 17: Mapa do macrozoneamento de João Pessoa-PB.



Fonte: Joao Pessoa (2012). Disponível para download em http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/mapas/macrozoneamento_2012.pdf

Segundo o plano diretor de João Pessoa - PB, o adensamento está condicionado a questões relacionadas à disponibilidade de infraestrutura básica, à rede viária e o meio ambiente permite a intensificação do uso e ocupação do solo na qual o índice de aproveitamento⁸ poderá ser até o limite de 4,0. Apesar dessas restrições no índice de aproveitamento, é possível que projetos de edificações excedam o índice de aproveitamento, esse excesso é outorgado de forma onerosa, possibilitando construir áreas superiores àquela permitida pelo índice de aproveitamento. (PLANO DIRETOR, 2008⁹). Quanto ao uso do solo, a legislação urbanística prevê uma divisão do território municipal em parcelas ou zonas, cujos terrenos, quadras, lotes, edificações e compartimentos, em suas áreas e espaços, ficam restritos a usos idênticos ou compatíveis entre si. Além da diferenciação de usos, as zonas diferenciam-se, entre si, pelo índice de aproveitamento e pela taxa de ocupação dos lotes e afastamentos mínimos em relação às divisas dos lotes.

O macrozoneamento considera quatro macrozonas, cada uma com suas especificidades:

Zona adensável prioritária – ZAP: é aquela na qual a disponibilidade de infraestrutura básica, a rede viária e o meio ambiente permitem a intensificação do uso e da ocupação do solo e o índice de aproveitamento básico poderá ser ultrapassado até o limite de 4,0 (quatro) (JOÃO PESSOA, 2008).

Zona adensável não prioritária – ZANP: nesta, a disponibilidade ou a falta de um dos sistemas da infraestrutura básica permite uma intensificação moderada do uso e ocupação do solo, e na qual o índice de aproveitamento único poderá ser ultrapassado até o limite de 2.0 (dois) (JOÃO PESSOA, 2008).

⁸ Índice de aproveitamento - Relação entre a área total de construção e a área ao terreno onde se situa a edificação.

⁹ Emenda complementar de adequação do plano diretor de 1992 ou estatuto das cidades <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/LC-054-DE-2008-Adequacao-do-Plano-Diretor-ao-Estatuto-da-Cidade.pdf> acesso 26 de novembro de 2012.

Zona não adensável – ZNA: é aquela onde a carência da infraestrutura básica, da rede viária e o meio ambiente restringe a intensificação do uso e ocupação do solo. Nela, o limite máximo de construção, a indicação das áreas para efeito da elevação do índice de aproveitamento básico até 1,0 (um). A indicação das áreas para efeito da elevação para até 2,0 (dois), mediante a consulta ao Conselho de Desenvolvimento Urbano – CDU. (JOÃO PESSOA, 2008).

Zona de preservação ambiental – ZPA: funciona como desacelerador da expansão urbana garantindo a preservação de paisagem singular e/ou de resquícios de Mata Atlântica, permitindo uma ocupação sustentável, priorizando usos característicos da zona rural. Essa zona contempla três instrumentos urbanísticos: Zonas de Preservação da Paisagem; Zonas Especiais de Preservação e Parques Urbanos. No caso específico do Setor de Proteção da Paisagem, localizado a Leste e Sul do território municipal, tem índice de aproveitamento máximo igual a 0,05 (JOÃO PESSOA, 2008).

Nas zonas existentes no zoneamento urbano de João Pessoa, há algumas diretrizes previstas no Estatuto da Cidade, que tratam da ordenação e do controle do uso e ocupação do solo de modo a evitar: utilização inadequada dos imóveis urbanos; proximidade dos usos incompatíveis; parcelamento do solo ou uso excessivo inadequado em relação à infraestrutura; instalação de empreendimentos ou atividades que possam funcionar como polos geradores de tráfego; poluição e degradação ambiental. BRASIL (2001). Percebe-se que, dentre esses aspectos, grande parte não está relacionada à questão climática, capazes de garantir o bem-estar dos cidadãos e a salubridade do espaço urbano. No entanto, efeitos como ilha de calor; trajetórias de ventilação; poluição do ar; conforto térmico; radiação e efeitos da ventilação não são citados claramente pelo documento.

4.3. Pesquisas climáticas na cidade

Melo (2009) e Assis (2007) observam que a relação entre o clima urbano e o planejamento das cidades continua sendo pouco abordada por legislações urbanísticas no Brasil, apesar de reconhecida a sua importância e os problemas causados na atmosfera urbana, diante do crescimento das cidades.

Com a aprovação da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, chamada de Estatuto da Cidade, foram definidas diretrizes gerais de política urbana nacional. Essas diretrizes tratam do planejamento do desenvolvimento da cidade, da distribuição da população, das atividades econômicas do município, de modo a evitar e corrigir distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente. As orientações definidas no Estatuto das cidades passam pela ordenação e controle do uso do solo urbano, a fim de evitar: a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos; b) a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes; c) excessos ou inadequação no parcelamento do solo, na edificação ou no uso em relação à infraestrutura urbana e d) a poluição e a degradação ambiental.

Para Carvalho (2006), das quatro orientações definidas no Estatuto das Cidades, três delas, (apesar de tratar a questão de maneira generalizada) estão diretamente relacionadas ao clima urbano. Segundo o autor:

“estudos nesta área dão a entender que a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes e os excessos ou inadequação no parcelamento do solo levam à formação de um clima urbano hostil, provocando, em consequência, o desconforto térmico, a poluição e a degradação ambiental. Ampliando a análise dos efeitos nocivos desses problemas, verifica-se que estes interferem, inclusive, no aumento do consumo energético (para climatização e iluminação de ambientes internos aos edifícios), na degradação física de edificações, mobiliário urbano e veículos e na saúde da população” (CARVALHO, 2006 p. 28).

No caso específico de João Pessoa – PB, a legislação urbanística apesar de fazer referência a aberturas e espaçamentos, não faz menção às peculiaridades do

clima urbano. O Plano Diretor - Decreto nº 6.499, de 20 de março de 2009, menciona apenas uma vez o termo microclima, porém esse termo foi usado para caracterizar a ocupação permitida pelo zoneamento existente no Setor de Amenização Ambiental – SAA, ao qual confere a seguinte redação:

Setor de Amenização Ambiental – SAA - são porções do território com objetivo de possibilitar o uso de áreas frágeis de forma sustentável, por meio de usos de atividades compatíveis, não poluentes, com ocupação de baixa densidade e alta permeabilidade do solo favorecendo o microclima e, priorizando os condomínios ecológicos e sustentáveis; (Plano diretor, 2009).

A cidade de João Pessoa – PB vem sendo objeto de estudo de algumas pesquisas que tratam do processo de urbanização e os impactos causados ao clima da cidade. Essas pesquisas têm constatado a forte influência dos efeitos da urbanização sobre a qualidade climática de João Pessoa – PB, principalmente da porção denominada orla marítima¹⁰.

Silva (1999) desenvolveu a Metodologia de Avaliação das Ações do Vento no Planejamento da Ocupação do Solo e do Padrão de Ventilação tendo como objetivo o conhecimento das condições de ventilação. O autor realizou experimentos em túnel aerodinâmico de camada limite atmosférica com modelos físicos devidamente escalados da situação existente de ocupação do solo e padrão construtivo. Posteriormente, foram acrescentados blocos para simular o total aproveitamento da área permitido pela legislação em vigor. As conclusões indicam que o escalonamento proposto por lei conduz à criação de uma verdadeira barreira à ventilação, direcionando-a para o alto, privilegiando, dessa forma, as primeiras avenidas da orla marítima em detrimento das subseqüentes, e favorecendo a criação de condições para o surgimento de ilhas de calor.

¹⁰ A Constituição do Estado da Paraíba (Art. 229), que norteia a Lei Orgânica (Art. 175) e o Plano Diretor de João Pessoa (Art.25), regulamenta a ocupação da faixa da orla marítima. Essa legislação prevê restrições (extensiva a todo o litoral paraibano) relacionadas ao controle do gabarito em altura dos edifícios. Essa porção corresponde a uma faixa linear de 500m medidos a partir da preamar de sizígia em direção ao interior do continente, onde o gabarito é escalonado, iniciando-se a 12,90m na primeira linha de lotes, à beira-mar, e chegando a até, aproximadamente 35m na última linha.

Peregrino (2005) avaliou de que forma o escalonamento dos ventos se inter-relaciona com os padrões de ocupação referentes ao adensamento vertical, segundo a legislação, existente nos bairros do Cabo Branco e Tambaú, utilizando ensaios em túnel aerodinâmico e a técnica de figuras de erosão de areia. Concluiu que o escalonamento induzido pela legislação vigente poderá causar danos irreversíveis à orla da cidade.

Guerra (2005), também utilizando as figuras de erosão de areia, verificou a influência do padrão de ocupação do solo no topo da falésia do Cabo Branco e concluiu que o escalonamento conduz à criação de uma verdadeira barreira à ventilação, direcionando-a para o alto, favorecendo o surgimento de ilhas de calor. Segundo a autora, a legislação não prevê tratamento diferenciado em termos urbanísticos para acidentes geográficos como as falésias e despreza o comportamento dinâmico do vento que é alterado pelo conjunto de edificações e da falésia.

Carvalho (2006) realizou um estudo com o objetivo de elaborar uma metodologia para a observação e análise climática que possibilite investigar como a urbanização influencia no clima local e é influenciada por ele. O autor adotou experimentos em túnel aerodinâmico, medições microclimáticas e análises estatísticas de correlação e de regressão lineares múltiplas. Os resultados encontrados na área de estudo (bairros da orla marítima- Tambaú e Cabo Branco) mostraram quanto o processo de urbanização tem modificado o clima da cidade de João Pessoa, formando ilhas de calor significativas e mostrando a fragilidade dos parâmetros de planejamento estabelecidos na legislação urbana vigente.

Sobreira (2010), objetivando identificar a correlação entre os dados de temperatura e precipitação com a expansão urbana da cidade de João Pessoa, entre as décadas de 1980 a 2000, aplicou, como metodologia, a coleta das séries históricas de dados de estação microclimáticas e comparou as temperaturas entre áreas com menor densidade, como no Aeroporto Castro Pinto em Bayeux, e adensadas como na estação do Laboratório de Energia Solar – LES, localizada na Universidade Federal da Paraíba e na estação do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situada às margens da BR-230. A autora constatou que a temperatura do

ar da cidade aumentou em decorrência da expansão urbana, pois os dados indicaram que à medida que a área da mancha urbana foi se expandindo houve concomitantemente um aumento da temperatura do ar no período estudado.

Assim, percebe-se que o modelo de ocupação, estabelecido pela legislação, tem provocado um comprometimento do ponto de vista da ventilação intraurbana, podendo prejudicar a dissipação de calor.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

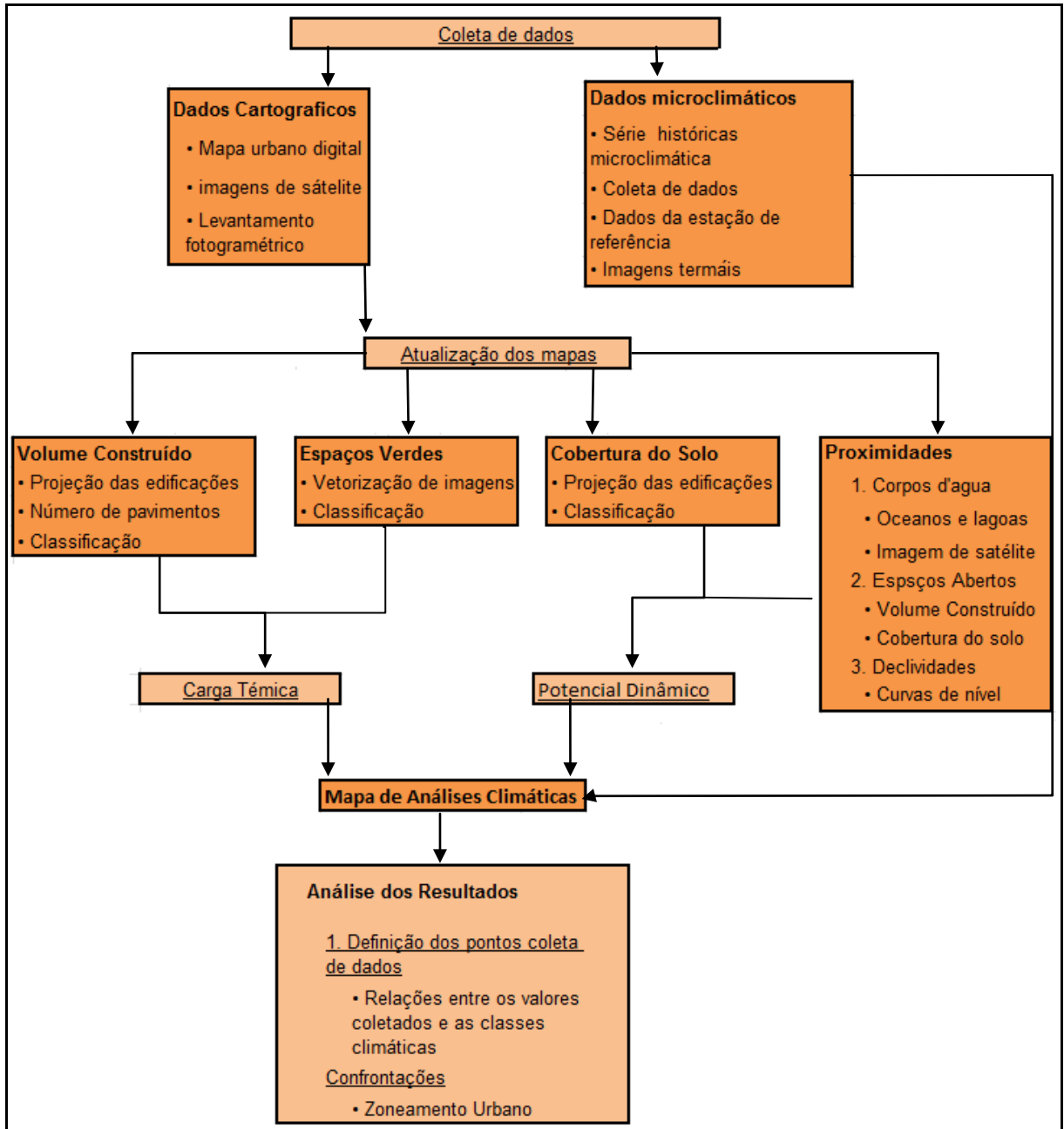
Nesta seção, descreve-se a metodologia aplicada para geração do mapa climático de João Pessoa – PB. O seu desenvolvimento está embasado em estudos antecedentes, levantamentos feitos em campo, aplicações de programas computacionais específicos e metodologias de geoprocessamento relacionadas ao uso do sistema de informações geográficas.

A presente pesquisa iniciou-se por uma atualização¹¹ do mapa desenvolvido por Souza (2010) e contou com uma análise e caracterização das camadas existentes. A caracterização climática deu-se com a construção das camadas (Mapas) que formaram o Mapa Climático Urbano da cidade. Com estas informações, procedeu-se à elaboração das camadas que serviram como critérios de análise da carga térmica e do potencial dinâmico, representadas pelos Mapas de Volume das Construções, de Espaços Verdes, de uso do solo e Proximidade a espaços abertos. A cada camada analisada foram atribuídos valores (classes) com base nos efeitos relacionados à carga térmica (elevação e arrefecimento da temperatura) e ao potencial dinâmico (ventilação).

Desse modo, foi possível identificar regiões da cidade quanto a sua sensibilidade climática e a sua importância no conforto térmico da população. Posteriormente, realizaram-se medições microclimáticas a fim de caracterizar climaticamente as classes representadas. A metodologia aplicada tem como referência a desenvolvida por Katzschner (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, 2008) (Figura 18).

¹¹ As recomendações de atualização apontam para revisões a cada quatro anos.

Figura 18: Metodologia da pesquisa



Fonte: Autor (2013)

5.1 Levantamento documental e coleta de Dados

Para a execução da pesquisa, utilizou-se de documentos cartográficos do município de João Pessoa, obtidos a partir da base cartográfica digital no formato *shapefile*¹² (.SHP) e imagens de satélites. Essas informações foram estruturadas no software ArcGIS, usando os arquivos disponibilizados pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura de João Pessoa (SEPLAN).

Os documentos cartográficos utilizados foram:

- Gabarito das edificações¹³ (baseado no Mapa digital de 1998 fornecido pela SEPLAN em formato CAD, e número de pavimentos coletados por Sousa (2010)).
- Mapa urbano digital (em formato SHP).
- Imagens de satélite do programa *Google Earth* (em formato JPG)¹⁴
- Levantamento Fotogramétrico de 2012.
- Imagens termais dos satélites Landsat e ASTER fornecidas pelo Serviço Geológico Americano

Os dados climáticos coletados foram:

- Dados pontuais de temperatura e de umidade do ar, coletados na malha urbana da cidade de João Pessoa. Os dados foram coletados entre os dias 25 e 27 de março de 2013.

¹² *Shapefile* ou simplesmente *Shape* é um formato de dado padrão para os softwares de SIG. Na realidade o *Shapefile* reúne vários arquivos para armazenar e associar informações geométricas, de localização e as informações sobre atributos, e pode descrever três geometrias espaciais: pontos, linhas e polígonos.

¹³ Gabarito das edificações contém a projeção das edificações utilizando dados do foto mosaico dos anos 2008/2009 programa Google Earth.

¹⁴ Utilizou-se o mosaico do ano 2011 programa Google Earth e posterior análise das imagens de 2013.

- Dados microclimáticos de velocidade e direção dos ventos, temperatura e umidade do ar, sensação térmica e nebulosidade, coletados da estação de referência Aeroporto Castro Pinto, coletados hora a hora para o período em que decorreu o levantamento de dados pontuais.

5.2 Descrição das etapas

O desenvolvimento da pesquisa consistiu das seguintes etapas de pesquisa:

Primeira etapa – Coleta de dados e atualização da base cartográfica

Para execução desta pesquisa foram utilizados dados de eixo de vias, lotes, quadras, limites dos bairros, projeção das edificações referentes à estrutura física do município de João Pessoa, obtidos a partir da base cartográfica digital (.SHP). Os dados de gabarito das edificações, de imagens de satélite e de aerofotocartas, entre outros, foram tratados objetivando a produção dos mapas referentes ao estudo de carga térmica e de potencial dinâmico da cidade.

Contudo, foi necessário levantar novos dados e atualizar os já existentes para 2012. Assim, essa etapa foi subdividida em duas fases:

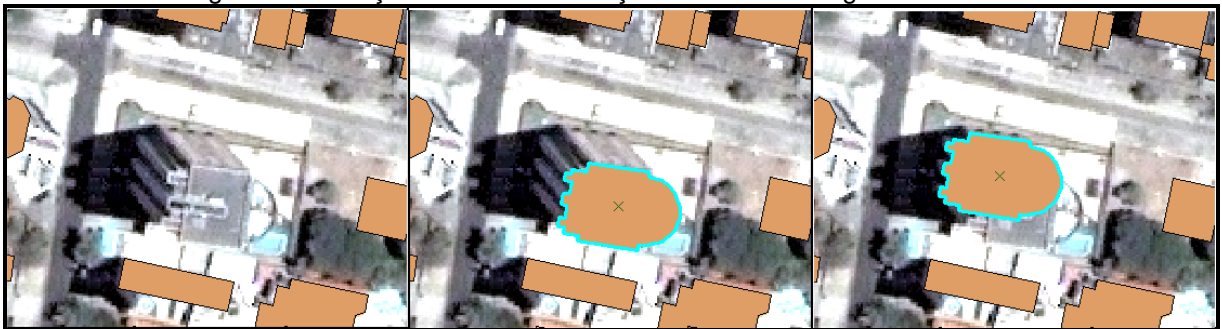
Fase 1: Inserção das projeções das edificações

Inicialmente, produziu-se uma série de mapas contendo quadras, lotes, nome de rua e a projeção das edificações, de forma que, em campo, fosse fácil perceber e localizar as edificações. Com os mapas em mãos, foram feitas inspeções *in loco*, nas quais foram observada a quantidade de pavimentos de cada edificação, bem como a existência de edificações que não constavam da base cartográfica fornecida.

Após a visita *in loco*, inseriram-se 24.540 novas edificações, cujo procedimento consistiu em utilizar as ferramentas de adição disponíveis no programa ArcGIS, para desenhar a geometria das edificações, a partir de imagens do levantamento fotogramétrico de 2012 realizado pela prefeitura de João Pessoa.

Na Figura 19, é possível perceber três momentos distintos que são adotados no processo de atualização da base cartográfica de João Pessoa – PB. No primeiro momento, nota-se a ausência da representação vetorial (na cor bege) do edifício; no segundo momento, o formato da edificação foi desenhado por meio das ferramentas de edição disponíveis no programa. Por fim, no terceiro momento, percebe-se que, na imagem as edificações estão em perspectiva, sendo, portanto inclinadas, faz-se necessário mover o desenho para a posição vertical.

Figura 19: Inserção de novas edificações utilizando imagens de satélite



Fonte: *Google Earth* adaptado pelo autor, 2013

O procedimento de atualização das edificações resultou na inserção de novas edificações e substituição de unidades residenciais por edifícios multifamiliares.

Fase 2: Levantamento das alturas das edificações

O número de pavimentos das edificações coletados foi associado à sua representação gráfica no arquivo *shapefile* de edificações. O valor referente à altura em metros, de cada edificação, foi obtido através da contagem de número de pavimentos multiplicado por 3m (três metros) que corresponde a um valor médio para a altura de cada pavimento.

Um sistema de informações geográficas foi utilizado por ter a capacidade de relacionar espacialmente dados cartográficos que são a representação da realidade, e dados não gráficos, chamados tabulares, que descrevem atributos dos elementos contidos no mapa.

Segunda etapa – Determinação das camadas que constituem o mapa de análises climáticas

Nesta etapa realizou-se a identificação, a classificação e a valoração de áreas que contribuem, de forma positiva ou negativa, no balanço de energia da cidade, segundo os aspectos da carga térmica e do potencial dinâmico. Para cada camada do sistema de classificação climática, foi desenvolvido um mapa temático representando os valores de classificação. Atualizou-se do mapa climático da cidade de João Pessoa construído a partir de quatro camadas, identificadas como: mapa de volume construído; mapa de espaços verdes; mapa de cobertura do solo e mapa de proximidades. Essa etapa dividiu-se em quatro fases:

Fase 1: Construção do Mapa de volume construído (Camada 1)

Para o mapa de volume construído foi necessário ter informações sobre a projeção de cada edificação (delimitação do perímetro) e do gabarito em altura das mesmas. O volume construído foi calculado matematicamente pelo SIG, utilizando a área da edificação multiplicada por sua altura, cujo valor encontrado foi graduado em porcentagem, adotando-se 100% como o maior volume construído na área de estudo.

Com a informação do volume construído, procedeu-se à identificação de áreas com significativo adensamento urbano. A concentração elevada de edifícios altos pode implicar em um maior armazenamento de calor e redução do escoamento dos ventos, contribuindo para a elevação dos efeitos adversos da carga térmica, podendo refletir no aumento da temperatura local. Essas áreas, com forte adensamento e, conseqüentemente, elevado volume de construções receberam valores de classificação positivo. Áreas com pouco ou nenhum adensamento receberam valor nulo.

Desse modo, adotaram-se os seguintes procedimentos:

a. Arquivos de entrada:

i. Arquivo de Edificações (edificacoes.shp).

b. Passos adotados:

1. Converter o arquivo de edificações para o formato raster (Apêndice B) com resolução de 1m X 1m;
2. Multiplicar pela altura em metros das respectivas edificações;
3. Agregar o resultado do procedimento anterior (*aggregate tools*) em um arquivo do tipo raster com resolução de 100m X 100m, utilizando a opção de soma;
4. Determinação das classes representadas no mapa, o maior valor de volume construído encontrado recebe o valor proporcional de 100%. Os valores foram proporcionais divididos em cinco classes (0, 0 a 4%, 4% a 10%, 10% a 25 %, e 25% a 100%);
5. Identificaram-se as áreas pavimentadas com mais de 100m X 100m, para adicionar mais uma classe ao mapa de volume construído. Essa classe recebeu o valor “1”.

As classes no mapa, resultante do passo quatro, receberam o valor da seguinte maneira: a classe de valor “0” (onde não há nenhuma construção, representando nenhum impacto na carga térmica); a classe “1” (área pavimentada, representando impacto na carga térmica muito baixo); classe com valor “2” (0-4% de volume construído, representando baixo impacto na carga térmica); a classe “3” (10-25% de volume de construção, representando médio impacto na carga térmica); “4” (10-25% de volume construído, representando alto impacto na carga térmica) e “5” (25-100% de volume construído, representando impacto muito alto na carga térmica).

Fase 2: Construção do Mapa de espaços verdes (Camada 2)

A construção deste mapa visou à identificação de áreas verdes da cidade que poderão contribuir com a redução da carga térmica. A vegetação detectada no meio urbano pode reduzir a temperatura do ar local, principalmente em seus arredores, devido a aspectos como sombreamento, evapotranspiração e absorção da radiação solar. Desta forma, a sua contribuição com a elevação da carga térmica da cidade é considerada negativa.

Para a produção do mapa, foram utilizados dados da localização geográfica da vegetação da cidade obtidos do Mapa Urbano Digital e de imagens de satélite. Adotou-se uma classificação supervisionada, técnica que permite vetorizar elementos presentes em imagens, em especial as de satélite. Essa classificação é um processo de extração de informação de dados matriciais, utilizado dentro do Sensoriamento Remoto como uma forma de mapear as áreas a partir de seu comportamento espectral do alvo em estudo. Com esse processo, mapeou-se a vegetação existente, permitindo identificar de forma automatizada, florestas, matas, bosques e vegetação presente nas ruas e nos lotes. Definiu-se que a classe com o valor “0” seria para as áreas onde não existe vegetação e a classe com valor “-1” para as áreas verdes.

Procedimentos realizados no SIG:

a. Arquivo de entrada:

- i. Arquivo *shapefile* de áreas verdes (*areas_verdes.shp*).
- ii. Imagem de satélite (*imagem_quickbird.tiff*).

b. Passos adotados:

1. Criou-se um arquivo com as respostas espectrais de trechos com vegetação existentes na imagem de satélite, usando a função que

- permite criar assinaturas espectrais (*Create Signatures*) para extrair as áreas verdes existentes na imagem;
2. Converter o arquivo gerado para a resolução de 10m X 10m, visando identificar a vegetação existente nas ruas e nos lotes;
 3. Definição das classes com o “0” onde não existe vegetação e “-1” para as áreas verdes.

Fase 3: Mapa de Cobertura do Solo (Camada 3)

Apesar de haver uma relação estreita entre o clima urbano e a distribuição das tipologias residenciais, comércios, serviços, instituições e indústrias, dentre outras, o que se pretende com esta camada é obter uma análise da superfície do solo quanto á sua rugosidade e porosidade frente à permeabilidade dos escoamentos do vento. Os estudos em cidades altamente adensadas, como em cidades japonesas e apontados no mapa climático de Hong Kong, demonstram uma relação inversamente proporcional entre locais com construção aglomerada de prédios e a velocidade do vento (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, 2008), pois, o potencial de ventilação de uma área é inversamente proporcional à cobertura do solo, ou seja, uma região com um alto índice de terrenos ocupados por edificações poderá ter baixo potencial de ventilação.

Para tanto, para geração dessa camada foram aproveitadas, as informações de ocupação do solo da cidade de João Pessoa, presentes no Mapa urbano digital e no arquivo de projeção das edificações. Dessa forma, identificaram-se as áreas urbanas com uma alta taxa de ocupação e elevado índice de impermeabilidade aos ventos. O aumento da densidade urbana contribui para a redução da velocidade do vento, e, conseqüentemente, tende a elevar a temperatura do ar na região.

O Mapa de Cobertura do Solo é obtido da seguinte maneira:

a. Passos adotados:

- i. Arquivo *shapefile* de Edificações (edificacoes.shp).

b. Arquivo de entrada:

1. Geração de uma grade quadricular de 100m X 100m, através do *spatial analyst*;
2. Cálculo da cobertura do solo por quadrícula usando os dados de entrada;
3. Cálculo da porcentagem da área ocupada pelas edificações;
4. Conversão do resultado para um arquivo raster de 100m x 100m de resolução;
5. Definição das classes com os seguintes intervalos percentuais de ocupação: 0–30%, 30–50% e >50%. A valoração das classes obedeceu ao critério de quanto maior a área de cobertura do solo, menor o valor de potencial dinâmico.

Fase 4: Construção do Mapa de proximidades (Camada 4)

Elementos como corpos d'água, espaços abertos e encostas favorecem as áreas urbanas próximas a eles, pois os ventos provenientes desses lugares podem mitigar os efeitos nocivos da carga térmica. Para cada um desses elementos, um mapa foi construído a fim de identificar regiões que promovem a circulação de ar e as regiões que são beneficiadas pelos ventos. Assim, obteve-se as subcamadas de corpos d'água, espaços abertos e encostas.

Pelo sistema de classificação climático proposto no *Department of Architecture* de Hong Kong, as áreas distantes até 140 metros de corpos d'água são beneficiadas pela ventilação, sendo os 70 metros mais próximos considerados ainda mais benéficos. O mapeamento dessas distâncias resultou na subcamada de Corpos d'água.

Procedimentos realizados no SIG:

a. Arquivo de entrada:

- i. Arquivo *shapefile* de oceano (corposdagua.shp).
 - ii. Imagem de satélite.
- b. Passos adotados:
1. Converter o arquivo de edificações para o formato raster (Apêndice B) com resolução de 1m X 1m;
 2. Selecionar a linha de costa da cidade João Pessoa;
 3. Usar a função área de influência (*buffer*) com os valores 70m e 140m gerando dois arquivos *shapefile*;
 4. Inserir nos arquivos gerados pelo *buffer* de 70m e 140m o valor da classificação, “-2” e “-1”, respectivamente. (Ferramenta *add field*);
 5. Usar a imagem de satélite para mapear os corpos d’agua¹⁵ existentes (lagoas);
 6. Repetir os passos 3 e 4 para o arquivo referente às lagoas existentes;
 7. Unir, através da ferramenta “*merge*”, todos os arquivos gerados;
 8. Converter o arquivo *shapefile* para o arquivo raster de 100m X 100m.
 9. Definir as classes, com a valoração obedecendo aos critérios de distâncias de 0-70m, de 70-140m e superior a 140m.

Os ventos provenientes de espaços urbanos abertos, tais como: parques, campos e áreas pouco adensadas - podem reduzir a temperatura do ar em áreas intraurbanas. Pela metodologia aplicada em Hong Kong, as áreas da cidade que obtiveram volume construído menor do que 5% na Camada 1 (um) e cobertura de

¹⁵ Na camada de Corpos d’agua, foi desconsiderada a presença de rios e córregos, pois, estes não têm dimensões suficientemente grandes para serem representados em um pixel de 100m X 100m.

solo menor do que 5% na Camada 3 (três) foram classificadas como espaços urbanos abertos. Ainda pela metodologia proposta, a ventilação oriunda desses espaços pode beneficiar as regiões da Camada 4 (quatro) com ocupação menor do que 30 %. Para as análises da subcamada de Espaços Abertos, fez-se necessário a delimitação de espaços urbanos abertos e das regiões beneficiadas, adotando o seguinte critério: as áreas identificadas foram consideradas beneficiadas pela proximidade de espaços abertos recebendo o valor “-1” e as demais receberam o valor “0”.

Para as análises da subcamada de Espaços Abertos, fez-se necessária a delimitação de espaços urbanos abertos e das regiões beneficiadas por eles. Esses espaços foram obtidos da seguinte maneira:

a. Arquivo de entrada no SIG:

- i. Mapa de volume construído
- ii. Mapa de cobertura do solo

b. Passos adotados:

1. Seleção dos espaços urbanos abertos definidos pelas regiões com menos de 5% de volume construído e com menos de 5% de cobertura do solo;
2. Seleção das áreas com cobertura do solo maior que 30%;
3. Utilização de cálculos de vizinhança (*neighborhood statistics*) para identificar, na imagem, os pixels vizinhos à seleção feita no procedimento “1” (um);
4. As áreas identificadas no passo anterior foram consideradas beneficiadas pela proximidade de espaços abertos recebendo o valor “-1” e as demais receberam o valor “0”.

A subcamada de Encostas é gerada utilizando informações das curvas de nível. As áreas com inclinação superior a 40% e inseridas em áreas verdes, também

devem ser selecionadas e classificadas como benéficas ao potencial dinâmico. Assim, foram adotados os seguintes procedimentos no SIG:

a. Arquivo de entrada:

- i. Arquivo *shapefile* de curvas de nível com cotas a cada um metro (curvas_de_nivel.shp).

b. Passos adotados:

1. Gerar um arquivo do tipo TIN (Triangular Irregular Network – Rede Triangular Irregular) utilizado para modelos de relevo, através da ferramenta *Create/Modify TIN*;
2. Converter o arquivo para o formato raster com resolução de 1m X 1m;
3. Usar a função *Slope* para gerar o mapa de declividade com a opção porcentagem;
4. Classificar os dados usando o valor “-1” para inclinações superiores a 40% e “0” (zero) para as demais inclinações;
5. Selecionar as encostas inseridas em áreas verdes;
6. Converter o resultado para um arquivo no formato raster com resolução de 100m x 100m.

Terceira etapa – Mapa de Análises Climáticas

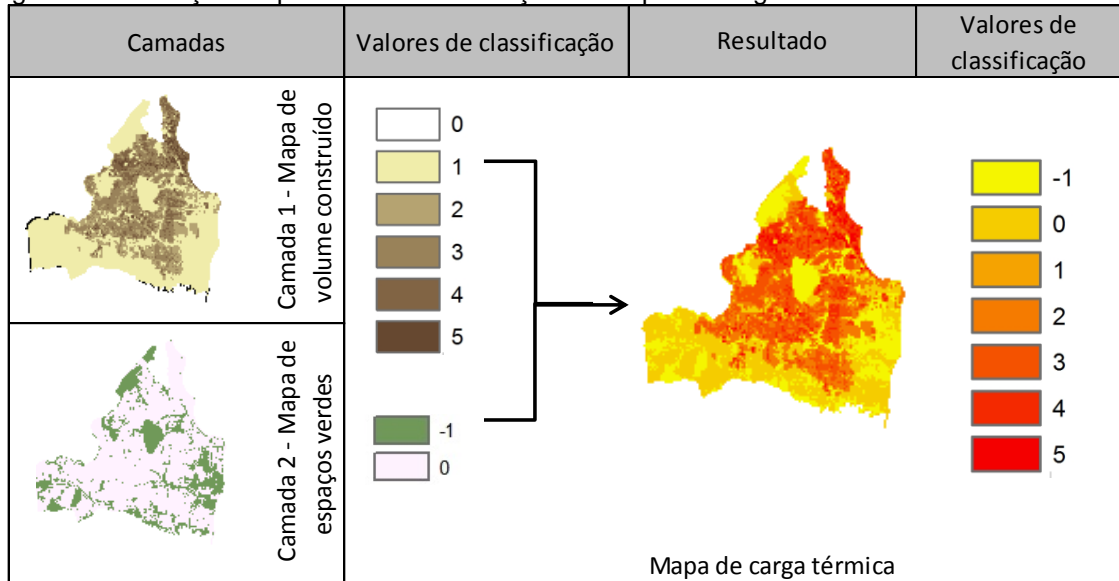
Essa etapa contou com duas fases:

Fase 1: Mapa de carga térmica e Mapa de potencial dinâmico

Na primeira delas utilizou-se do programa de SIG para realizar operações computacionais relacionadas à álgebra de mapas para produzir o Mapa de Análises. Pela adição dos valores de classificação específicos das duas primeiras camadas da

etapa 2 (camada 1 e camada 2), uma nova camada será gerada, com novos valores de classificação que produzem o Mapa de carga térmica da cidade (Figura 20).

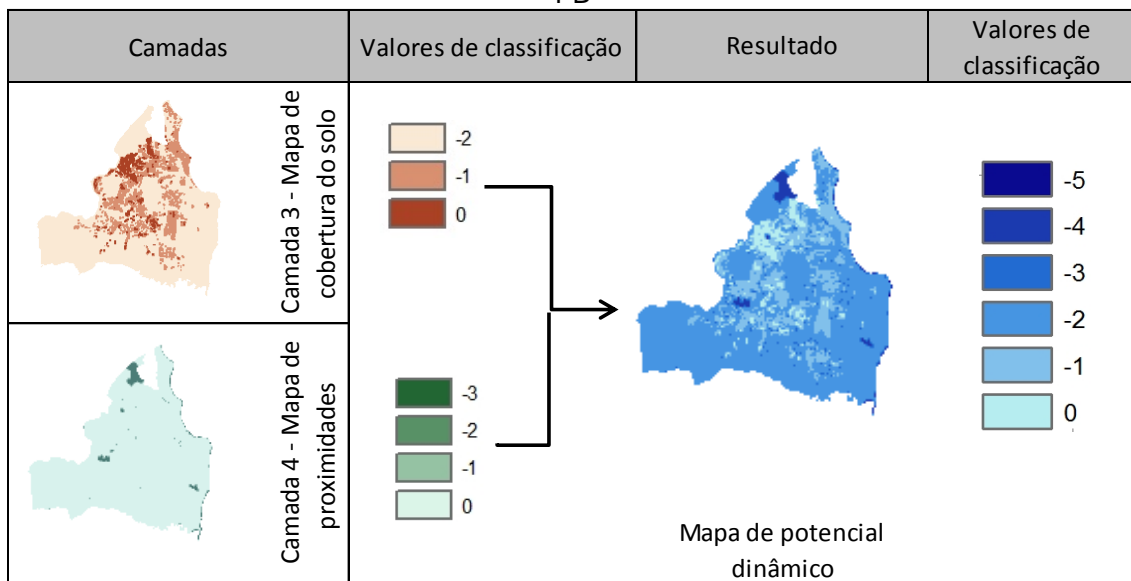
Figura 20: Ilustração do processo de construção do Mapa de carga térmica de João Pessoa – PB



Fonte: Autor (2013).

De modo similar, o Mapa de potencial dinâmico foi elaborado pela adição dos valores de classificação específicos das duas últimas camadas da etapa 2 (camada 3, e camada 4), (Figura 21).

Figura 21: Ilustração do processo de construção do Mapa de potencial dinâmico de João Pessoa – PB

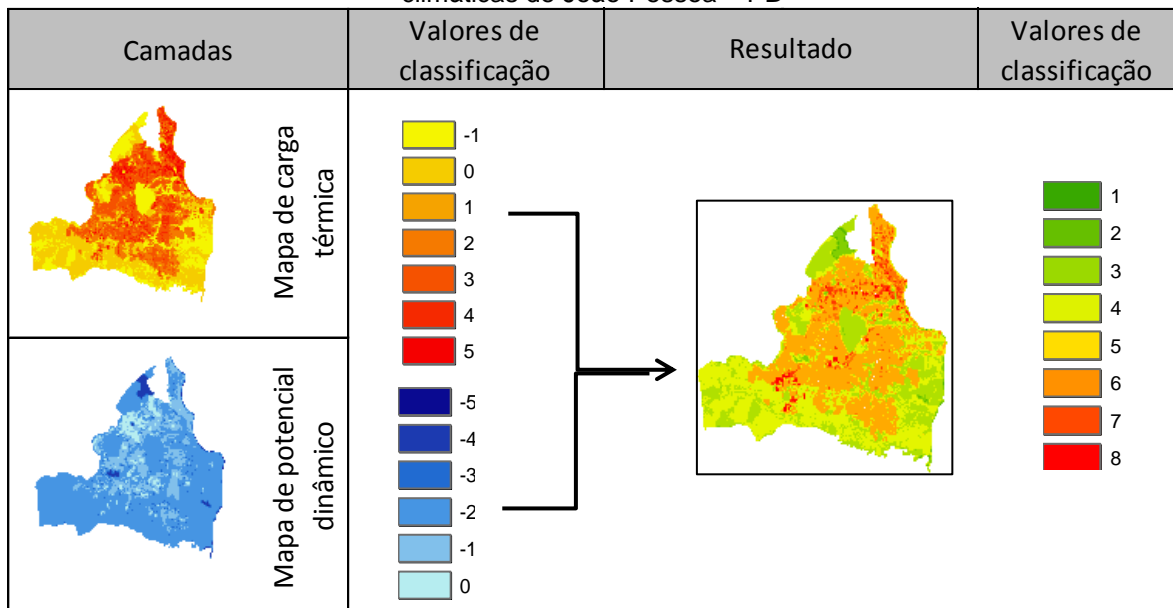


Fonte: Autor (2013).

Fase 2: Sobreposição dos Mapas de carga térmica e de potencial dinâmico

Na segunda fase, com o resultado da operação algébrica de soma (sobreposição) dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico chegou-se ao mapa com oito classes climáticas urbanas, apresentadas numa gradação de cores partindo do verde ao vermelho. Assim, atualizou-se o Mapa desenvolvido por Souza (2010). Com tal mapa, foi possível identificar as classes climáticas que representam áreas da cidade com características semelhantes do ponto de vista do clima urbano. Tal identificação foi útil para a determinação dos pontos de análise e medições de uma série de dados microclimáticos (Figura 22).

Figura 22: Ilustração do processo de sobreposição de camadas para construção do Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB



Fonte: Autor (2013).

Sobre esse mapa, é importante destacar que as camadas de topografia e espaços naturais existentes na metodologia empregada em Hong Kong e na primeira versão do mapa climático de João Pessoa foram suprimidas. A primeira camada desconsiderada se refere às características de relevo existentes nas cidades analisadas. Diferentemente de João Pessoa, é justificada para Hong Kong que tem grandes diferenças de cotas altimétricas, considerando que essa característica contribui para a redução da carga térmica. Sabe-se que o efeito do

resfriamento adiabático da temperatura do ar, pela elevação da altitude, toma como parâmetro o gradiente vertical de $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Em João Pessoa, não há essa característica, pois a sua topografia é predominantemente tabular com cotas altimétricas inferiores a 50m em mais de 90% do território municipal. Optou-se também por remover a camada denominada de paisagem natural, que trata dos dados referentes à vegetação rasteira e às áreas descampadas com presença de grama, pastos e campos abertos, uma vez que alguns desses elementos ou não existem ou já foram incluídos em outros mapas.

Quarta etapa – Definição dos pontos de coleta de dados microclimáticos

Na quarta etapa, foram determinados pontos para análise e medições de uma série de dados microclimáticos. Essa etapa permitiu um detalhamento dos aspectos da carga térmica e do potencial dinâmico da área estudada.

Procedeu-se à análise do Mapa de Análises Climáticas sobre o qual elegeram-se pontos nos quais foram feitas as medições microclimáticas, objetivando verificar o comportamento climático nas oito classes climáticas definidas no mapa.

A quantidade de pontos dependeu da disponibilidade de equipamento para fazer as medições. Optou-se por selecionar uma amostra de oito pontos para análises microclimáticas, definidos a partir do delineamento de dois eixos (Norte-Sul e Leste-Oeste) e que esses eixos cruzassem todas as oito classes climáticas, para que, assim, em cada classe climática existisse um ponto de medição.

A confirmação de cada ponto foi feita através de visita *in loco*, onde foram observados outros detalhes como viabilidade técnica.

Quinta etapa – Medições microclimáticas

Na amostra de pontos selecionada realizaram-se medições de séries de dados de temperatura, de umidade relativa do ar, a fim de se verificar o comportamento das temperaturas ao longo do dia. Utilizando para isso, oito

equipamentos armazenadores de dados (*data loggers*) do tipo HOBO, modelo U10, (Figura 23), com as seguintes especificações:

- Sensor de umidade relativa do ar medindo entre 5% e 95% RH com precisão de +/- 2.5% entre 10% e 90%. carga térmica.
- Sensor de temperatura medindo entre -20°C e 70°C com precisão de +/- 0,35°C.

Como as medições foram em ambiente externo, utilizaram-se abrigos protetores contra radiação solar direta. Esses abrigos são caixas na cor branca, com aberturas (aletas) para possibilitar a ventilação no seu interior.

Os referidos equipamentos foram instalados mediante requerimento à concessionária de distribuição elétrica local. A mesma responsabilizou-se pela instalação dos equipamentos em postes da rede de distribuição elétrica a uma altura de, aproximadamente, 5 metros do solo. Os HOBOS foram programados para registrar as informações em intervalos de 1 hora. Os valores armazenados foram transferidos para um computador através do programa *HOBOWare (Software for HOBO U-Series Data Loggers & Devices)*.

Figura 23: Equipamento (data loggers) do tipo HOBO e instalação



Fonte: Autor (2013) a) HOBO; b) Equipamento do abrigo; c) Equipamento e abrigo; d) Instalação no poste.

As medições microclimáticas foram feitas durante dois dias. Cada aparelho foi programado para armazenar em sua memória interna os dados de temperatura e

de umidade do ar. Esses registros foram realizados de forma simultânea em todos os equipamentos. Porém, devido ao tempo de deslocamento, instalação e retirada de todos os equipamentos utilizou-se apenas o período em que todos os equipamentos estavam instalados. Assim foi utilizado o intervalo entre as 11h do dia 25/03 e 07h do dia 27/03.

De forma simultânea foram coletados os registros dos dados de hora a hora, medidos na estação de referência localizada no Aeroporto Internacional Castro Pinto, disponíveis na internet¹⁶.

Todos os dados foram transportados para uma planilha eletrônica formulada no software Excel, formando um banco de dados para o tratamento estatístico. Desse tratamento se obteve os valores médios, máximos etc. Em seguida foram elaborados gráficos para melhor visualização dos dados, a seguir.

Sexta etapa – Constatações e Conclusão

Finalmente, os dados registrados durante as medições em campo e os obtidos da metodologia de mapeamento foram confrontados com o macrozoneamento da cidade de João Pessoa e com as imagens termais, dividindo-se esta etapa em três fases:

Fase 1: Correlação

A análise do clima urbano é complexa devido às variáveis que o contempla. A adoção dos mapas temáticos que compõem essa metodologia permite que as variáveis que compõem o Clima Urbano sejam observadas de forma simultânea. Assim, uma análise das relações entre clima e as classes climáticas tem sido

16 Os registros hora a hora da estação de referencia são disponibilizados no dia posterior na Internet pelo site:< <http://www.weather.com>>. Consultado em 2013

através de métodos estatísticos de correlação linear de Pearson¹⁷ objetivou verificar, quantitativamente, se existe associação entre as classes do Mapa de Análises Climáticas e os dados microclimáticos nos pontos anteriormente medidos.

Fase 2: Macrozoneamento Urbano

Na quarta etapa, os resultados do Mapa de Análises Climáticas foram comparados com o macrozoneamento estabelecido pelo Plano Diretor de João Pessoa – PB (JOÃO PESSOA, 2008) visando, debater a ocupação do solo e a qualidade climática do município.

Fase 3: Imagens Termiais

Utilizou-se de imagens termiais do satélite *Landsat* e do sensor *Aster* fornecidas pelo Serviço Geológico Americano, a fim de buscar identificar a aproximação entre o Mapa de Análises Climáticas e o uso do sensoriamento remoto, assumindo-se que áreas que apresentaram maiores temperaturas superficiais correspondem a áreas propícias à geração de ilhas de calor.

17 O coeficiente de correlação, simbolizado pela letra "r", pode variar de -1 a +1. Nesta pesquisa, tomar como referência a escala proposta por Levin (1977 *apud* CARVALHO 2006). Há ausência de correlação quando o coeficiente "r" for igual a zero; quando "r" = 0,10 (correlação fraca); r = 0,50 (correlação moderada); r = 0,95 (correlação forte); 1 = correlação perfeita.

6 RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os principais resultados dos procedimentos desenvolvidos na metodologia. Inicialmente, foram caracterizadas as camadas que formam o Mapa de análises climáticas. A partir desse, realizou-se medições microclimáticas e posterior análise comparativa do Mapa de análises com o macrozoneamento da cidade de João Pessoa – Paraíba.

6.1. Caracterização das classes mapeadas

Nesta seção, são analisadas as camadas (mapas) que formaram o Mapa de análises climáticas da cidade de João Pessoa, utilizando como critérios a análise da carga térmica e do potencial dinâmico.

6.1.1. Camada 1 - Mapa de Volume Construído

A geometria urbana tem uma complexa influência no microclima urbano. Em geral, numa área urbana com alta densidade, pode ocorrer uma redução do escoamento dos ventos, que contribuem para diferenças na temperatura do ar no ambiente intraurbano. Além disso, altas densidades também reduzem o fator de visão do céu - FVC, que é um dos responsáveis pelo retardamento no resfriamento das cidades, e é apontado como a principal causa geradora da ilha de calor noturna, isso porque as edificações bloqueiam a radiação de ondas longas que são liberadas na atmosfera. Assim, o processo de resfriamento na cidade é mais lento do que em seus arredores. Em resumo, quanto maior a densidade de volume construído, maior tende a ser a capacidade de armazenamento de calor.

Em climas quentes e úmidos como o de João Pessoa – PB, as características climáticas presentes em regiões de alta densidade são vistas como negativas, pois levariam a atingir um nível elevado de estresse térmico. Um aliado para atenuar o efeito desse estresse térmico são os ventos, mas a existência de

muitas edificações com altos volumes construídos e com poucos espaçamentos entre elas altera a configuração de ventos locais.

Embora haja uma relação estreita entre as atividades desenvolvidas na cidade e as consequências destas sobre o clima urbano, o que se pretende na camada de volume construído é perceber que a maior concentração de atividades antropogênicas, a grande concentração de massa construída e as altas densidades resultam em uma maior concentração de calor e, como consequência, temperaturas do ar mais elevadas.

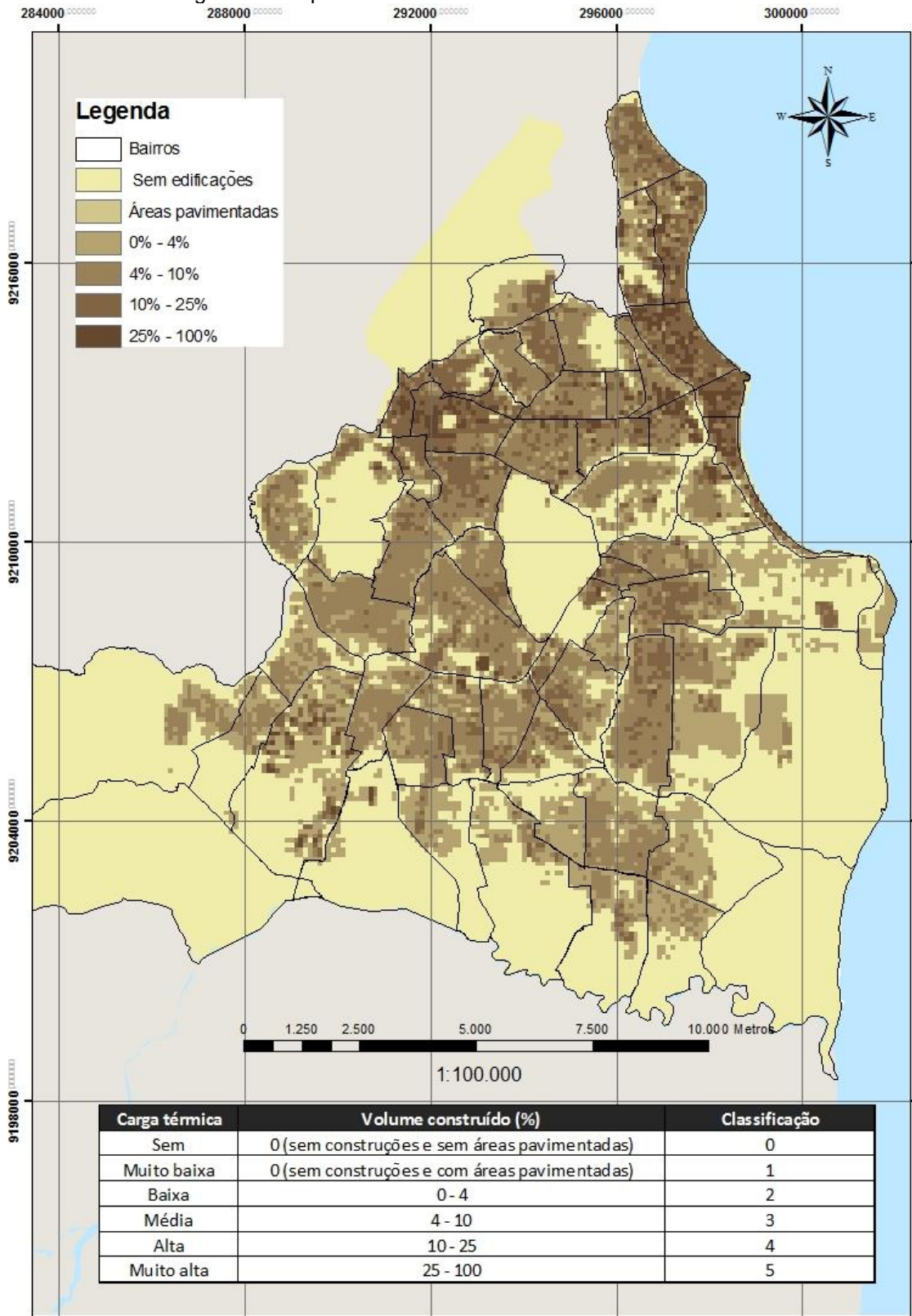
Em João Pessoa – PB, o uso do solo é diversificado. Há ocorrência de uso residencial, industrial, comércio/serviço e institucional, sendo o uso residencial predominante. Quanto ao adensamento (ver mapa de uso do solo na Figura 28), este é concentrado de acordo com a distribuição de renda e é espacializado no mapa da cidade da seguinte maneira: o adensamento é prioritário nos bairros dotados de infraestrutura urbana e reconhecido pelo mercado imobiliário, abrigando cerca de 26% da população da cidade (dados com base no censo demográfico IBGE 2010); o adensamento não é prioritário nos bairros de renda média e baixa, caracterizados por serem bairros mais antigos ou conjuntos habitacionais, abarcando outros 26% da população; o adensamento não é prioritário nos bairros de renda mais baixa ou naquelas áreas de expansão urbana recente, ao sul da cidade, onde há a presença dos novos loteamentos. Esse bloco aglomera 47% da população.

Outros usos se fazem presentes no contexto urbano da cidade, em menor escala, mas de grande expressividade sendo representados no zoneamento urbano são eles os usos industriais, comerciais e serviço. A concentração das atividades de comércio e serviço, de pequeno, médio e grande porte, formais e informais, dá-se especialmente no bairro do Centro, mas também acompanha as margens dos grandes corredores de tráfego. Há ainda concentração de comércio e serviços em bairros como Torre, Mangabeira e naqueles localizados na orla. Nessas áreas de centralização de atividades comerciais e serviços, assim como nas áreas de maior concentração de massa edificada, maiores são as chances de alterações climáticas inadequadas à habitabilidade do ambiente e do usuário.

Para produzir o mapa de volume construído, foram necessárias informações da projeção de cada edificação (delimitação do perímetro) e do gabarito em altura das mesmas. Esses valores, quando multiplicados dentro dos sistemas de informações geográficas resultam em valores de volume, no mapa de volume construído representado na Figura 24.

Depois de calculados os volumes estabeleceu-se que o maior valor encontrado corresponderia ao valor proporcional de 100%. Os valores proporcionais foram divididos em cinco classes (0, 0% a 4%, 4% a 10%, 10% a 25% e 25% a 100%). Com a adição de uma classe extra, com as áreas impermeáveis, chegou-se a seis classes que receberam, de acordo com a metodologia, os valores de 0 (zero) a 5 (cinco).

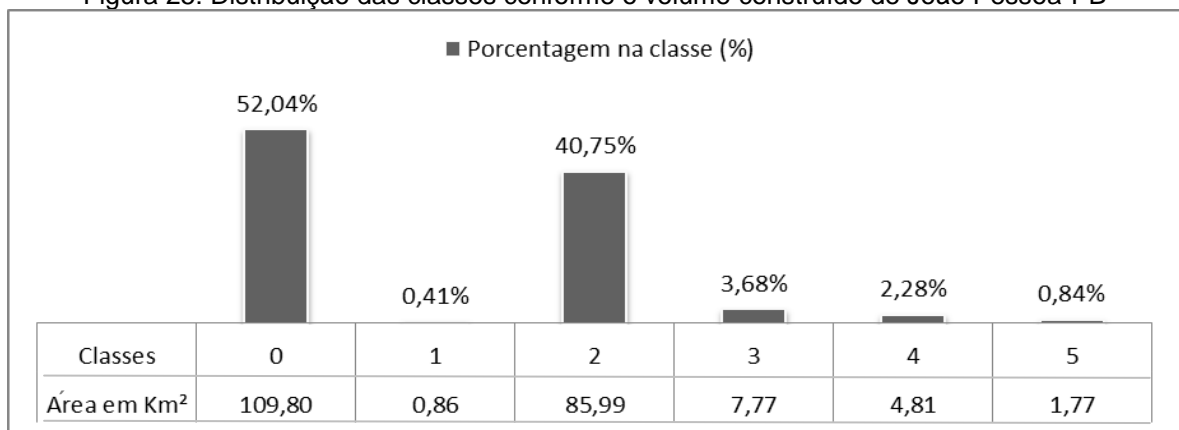
Figura 24: Mapa de volume construído de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

Com o Mapa de Volume de Construído, foi possível identificar as áreas correspondentes a cada uma de suas classes. Na Figura 25, pode-se observar que 52,04% do território municipal de João Pessoa está enquadrado na classe de valor 0 (nenhuma construção); as classes 1 (área pavimentada) e 2 (0-4% de volume construído) correspondem a, respectivamente, 0,41% e 40,75%; a classe 3 (10-25% de volume de construção) corresponde a 3,68% de toda a superfície do solo. Por último, as classes 4 (10-25% de volume construído) e 5 (25-100% de volume construído) representam, juntas, 3,12% da área da cidade. Assim é possível constatar que 47,55% do território municipal estão ocupados por edificações.

Figura 25: Distribuição das classes conforme o volume construído de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

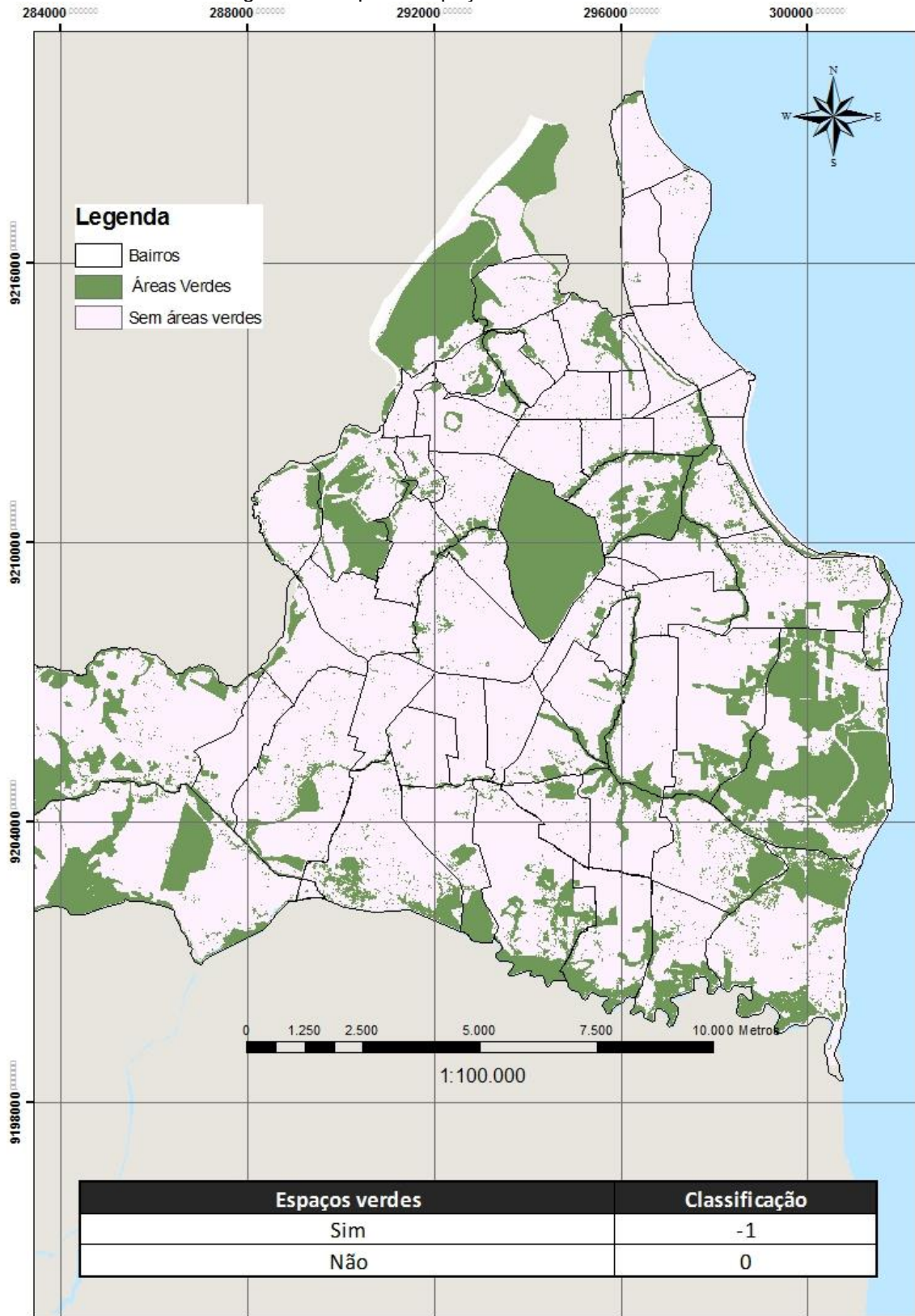
As análises dos dados atualizados no mapa de volume construído apontam para uma malha urbana caracterizada, sobretudo, por uma distribuição horizontal do tecido urbano e um adensamento vertical em determinadas porções da cidade.

6.1.2. Camada 2 - Mapa de espaços verdes

As áreas verdes urbanas são relevantes por atuarem como moderadores climáticos. Em cidades de clima quente e úmido, onde a temperatura é alta durante todo o ano, como João Pessoa – PB, as áreas verdes tornam-se fundamentais na busca da amenização climática, pois contribuem para minimizar a sensação térmica. A vegetação proporciona o sombreamento, criando um microclima que influencia de forma positiva na amenização dos efeitos térmicos no entorno próximo. Além disso, esses espaços contribuem para a absorção da radiação solar, irradiando menor quantidade de calor, gerando certo grau de conforto e desconforto ambiental das cidades. Por isso, os espaços verdes receberam um valor de classificação negativo (-1) e as demais áreas foram classificadas com um valor nulo (0), conforme a Figura 26.

Ao analisar a distribuição espacial destas áreas em João Pessoa, nota-se que há concentração dessas áreas verdes em determinadas porções do município. Essa concentração ocorre, especialmente, no Jardim Botânico Benjamim Maranhão (Mata do Buraquinho), que é uma área de preservação permanente de reserva da Mata Atlântica. Observam-se também pequenos resquícios fragmentados de vegetação, principalmente a Leste, e há, ainda, pequenos cinturões verdes que acompanham os vales e os leitos dos rios, sendo essas áreas destinadas à preservação pelo zoneamento urbano.

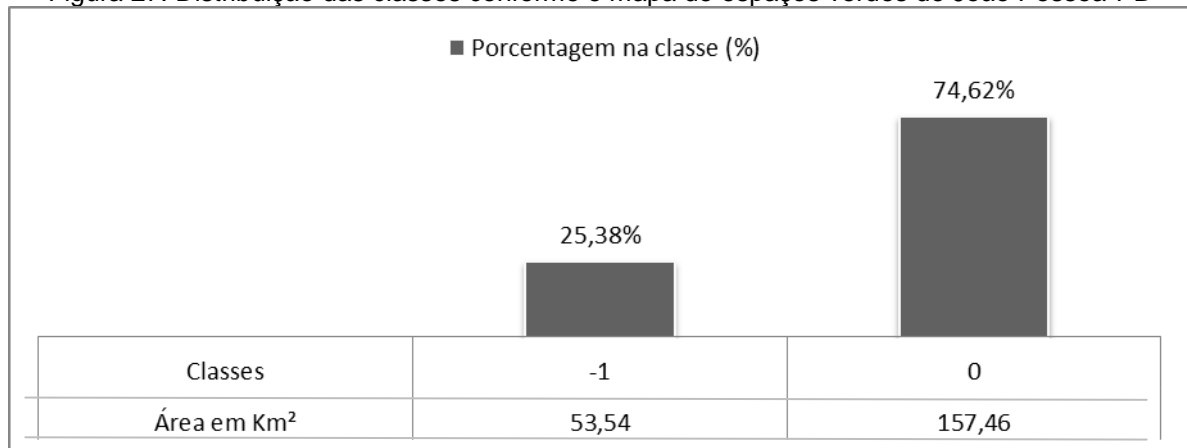
Figura 26: Mapa de espaços verdes de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

O mapa de áreas verdes foi construído, inicialmente, à resolução de 10m X 10m, suficiente para identificar pequenos agrupamentos de árvores na malha urbana (ruas e lotes), contudo, percebeu-se que praticamente não existem áreas verdes com essas características. Constatou-se que os espaços verdes equivalem a 25,38% de toda a extensão territorial do município, correspondente a 53,54 km² (Figura 27), que recebeu o valor -1 pelo seu efeito benéfico de amenização das temperaturas.

Figura 27: Distribuição das classes conforme o mapa de espaços verdes de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

Em João Pessoa, a problemática das áreas verdes urbanas, conforme o mapa apresentado, não diz respeito à quantidade, mas à distribuição no espaço da cidade. Percebe-se que a presença de espaços verdes se dá em grandes porções ou em áreas de preservação permanente, acompanhando o curso de rios ou em encostas e falésias. Assim, a preocupação com os espaços verdes deve estar associada à distribuição na malha urbana, de modo a ter-se uma relação proporcional e compatível entre espaços verdes e a massa edificada, ou seja, estimulando a criação de áreas verdes capazes de minimizar os efeitos térmicos no ambiente.

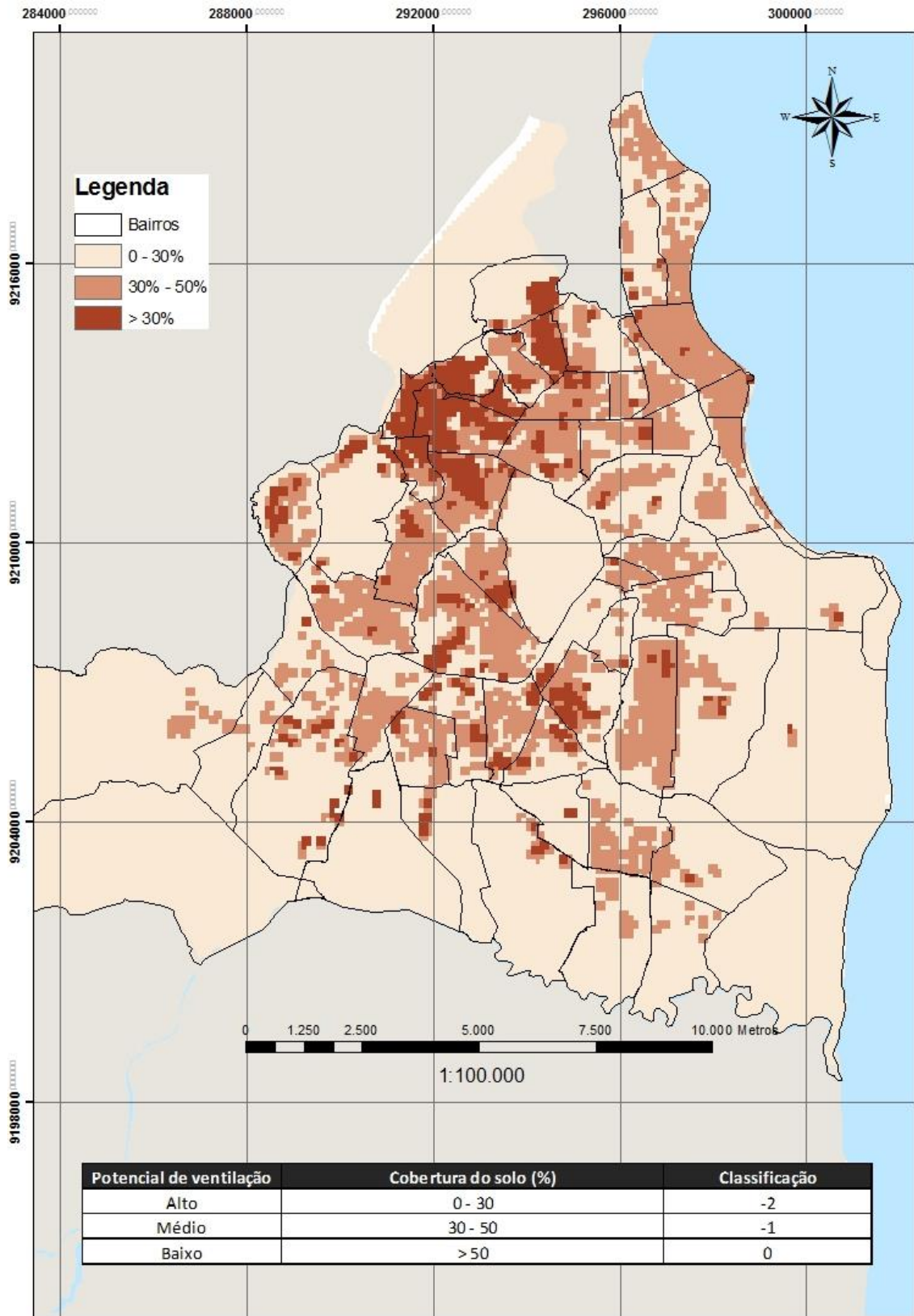
6.1.3. Camada 3 - Mapa de cobertura do solo

Nas cidades, as estruturas urbanas obstruem a passagem do vento local, diminuindo sua velocidade média. Essa diminuição da velocidade pode ter consequências negativas no desconforto térmico, na saúde e no consumo energético. Em algumas situações, a presença de ventilação pode mitigar essas consequências. Dessa forma, a circulação de ar é um importante critério que deve ser considerado nos projetos de edificações e que, naturalmente, também deve ser levado em conta no planejamento urbano.

Para avaliar os critérios de ventilação, utilizou-se da camada de cobertura do solo como um indicador da permeabilidade (porosidade aos ventos) definida pela relação entre as áreas das edificações e o do seu entorno. Então, na Figura 28, tem-se as áreas de maior cobertura do solo por edificações identificadas por tons mais escuros e as de menor cobertura representada por tonalidades mais claras, seguindo os seguintes intervalos percentuais de cobertura do solo: 0 – 30%, 30 – 50% e >50%, respectivamente.

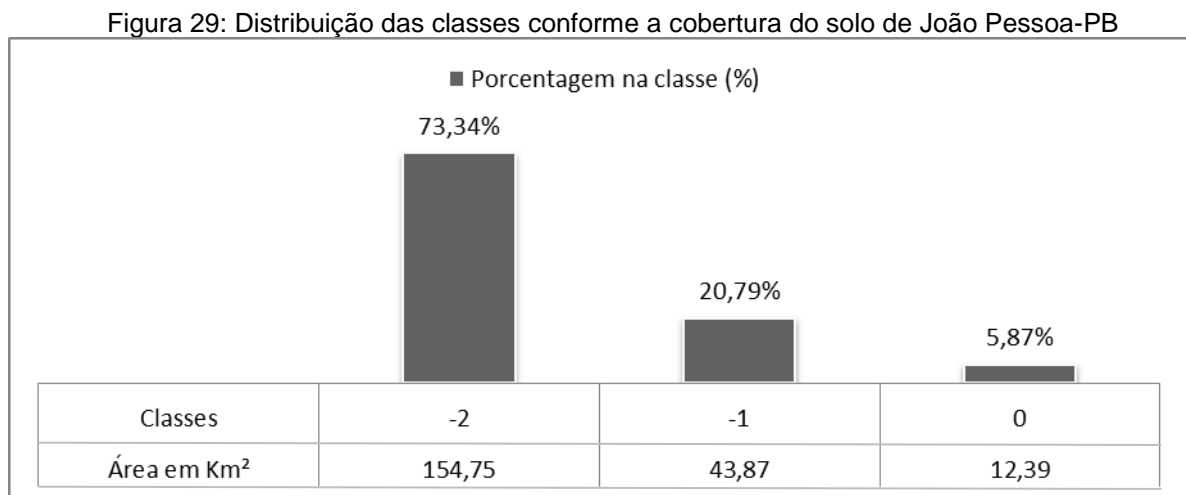
Analisando o mapa de cobertura do solo de João Pessoa, constata-se uma maior cobertura nos bairros mais antigos e centrais, que apresenta lotes com construções conjugadas e praticamente sem recuos frontais. Observam-se alguns tipos de ocupação do solo bem definidos, com alta densidade construtiva em determinados lugares de João Pessoa – PB, caracterizadas por construções com pouco ou nenhum recuo, identificadas nas áreas mais centrais, ao longo das principais setores de atividades de comércio e serviço, bem como nos bairros de ocupação da população de baixa renda, que podem ser associadas a temperaturas mais elevadas e menores condições de conforto térmico.

Figura 28: Mapa de cobertura do solo de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

Pode-se observar, pelo Mapa de cobertura do solo, que parte da área urbana da cidade de João Pessoa é caracterizada por um adensamento do solo superior a 30%. Com isso, constata-se que a cidade, em sua maioria, não contribui negativamente nos fluxos e nas trajetórias do vento, do ponto de vista da cobertura do solo. Quanto à área ocupada, a classe de valor -2 que representa cobertura do solo entre 0 e 30%, corresponde a 154,75 km², o que equivale a 73,34% da área do território municipal.(Figura 29).



Fonte: Autor (2013).

A classe de valor -1, que representa adensamento do solo entre 30% e 50%, ocupa 43,87 km² (20,79% do território municipal) e o impacto provocado por estas regiões no potencial dinâmico da cidade foi considerado médio. Com um adensamento superior a 50%, a classe de valor “0” (zero) ocupa 5,87% da superfície da cidade e abrange uma área de 12,38 km², onde a ocupação do lote pela edificação é praticamente total. Alguns outros pontos distribuídos no mapa, que representam a classe 0 devem-se a extensas edificações que abrangem uma área superior a 10.000 m², uma vez que a resolução *raster* adotada foi de 100m x 100m.

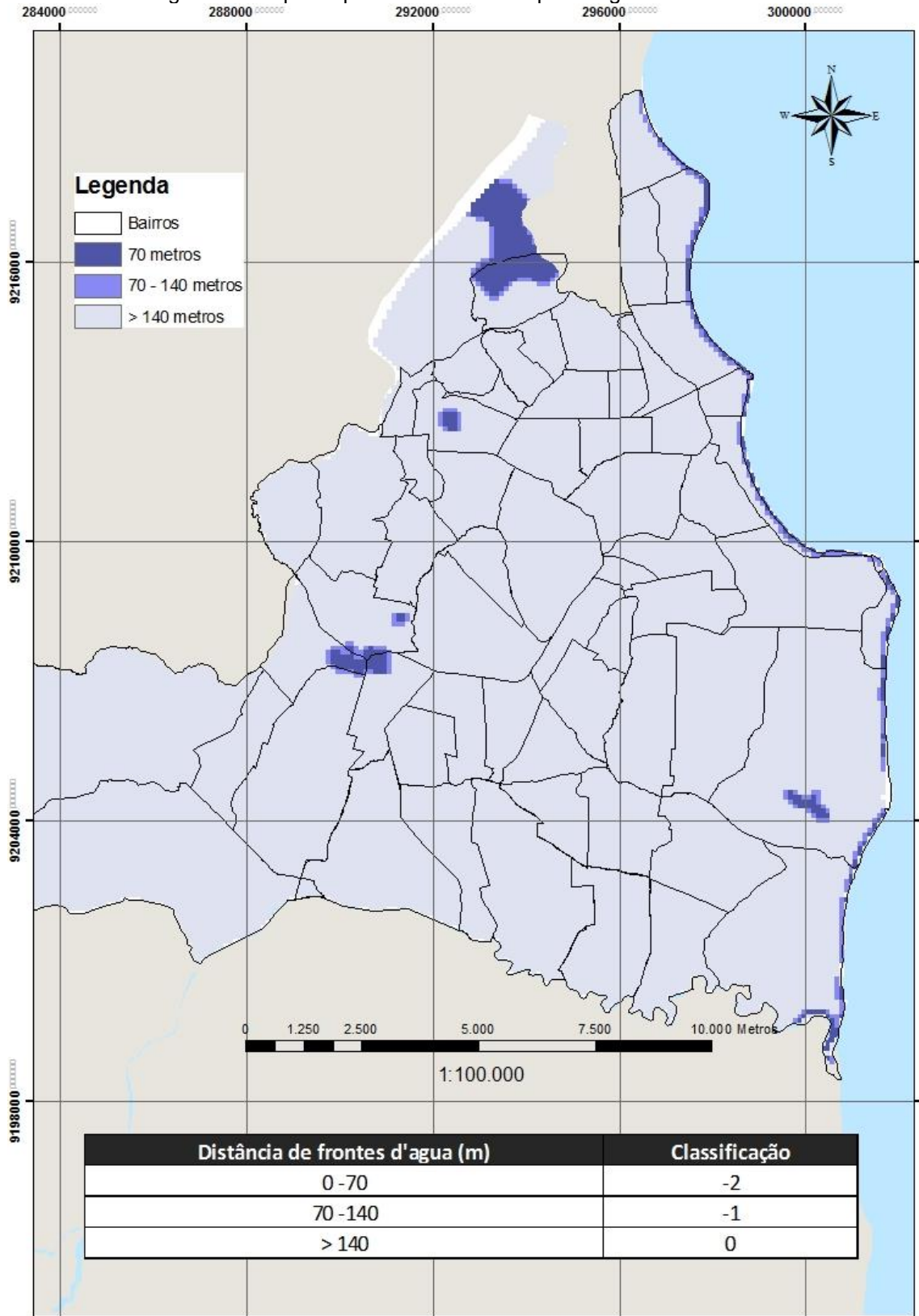
6.1.4. Camada 4 - Mapa de proximidades

Para identificar a existência de espaços próximos a áreas abertas ou com características que favoreçam a circulação dos ventos (funcionando como corredores de ventilação), uma vez que essas áreas influenciam positivamente na mitigação dos efeitos adversos da carga térmica, foram utilizadas três subcamadas de informação: a subcamada “a” (Mapa de Proximidade a Corpos D’água); a subcamada “b” (Mapa de Espaços Abertos) e a subcamada “c” (Mapa de Encostas).

Mapa de corpos d’água - Camada 4a

A orla marítima e os arredores das lagoas existentes na cidade são considerados benéficos do ponto de vista climático, especialmente os primeiros 140 metros contíguos a todo o perímetro dos corpos d’água. Esses 140 metros são divididos em duas faixas de 70 metros. Os 70 metros iniciais são considerados como os mais benéficos, pois recebem a ventilação natural oriunda dos corpos d’água, sem a interferência de elementos urbanos. A primeira faixa foi classificada com o valor -2, os outros 70m subsequentes aos primeiros, foram classificados com -1, visto que recebem a ventilação natural modificada em suas características iniciais. Todas as demais áreas externas às duas faixas selecionadas tiveram valor de classificação nulo. (Figura 30).

Figura 30: Mapa de proximidades de corpos d'Água de João Pessoa-PB



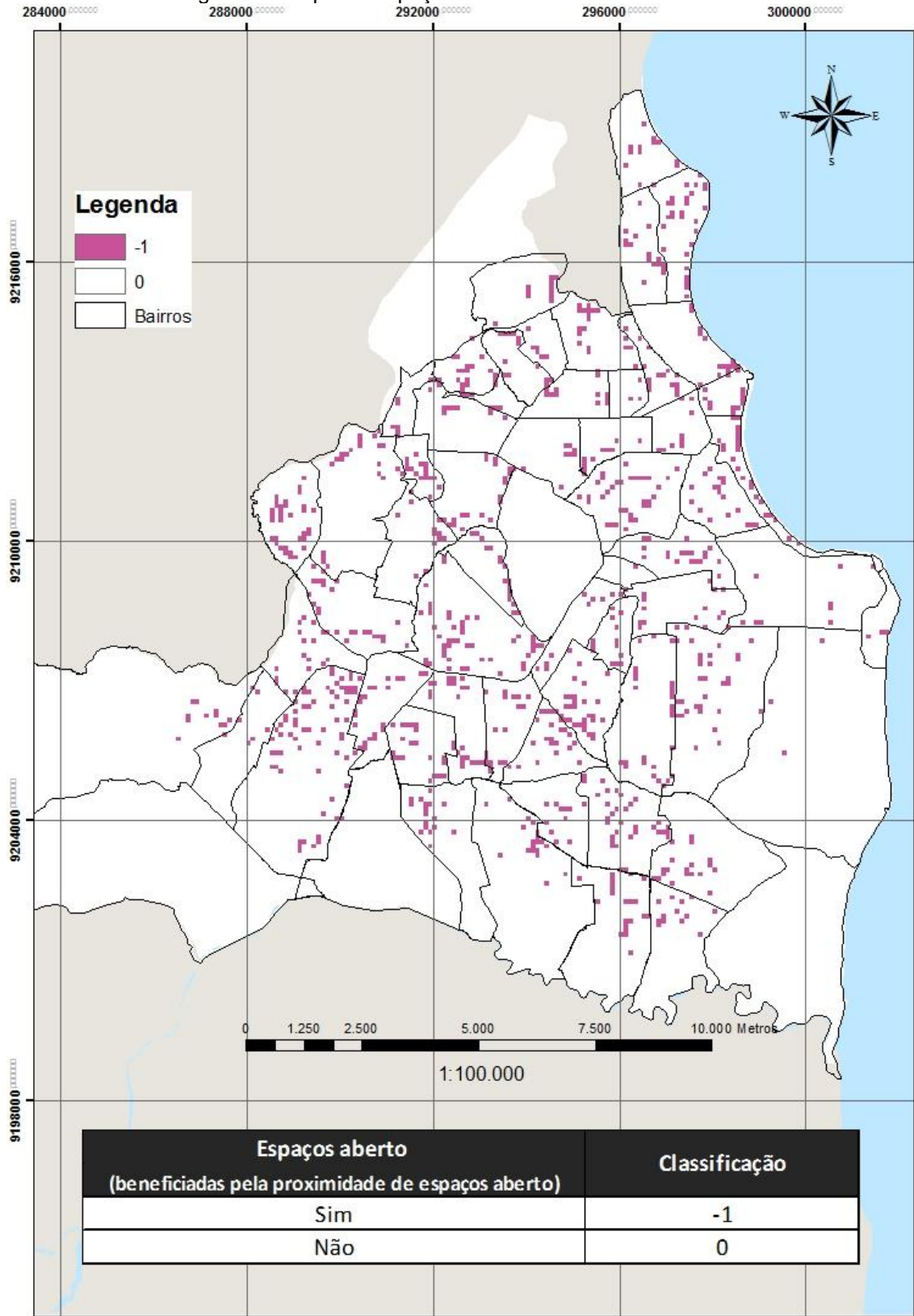
Fonte: Autor (2013).

Mapa de espaços aberto - Camada 4b

O mapa de espaços abertos representa as regiões beneficiadas pelos ventos provenientes desses espaços, tais como parques, campos e áreas pouco adensadas. Esses ventos podem reduzir a elevação da temperatura em áreas intraurbanas e agir de forma positiva no potencial dinâmico, principalmente nas regiões que lhes são próximas. Esses espaços foram mapeados ao identificar na malha urbana regiões com baixo volume construído (menor do que 5 %) e baixa rugosidade (menor do que 5% na Camada 3). A ventilação oriunda desses espaços pode beneficiar as regiões da Camada 4 com ocupação menor do que 30 %.(Figura 31).

Os benefícios (ventilação) de elementos identificados como espaços abertos tendem a serem pontuais, pois geralmente os ventos favorecem apenas o entorno imediato e pouco penetram no ambiente urbano. Justificando-se, assim, o fato de essa camada obedecer a dois procedimentos de seleção de áreas distintos, o primeiro, identificar espaços abertos (regiões desocupadas) do município e o segundo, identificar as regiões beneficiadas por esses espaços abertos. Esses procedimentos permitiram observar que em João Pessoa – PB há uma fragmentação desses espaços e que apenas 2,3% do território municipal é beneficiado pela presença de espaços abertos.

Figura 31: Mapa de Espaços Abertos de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

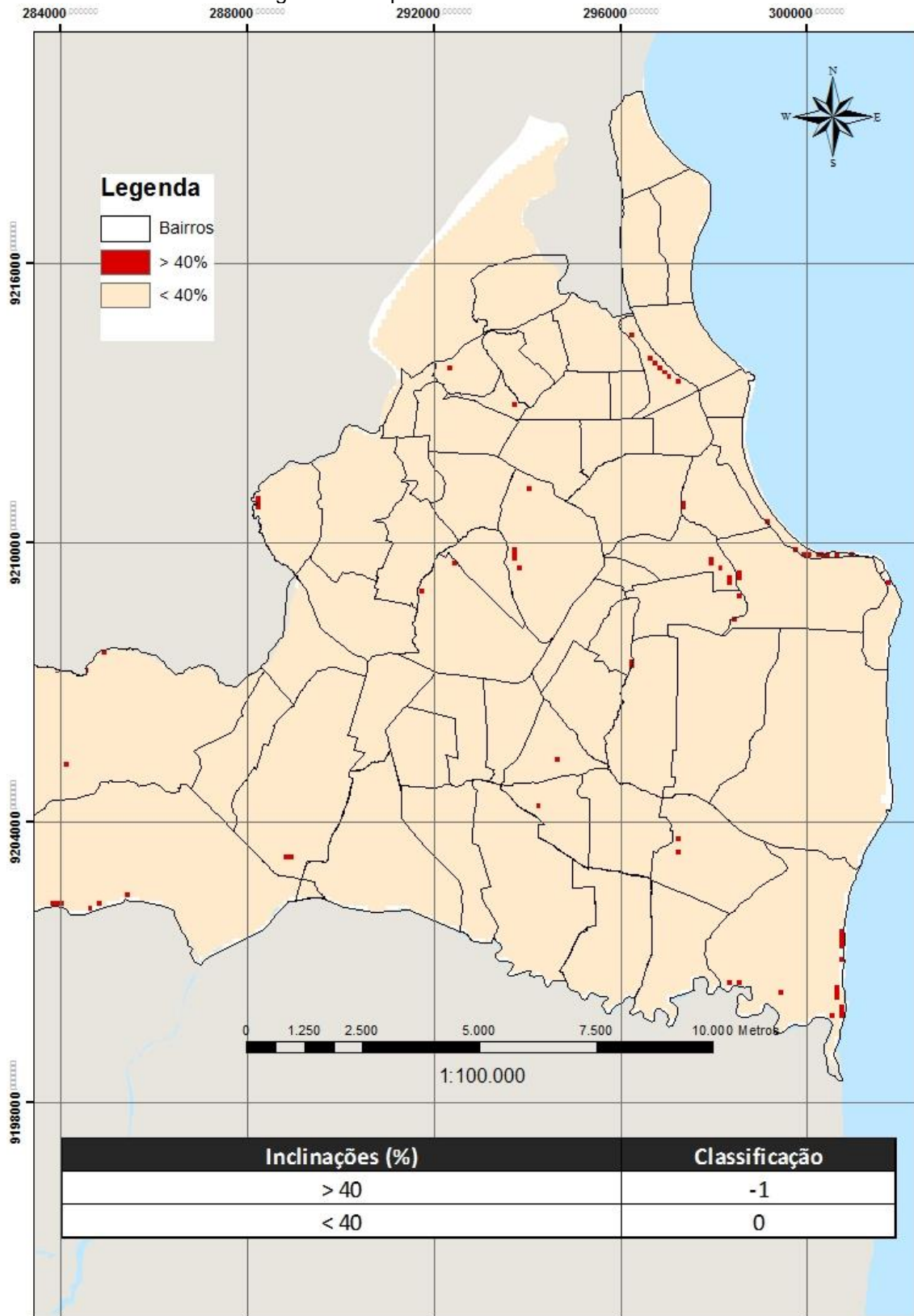
Mapa de encostas - Camada 4c

A camada 4c considera as regiões existentes na área de estudo com inclinações superiores a 40% como um elemento benéfico para o clima urbano, uma vez que estes representam um indicador dos locais nos quais a topografia constitui um elemento decisivo na canalização dos ventos, causando sua ascensão ou a sua descida. O ar mais frio, geralmente, desloca-se pelas encostas e exerce influência apenas no local por onde circula e pode contribuir com a redução da temperatura do ar. (Figura 32).

Como representado no mapa, a maior parte das encostas da cidade apresenta declividade inferiores a 40 %. O relevo, predominantemente tabular, (Capítulo 5) sem que haja em suas bordas diferenças abruptas de cotas altimétricas, permitiu que poucos pontos da cidade fossem identificados com inclinação superior a 40 %. Ou seja, na cidade de João Pessoa a presença de elementos como barreiras e falésias, apesar de serem marcantes na paisagem, exercem uma influência pontual nos movimentos dos ventos.

Além da topografia é importante lembrar que para serem consideradas benéficas ao potencial dinâmico da cidade, as encostas deveriam estar inseridas em áreas verdes (DEPARTMENT OF ARCHITECTURE, 2008). Esse fato também contribuiu para que no mapa fossem identificadas poucas áreas de encostas, com vegetação totalizando menos de 3% do território municipal.

Figura 32: Mapa de encostas de João Pessoa-PB

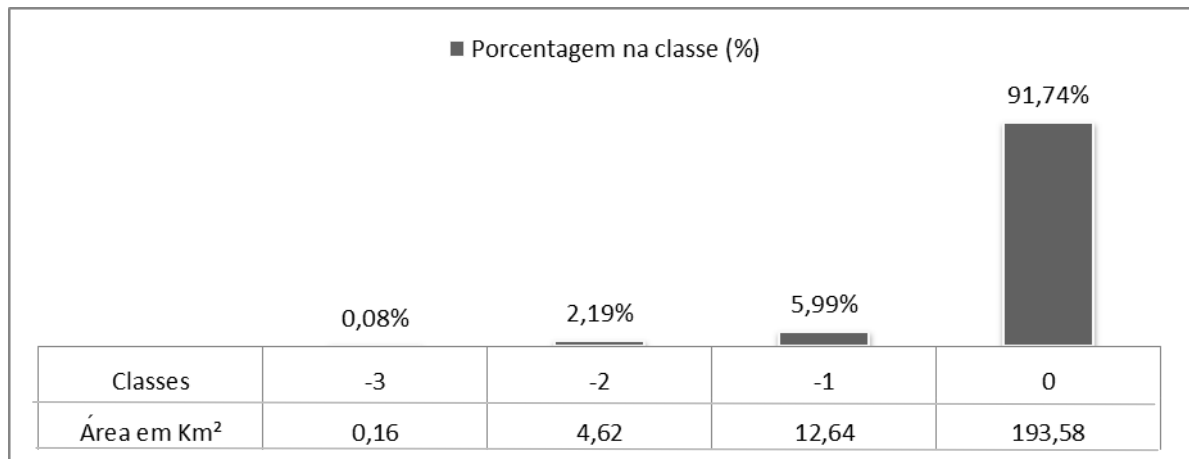


Fonte: Autor (2013).

A sobreposição das três subcamadas (Proximidade a Corpos d'água, Espaços Abertos e Encostas) foi combinada para formar o Mapa de Proximidade (Figura 33).

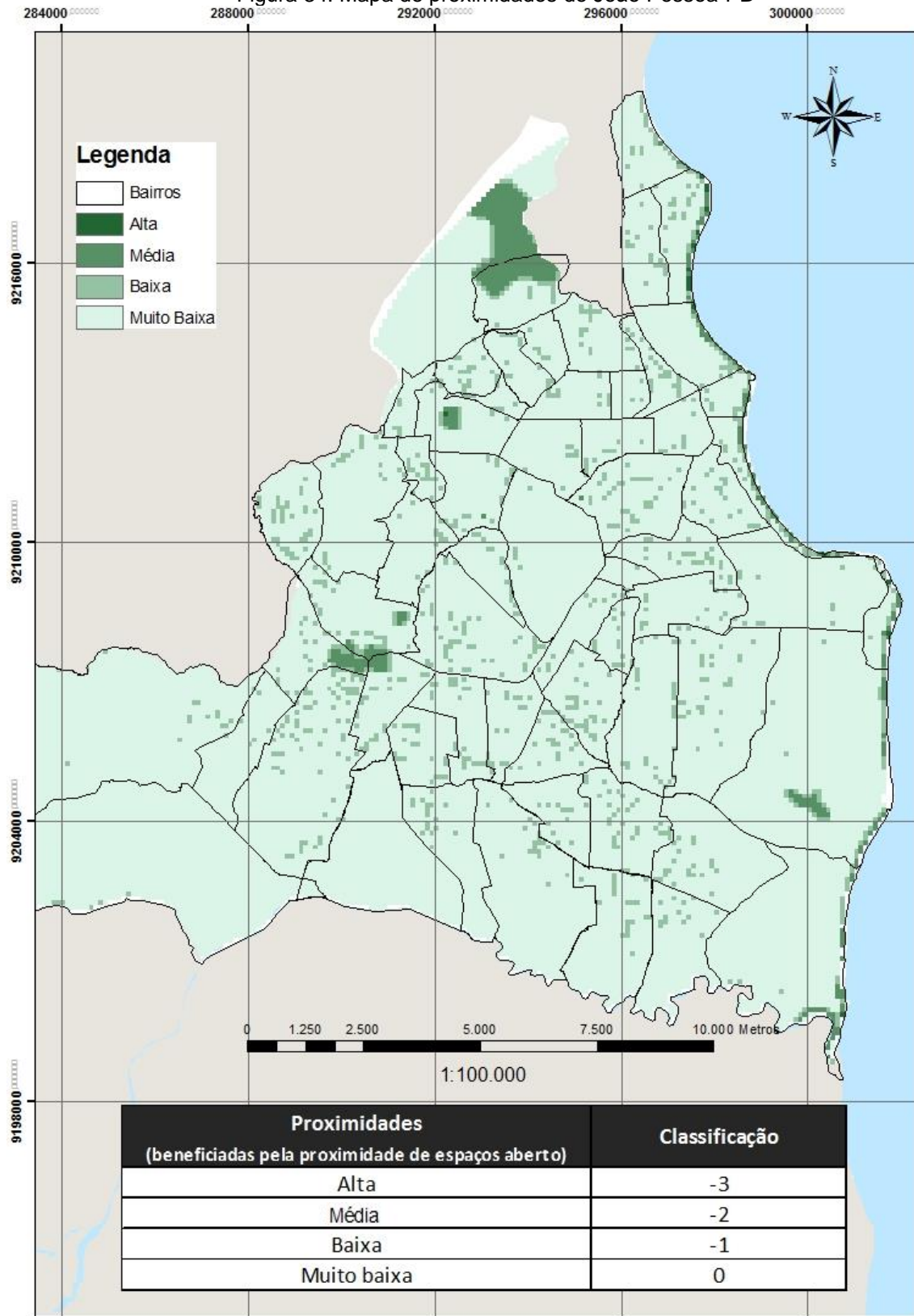
A análise do mapa de proximidade demonstra que além do perímetro de 140 metros que inclui e acompanha todos os corpos d'água, há apenas fragmentos pontuais e bastante dispersos no território, de tal forma que 91,74% do município não é beneficiado por nenhum elemento de proximidade, sejam eles presença de corpos d'água, encostas ou espaços abertos (Figura 34).

Figura 33: Distribuição das classes conforme a Proximidade de Espaços Abertos de João Pessoa-PB



Fonte: Autor, 2013

Figura 34: Mapa de proximidades de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

6.1.5. Mapa de carga térmica

A carga térmica considera dois efeitos importantes na elaboração do mapa climático. O primeiro deles é relacionado à capacidade de armazenamento de calor proporcionado pela presença de grandes volumes de edificações. Esse efeito é negativo e está apresentado na Camada 1. O segundo efeito está na capacidade de mitigação do stress térmico representado pela presença de áreas verdes (vegetação), na camada 2. Esses efeitos estão descritos no Quadro 02.

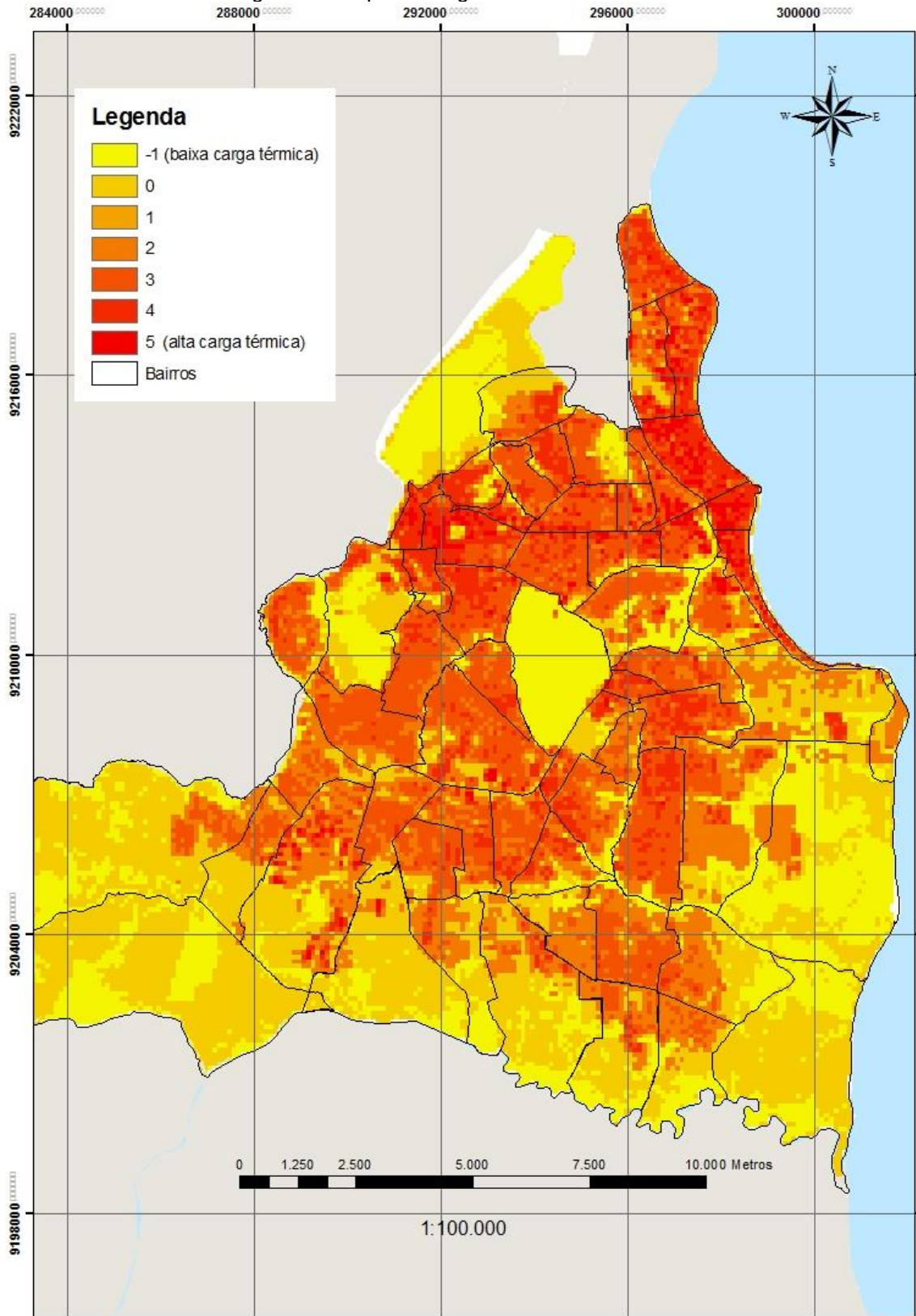
Quadro 02- Descrição das camadas de classificação climática da carga térmica

Critério físico	Efeito climático	Bases Científicas	Níveis de Informação
Carga térmica	Negativo	Armazenamento de calor	Mapa de Volume Construído (Camada 1)
	Positivo	Efeitos Bioclimáticos	Mapa de Espaços Verdes (Camada 2)

Com a sobreposição dos mapas de volume construído e de espaços verdes, chegou-se ao mapa de carga térmica. De posse dele, é possível identificar dois aspectos distintos da morfologia urbana em João Pessoa – PB. O primeiro trata da centralização de determinados elementos morfológicos, por exemplo, edifícios altos ou não, avenidas, áreas impermeáveis etc., que são associados ao acúmulo de calor e à quantidade de radiação solar armazenada. Já o outro aspecto trata da presença da vegetação como elemento mitigador do calor. Dessa forma, a carga térmica qualifica o comprometimento dos aspectos morfológicos frente à sua capacidade de armazenamento de calor.

Em João Pessoa – PB, as camadas utilizadas para a obtenção do mapa de carga térmica resultou em sete classes (Figura 35). Essas classes refletem a capacidade de redução ou elevação da temperatura do ar por parte dos elementos analisados que compõem a superfície territorial do município.

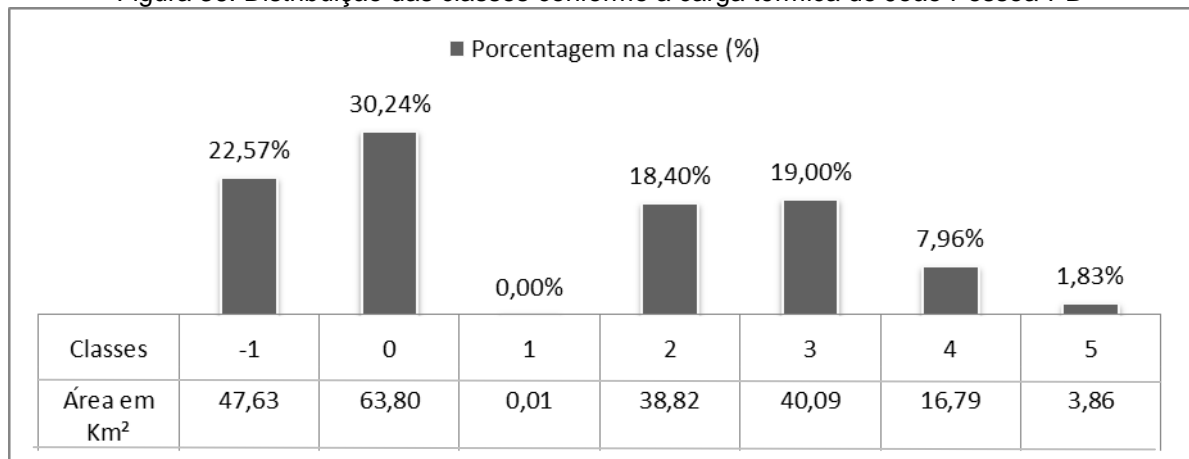
Figura 35: Mapa de carga térmica de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

As classes -1 (um) e 0 (zero) agrupam áreas da cidade com capacidade de redução das temperaturas por serem as áreas sem influência na carga térmica. As demais classes (de 1 a 5) reúnem áreas que colaboram gradativamente para o aumento da carga térmica. As classes -1 e 0 ocupam 47,63km² e 63,8km² equivalendo a respectivamente 22,57% e 30,24% de extensão do município e são compreendidas por áreas verdes e áreas pouco urbanizadas, beneficiadas pela presença da vegetação urbana. As outras partes do território estão ocupadas por regiões que favorecem a elevação da temperatura do ar (classe 1 a 5). Elas abrangem uma área de 99,57 km², que equivalem a 47,19% de toda a superfície do município. A Figura 36 contém os valores de área ocupada por cada classe da camada carga térmica.

Figura 36: Distribuição das classes conforme a carga térmica de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

6.1.6. Mapa de potencial dinâmico

O mapeamento do potencial dinâmico integrou os mapas de cobertura de solo e de proximidades. A cobertura do solo permite obter a influência que os edifícios provocam na diminuição da velocidade do vento em meio urbano. Já o de Proximidades integra a influência positiva da ventilação sobre o ambiente urbano, sendo que essa camada é resultado de três níveis de informação: a proximidade aos corpos d'água; proximidades a espaços abertos e regiões com inclinações significativas.

Portanto, o mapa de potencial dinâmico reúne os efeitos negativos da redução da ventilação representado na Camada 3 e os benefícios das proximidades de regiões que favorecem a ventilação, na camada 4, conforme pode ser verificado no Quadro 03.

Quadro 03: Descrição das camadas de classificação climáticas do potencial dinâmico de João Pessoa-PB

Critério físico	Efeito climático	Bases Científicas	Níveis de Informação
Potencial dinâmico Ventilação	Negativo	Permeabilidade Urbana (ventilação)	Mapa de Cobertura do Solo (Camada 3)
	Positivo	Efeitos Bioclimáticos	Mapa de Proximidades (Camada 4)

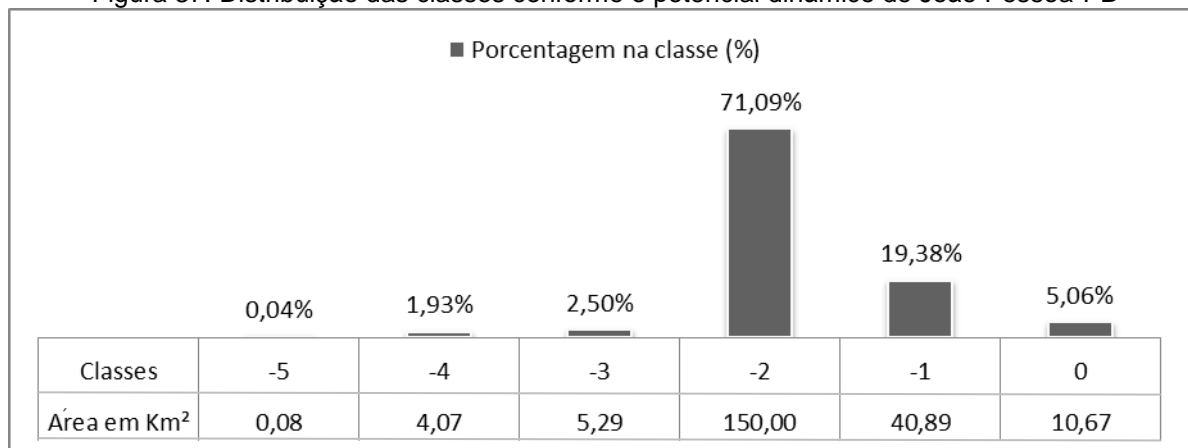
Como já foi dito, o vento desempenha papel fundamental de resfriamento dos espaços urbanos, principalmente, em cidades com clima quente e úmido como João Pessoa. Os ventos predominantes, oriundos especialmente do quadrante Sul, podem amenizar os efeitos negativos causados pela radiação solar excessiva, atuando positivamente no conforto térmico do espaço urbano. Porém, os padrões de ventilação urbana modificam-se em função dos modelos de ocupação urbana.

Melo (2009) atenta para o fato da ausência de um diferencial de alturas das edificações tornar-se prejudicial sob o ponto de vista climático. Edificações altas, dotadas de grandes espaçamentos entre si, possibilitam condições mais favoráveis de ventilação se comparadas às áreas com edifícios baixos juntamente com o traçado urbano irregular que dificulta a permeabilidade aos ventos, impossibilitando

a formação de corredores de ventilação. Contudo, os arranjos urbanos dotados de edificações com alturas distintas podem possibilitar a adequada penetração dos ventos nos recintos urbanos, se for aliado a uma alta porosidade e adequado afastamento entre edificações. Contudo, é importante ressaltar que a condição de ventilação nos recintos urbanos pode mudar dependendo do ângulo de ataque do vento.

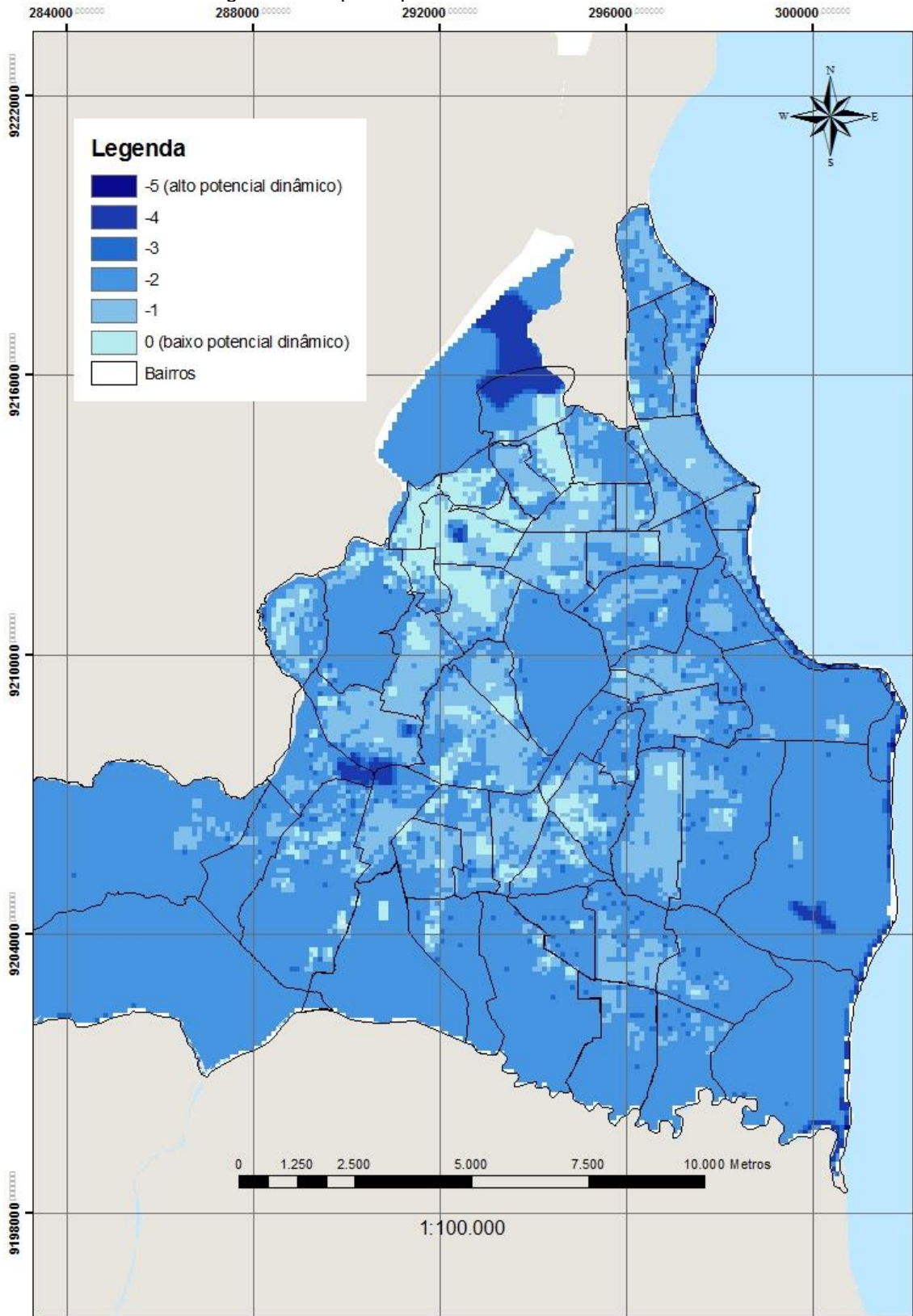
A análise do Mapa de potencial dinâmico (Figura 37) demonstra que a maior parte do município de João Pessoa é beneficiada pela ventilação, com 71,09% do território sendo contemplado pela classe -2, porém como essa classe contempla as áreas pouco urbanizadas, a maior parte da malha urbana é pouco beneficiada pela ventilação e está concentrada nas classes -1 e 0 que, juntas, ocupam aproximadamente de 25% do território municipal. (Figura 38).

Figura 37: Distribuição das classes conforme o potencial dinâmico de João Pessoa-PB



Fonte: Autor (2013).

Figura 38: Mapa de potencial dinâmico de João Pessoa-PB



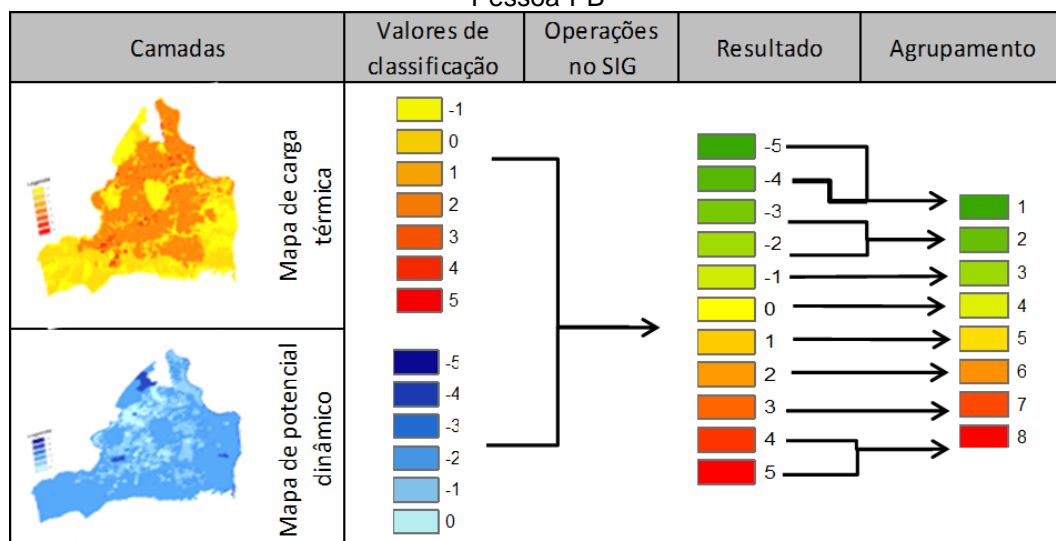
Fonte: Autor (2013).

6.1.7. Mapa de análises climáticas

Para Katzschner (1997) dois aspectos básicos são investigados na elaboração do mapa climático: a análise dinâmica do regime de ventos e os meios responsáveis por sua alteração e a análise térmica. Esses dois aspectos são representados respectivamente pelos mapas de carga térmica e potencial dinâmico.

O processo de criação do Mapa da análises climáticas passa pela adição dos valores de classificação existentes nas camadas de carga térmica e potencial dinâmico. Para João Pessoa – PB, essa adição realizada dentro do SIG resultou em onze categorias de classificação numa escala de valores de -5 a +5. Segundo o Department of Architecture (2008) com o propósito de facilitar o entendimento dos aspectos climáticos para o planejamento urbano, os valores extremos da escala de valores resultantes da sobreposição das camadas de carga térmica e potencial dinâmico, devem ser simplificados e agrupados, enquanto que os valores médios devem ser mantidos. Desse modo, foram agrupados os seguintes valores: -5 e -4; -3 e -2 e +4 e +5. Deste agrupamento, formaram-se as classes climáticas 1, 2 e 8, respectivamente. Os valores, -1, 0, +1, +2 e +3 foram reclassificados para as classes 3, 4, 5 e 6, respectivamente (Figura 39).

Figura 39: Sobreposição das camadas dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico de João Pessoa-PB

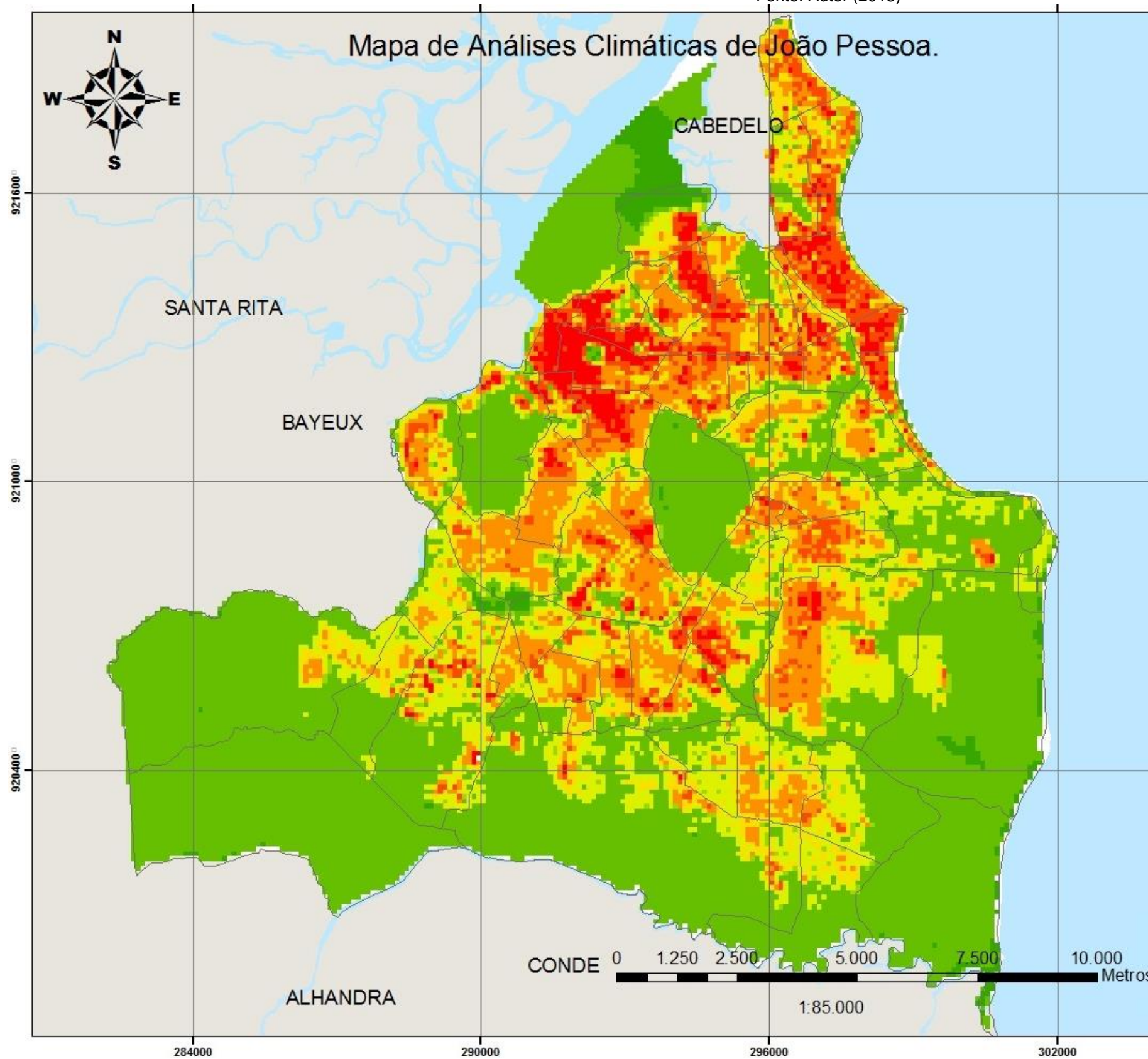


Fonte: Autor (2013).

Do agrupamento e reclassificação das onze categorias, formaram-se oito zonas ou classes climáticas que caracterizam as regiões da cidade, obedecendo a critérios que contribuem para aquecimento ou esfriamento do ar.

As diferentes zonas climáticas variam das áreas urbanas para áreas rurais e permitem uma avaliação dos efeitos adversos das estruturas urbanas e as condições meteorológicas locais. Essas zonas estão representadas com cores e símbolos diferentes que indicam, por exemplo, os locais que devem ser preservados ou ter os efeitos negativos do clima urbano mitigado a fim de evitar, não agravar ou mitigar as condições climáticas locais. Com a compreensão do comportamento dos critérios de análise da carga térmica e do potencial dinâmico, é possível identificar na cidade áreas favorecidas pela ventilação, áreas com ventilação reduzida, áreas com alta carga térmica e com baixa carga térmica etc. A sobreposição dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico, já descrita, dentro do sistema de informações geográficas, possibilitou a confecção do mapa análises climáticas de João Pessoa (Figura 40).

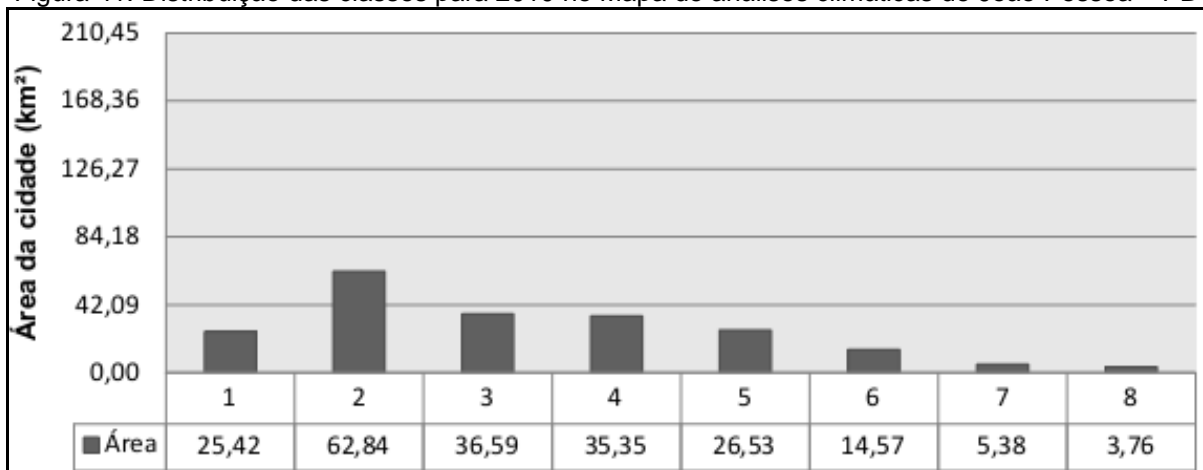
Figura 40: Mapa de análises climáticas de João Pessoa-PB
Fonte: Autor (2013)



Classes	Nome	Impacto no conforto térmico	Descrição	Avaliação
1	Resfriamento do ar	Moderado	Áreas vegetadas ou próximas a corpos d'água	Muito importante para a amenização climática - Alta proteção
2	Renovação e circulação de ar	Leve	Matas, bosques e campos verdes.	Importantes na circulação dos ventos - Preservar
3	Atividade climática baixa	Neutro	Áreas pouco adensadas, muitos espaços abertos e presença de vegetação	Não afeta o aumento da temperatura do ar - Permitido alterações no adensamento
4	Atividade climática relevante	Leve	Áreas adensadas por pequenas edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade.	Relevante influência no clima - Alterações no adensamento voltado a dinâmica dos ventos.
5	Carga térmica baixa	Moderado	Casas e blocos residenciais de quatro pavimentos, poucos espaços verdes e rugosidade baixa.	Sem altas cargas térmicas - Fornecer vegetação
6	Carga térmica relevante	Moderadamente Forte	Áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa altura - impõem considerável rugosidade.	Conforto térmico já prejudicado - Fornecer vegetação e reduzir a impermeabilização do solo
7	Carga térmica alta	Forte	Áreas adensadas com altas edificações, escassez de vegetação e de espaços abertos - rugosidade elevada	Efeitos negativos - mitigar por ações que favoreçam a ventilação e vegetação
8	ilha de calor	Muito Forte	Áreas com elevado adensamento, baixa permeabilidade do solo e pouca vegetação - rugosidade mais alta.	Efeitos críticos - ação de saneamento sob os aspectos do clima

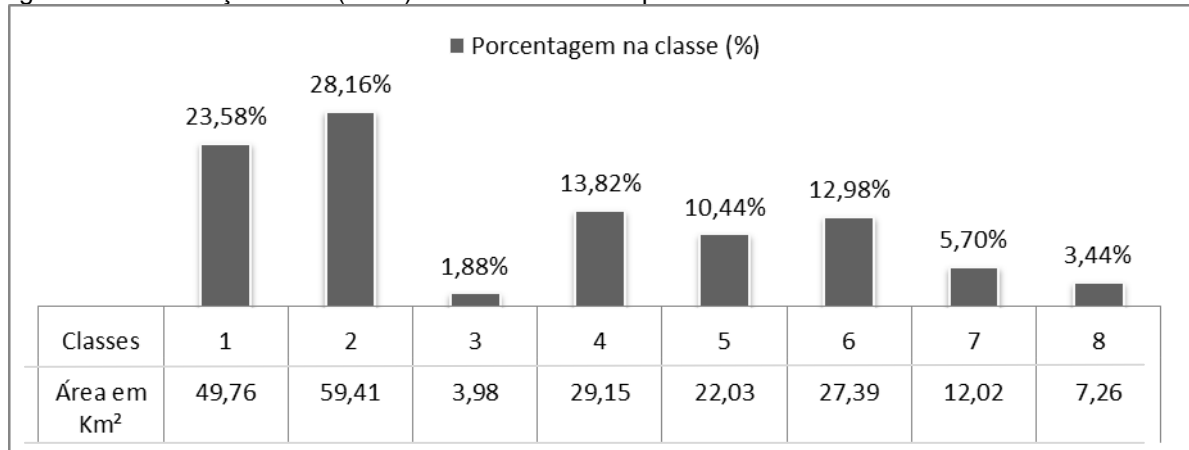
O comparativo dos resultados obtidos por Souza 2010 (Figura 41) com o atual mapa de análises climáticas (Figura 42) demonstra significativas mudanças no processo de evolução da cidade de João Pessoa. A inclusão de novas edificações e o processo metodológico de atualização que resultou na supressão dos mapas de topografia e espaços naturais, existentes na primeira versão do mapa de Análises Climáticas, gerou, naturalmente, diferentes porcentagens nas classes climáticas.

Figura 41: Distribuição das classes para 2010 no Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB



Fonte: Sousa (2010)

Figura 42: Distribuição atual (2013) das classes no Mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB



Fonte: Autor (2013)

Ao comparar com os valores obtidos de porcentagem entre as áreas das classes climáticas do mapa desenvolvido por Souza (2010) com os resultados obtidos após sua atualização revela mudança significativas referente a processos de expansão urbana e ao adensamento. Observou-se uma redução nas classes 2, 3, 4 e 5, e aumento dos valores nas classes 1, 6, 7, e 8. Houve redução das classes consideradas benéficas aos fluxos e trocas de massas de ar ou com impacto leve ou neutro, que são extremamente importantes no balanço de calor urbano. Em detrimento disso, as classes mais comprometidas do ponto de vista climático foram ampliadas.

O processo de atualização do Mapa de análises climáticas resultou na inserção de 24.540 edificações, resultado da expansão urbana e do processo de verticalização pode ter impacto em várias camadas que formam o Mapa de análises climáticas. O incremento de novas edificações pode ocorrer principalmente a partir da supressão da cobertura vegetal. Cada edificação altera de forma direta o mapa de cobertura do solo e, posteriormente as inserções de novos edifícios podem mudar a camada com o volume construído. Potencialmente, as alterações no uso do solo, quando geradas em grandes escalas podem mudar o relevo e os corpos hídricos, podendo modificar outros mapas, alterando, dessa forma, o mapa final.

No mapa climático de João Pessoa, as áreas favorecidas pela ventilação na cidade situam-se na porção Sul e Sudeste do município, onde a vegetação e a baixa rugosidade atuam como elementos favoráveis à circulação dos ventos. Essas áreas coincidem com os rumos dos ventos predominantes, por isso, revelam-se importantes para que os ventos oriundos desses rumos atinjam as áreas mais centrais da cidade.

As áreas com maior comprometimento térmico são identificadas nas regiões mais centrais (comerciais), onde o grande volume construído, as edificações no lote, por vezes, sem recuos, e a baixa rugosidade dificultam a penetração dos ventos. Há também o maior comprometimento em trechos da orla marítima, apesar do benefício da ventilação, especialmente nas primeiras quadras que margeiam o oceano.

A influência positiva dos espaços verdes nas cidades pode amenizar os efeitos da radiação solar sobre o ambiente urbano. Esses espaços conduzem a

modificação do clima local originando condições térmicas mais agradáveis. No entanto, apresenta-se de forma concentrada em porções do território urbano de João Pessoa, a exemplo do Jardim Botânico Benjamim Maranhão (Mata do Buraquinho).

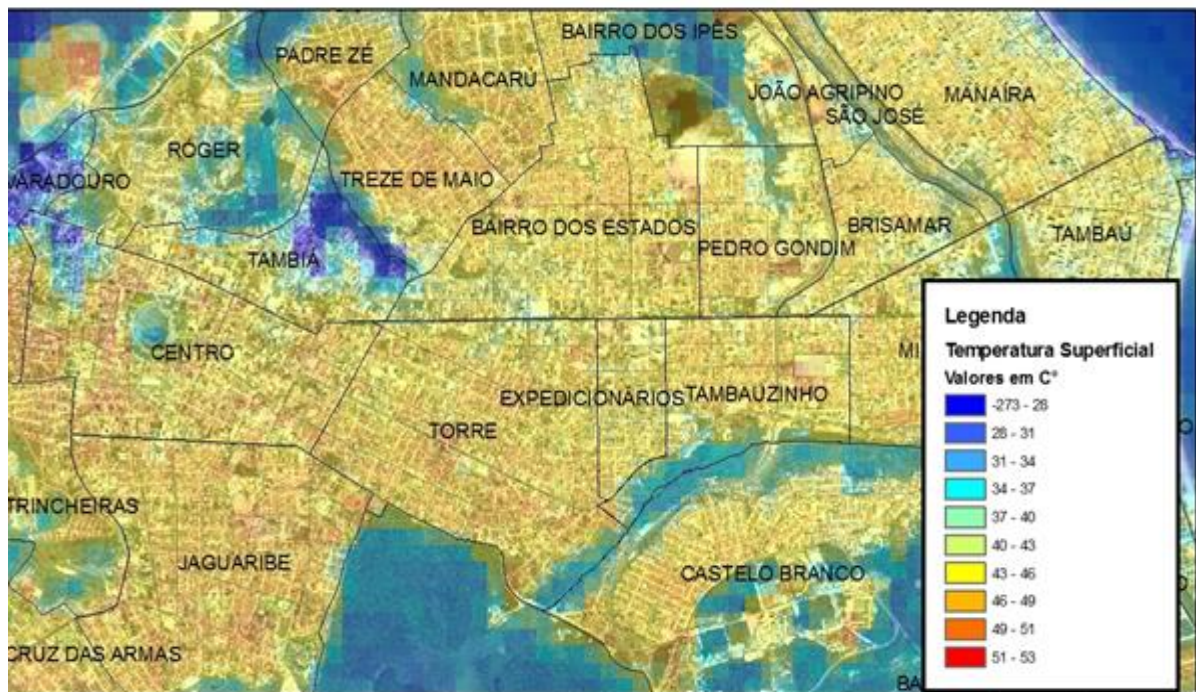
6.2. Caracterização climática das classes mapeadas

A partir das análises dos aspectos determinantes de modificações climáticas no espaço urbano de João Pessoa, foi possível estabelecer zonas com características climáticas diferenciadas, que podem subsidiar ações de planejamento urbano, baseados na superposição dos mapas elaborados. Chegou-se ao Mapa de análises climáticas, no qual foram representadas oito zonas, onde se identificaram áreas que devem ser preservadas, protegidas ou melhoradas climaticamente.

Ao confrontar o mapa com as imagens termais do sensor Aster¹⁸ que, segundo Baptista e Teza (2005), podem ser usadas para identificar o fenômeno das ilhas de calor, observou-se que na imagem termal utilizada não foi possível identificar a totalidade das oito zonas climáticas. Porém, a análise visual da temperatura de superfície para o dia 11/07/2009 indicava valores mais amenos onde hávia elementos naturais. As áreas de vegetação e corpos d'água apresentam temperaturas superficiais inferiores a das áreas urbanizadas, onde a temperatura superficial observada chegou, em determinados pontos, a mais de 50 °C. (Figura 43).

¹⁸ A seleção da cena obtida pelo sensor ASTER visou à escolha de cenas que possuíssem a menor interferência de nuvens. A seleção foi feita por meio do *site* do sensor ASTER no Serviço Geológico Americano (glovis.usgs.gov). Após a seleção das imagens, foram solicitados os dados referentes ao produto *ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature* – que se referem à temperatura de superfície. Imagem selecionada foi registrada em 11/07/2009 às 12h40min" (Tempo Universal Coordenado - Londres). As temperaturas superficiais registradas em imagens superficiais podem ser afetadas por variáveis como o sombreamento, a umidade, os materiais de revestimento da superfície, precipitação, a estação do ano, entre outras.

Figura 43: Imagem termal ASTER de João Pessoa – PB



Fonte: Serviço Geológico Americano (glovis.usgs.gov).

Apesar de apresentar temperaturas superiores na malha urbana, não se pode confirmar que há elevação de temperatura superficial em regiões de maior adensamento construtivo, menor rugosidade e porosidade. Esse acontecimento talvez possa ser justificado pelo fato de que, em áreas com alto nível de verticalização, os prédios próximos, ao lançarem sombra uns sobre os outros, criam nichos de temperaturas mais amenas. Outro ponto que pode ser observado é a presença de temperaturas superficiais mais altas em locais onde há solo exposto e pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Percebe-se, que o efeito do resfriamento das massas de vegetação urbana é muito localizado. No entanto, nos locais onde existem essas massas arbóreas, há temperaturas mais baixas. Já em locais com solo exposto (sem vegetação) essa lógica se inverte. (PRIMAVES *et al.*, 2007 *apud* SOUSA e FERREIRA, 2012).

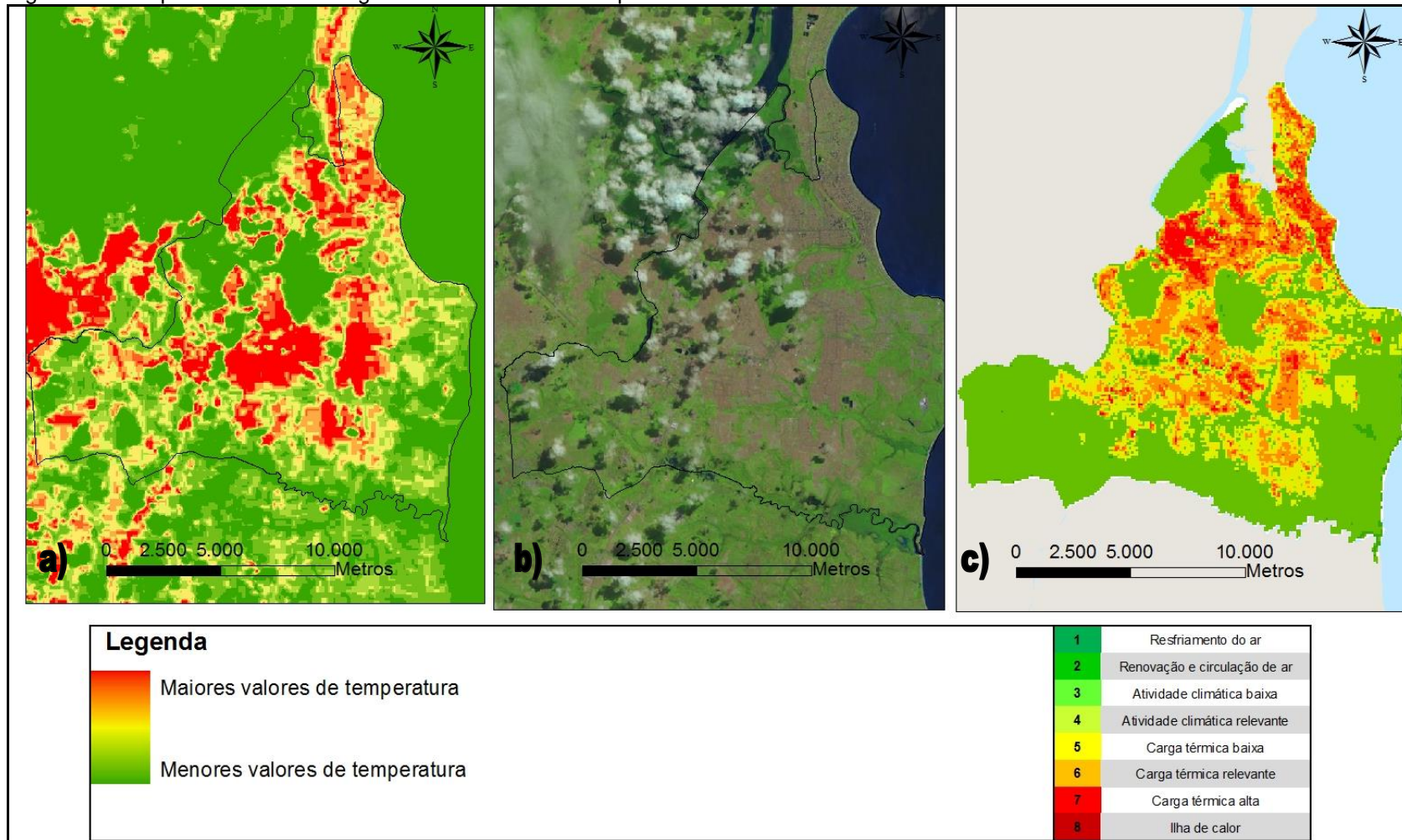
Já na imagem termal do satélite Landsat 8¹⁹, Figura 44, verifica-se uma aproximação entre os valores de temperatura com as classes do Mapa de análises climáticas. Os tons mais avermelhados coincidem com as áreas urbanas, enquanto os tons de verde coincidem com a cobertura vegetal ou corpos d'água. A imagem também demonstrou, que há uma elevação gradativa na temperatura partindo das franjas urbanas²⁰ até às áreas mais centrais da cidade. Essa característica pode ser um indicador da importância dos critérios de rugosidade e porosidade (permeabilidade aos ventos) associados à ocupação do solo.

Apesar de em João Pessoa – PB não ser clara a relação linear entre a variação da temperatura superficial das imagens de satélite no interior da cidade e a intensidade do volume construído, é possível comprovar a influência da urbanização, em termos de espaço edificado, sobre a elevação das temperaturas no meio urbano em comparação com as áreas rurais no entorno da cidade. Assim, a urbanização e as características do uso do solo seriam responsáveis pela distribuição da temperatura do ar gerando ilhas de calor.

¹⁹ A seleção da cena obtida pelo satélite *landsat 8*, obedeceu os critérios de seleção, visando selecionar as cenas que possuísem a menor interferência de nuvens. A seleção foi feita por meio do site do Serviço Geológico Americano (glovis.usgs.gov). Os valores dos pixels nas imagens não foram convertidos para valores de temperatura. Os valores de pixel entre 0 e 255 correspondem às maiores e menores temperaturas. A cena foi imargeada em 26 de junho de 2013 às 12h30min.

²⁰ Franjas ou bordas urbanas assumem comportamento de transição entre o ambiente urbanizado e não urbanizado.

Figura 44: Comparativo entre a imagem termal Landsat e o mapa de análises climáticas de João Pessoa – PB



Fonte: a) Imagem termal Landsat; b), Imagem colorida; (Serviço Geológico Americano, acesso: glovis.usgs.gov); c) Mapa de análises climáticas (Autor, 2013)

Na imagem os tons mais alaranjados, indicando a transição entre as áreas com temperaturas mais quentes e mais amenas, podem ser um indicativo da influência da rugosidade e do volume construído. A malha urbana mais rugosa, principalmente em áreas da orla de João Pessoa, pode estar condicionando o escoamento de ventos, alterando a sua velocidade e, como consequência, dificultando a amenização dos efeitos térmicos do local. Em contraponto, há também locais com tons de laranja indicando a existência de áreas com temperaturas mais amenas.

Contudo, destaca-se na imagem a existência de grandes áreas urbanas com temperaturas mais que o entorno imediato, caracterizadas em vermelho. Essa cor está também presente em áreas horizontalizadas (com edificações de mesma altura) e com ausência de recuos. Isso pode ser um indicativo da importância da porosidade da malha urbana no que diz respeito à permeabilidade de uma estrutura urbana à passagem dos ventos. Nesse caso, o índice de aproveitamento merece ser melhor observado. Os recuos entre edificações capazes de melhorar as condições de conforto térmico e a qualidade do ar na estrutura urbana muitas vezes não são respeitados. Sempre que possível, visa-se ao maior aproveitamento da área construída, através de artifícios como a diminuição do espaçamento entre as edificações.

Na tentativa de identificar indícios de elevação da temperatura do ar, devido ao aumento das estruturas urbanas, como a densidade de construções, a redução da vegetação e o aumento da rugosidade da superfície foram definidos, como descrito na metodologia, oito pontos de coleta de dados de temperatura e de umidade do ar. Esses dados de temperatura e de umidade foram registrados utilizando equipamentos do tipo Hobo de forma sincronizada nos oito pontos. O registro dos valores hora a hora para o período das 11h do dia 25/03 e 07h do dia 27/03 teve como finalidade verificar o comportamento das temperaturas ao longo do dia.

Os pontos de medição de temperatura e de umidade do ar foram determinados buscando percorrer as oito classes do Mapa de análises climáticas

Com os pontos determinados, (com endereço listado no apêndice C) buscou-se identificar as possíveis correlações entre elas e a temperatura do ar.

O ponto P1 na classe 2 é uma área de baixa urbanização e baixa taxa de ocupação, próxima a uma área verde e de uma área de encosta. O Ponto P2, na classe 4, localiza-se numa área urbanizada, próxima ao mar. O Ponto P3 da classe 3, corresponde a uma área de transição entre uma área verde e uma urbanizada com elevada taxa de ocupação e volume construído. O Ponto P4 está situado na classe 8, localizado na área mais verticalizada. O Ponto P5 situado na classe 6 representa uma área urbanizada com entorno predominantemente residencial. O ponto P6, na classe 5, configura uma área de ocupação mais horizontalizada. O Ponto P7 localiza-se num espaço urbano aberto próximo a um corpo d'água e o Ponto P8 localizado numa área comercial com alta taxa de ocupação. (Figura 45)

Os valores coletados de temperatura e de umidade do ar (Apêndices D e E), em cada classe, foram comparados e organizados graficamente, como demonstrados nas Figuras 46 e 47, respectivamente.

Incluiu-se o monitoramento das condições ambientais no período em que ocorreu o levantamento de campo. Foram coletados os dados registrados na estação meteorológica de referência, situada no Aeroporto Internacional Castro Pinto.

Os registros horários de pressão atmosférica e de velocidade e direção do vento foram analisados. Para o período de realização das medições verificou-se que houve uma mudança significativa da direção e da velocidade do vento incidente na cidade de João Pessoa. No período observado, foram registrados momentos de calmaria e ventos com velocidades de até 6,3m/s que incidiram nos quadrantes Leste, Sudoeste, Norte e Noroeste. O tempo atmosférico foi classificado com nebulosidade variável entre nuvens esparsas, tempo parcialmente encoberto, e tempo bom.

Figura 45: Distribuição dos 8 (oito) pontos de medição microclimática na malha urbana de João Pessoa – PB

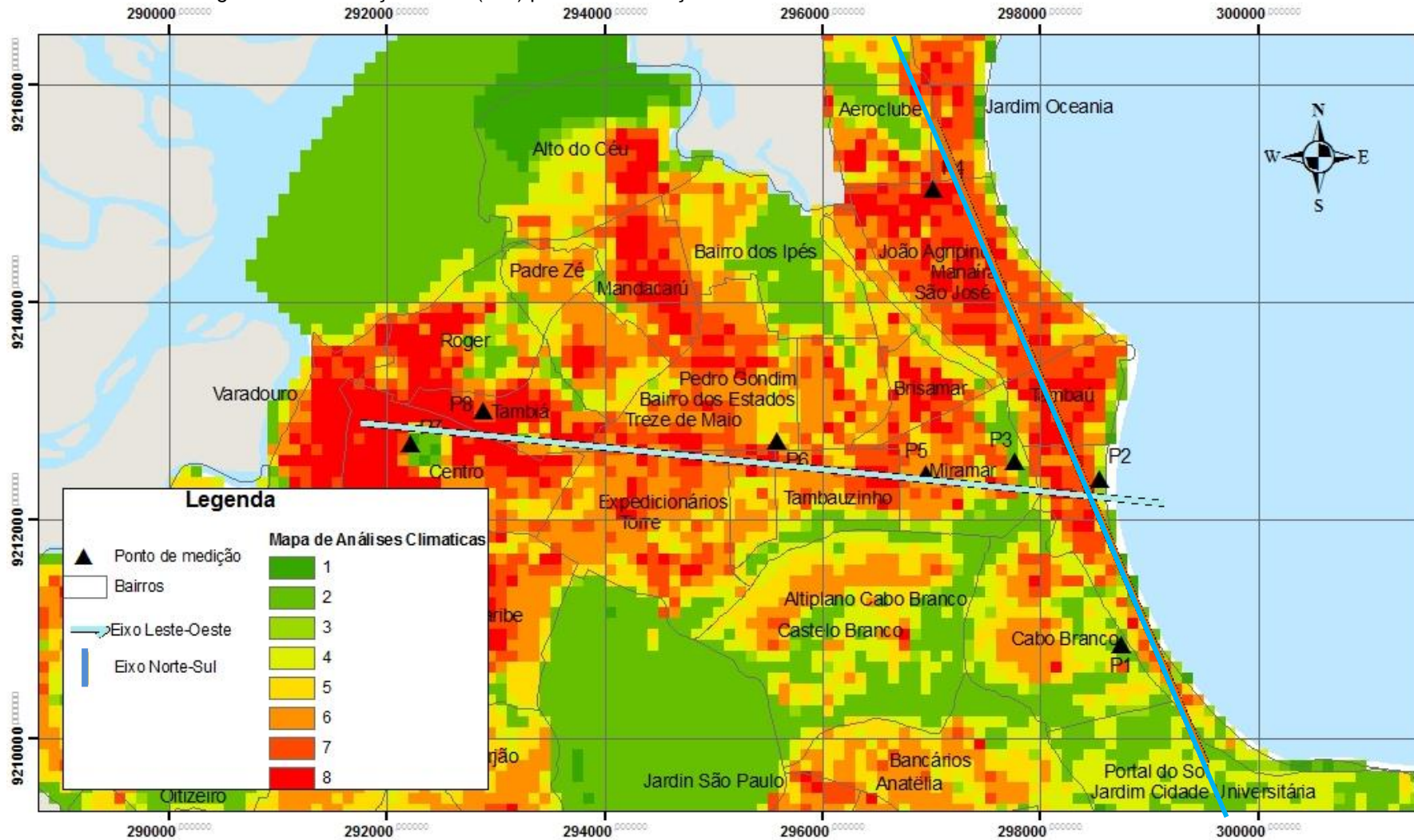


Figura 46: Gráfico de temperatura medida em cada classe climática na malha urbana de João Pessoa – PB

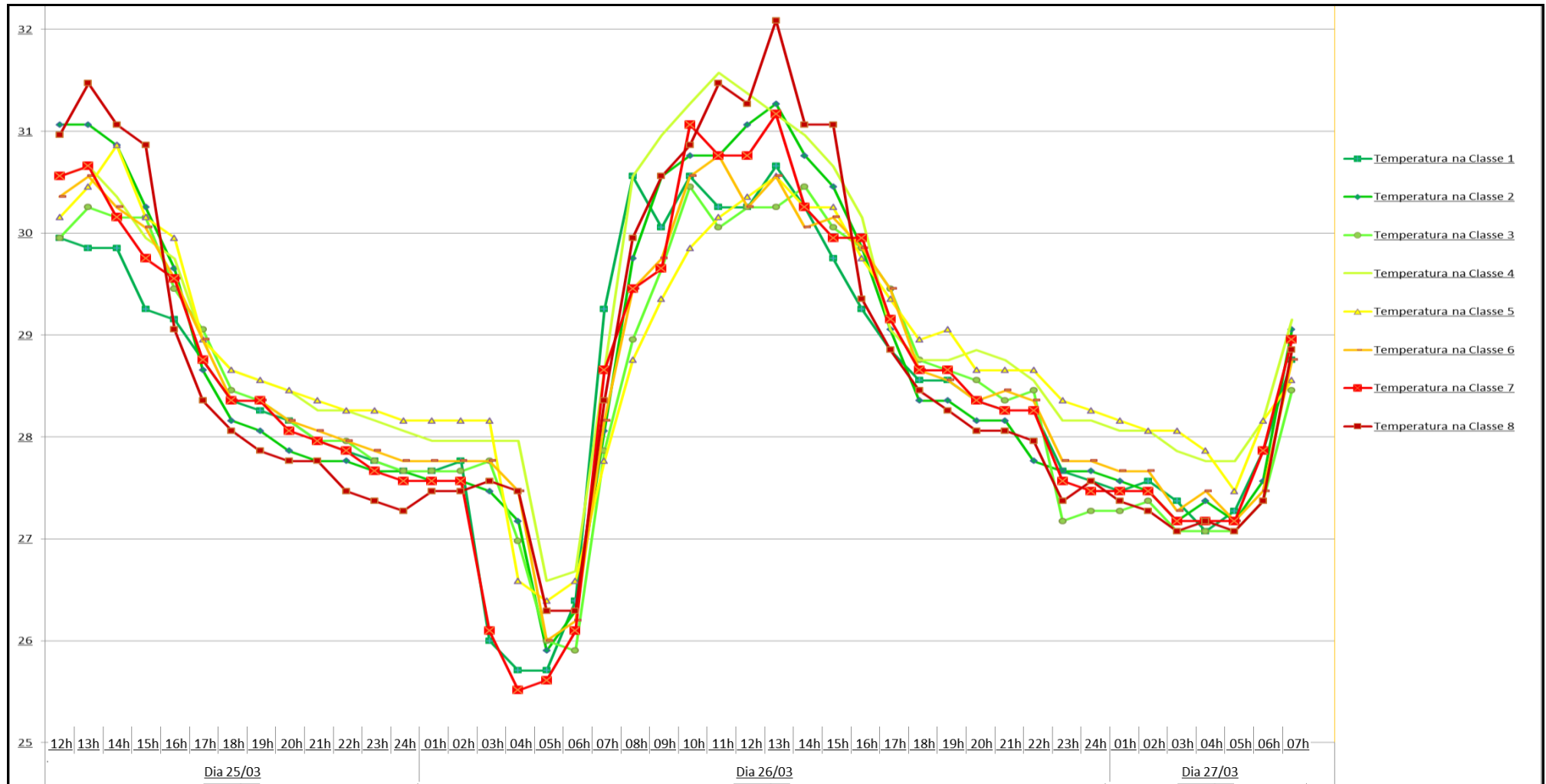


Figura 47: Gráfico de umidade medida em cada classe climática na malha urbana de João Pessoa – PB



A análise dos dados de temperatura e de umidade do ar coletados hora a hora pode demonstrar a influência de outras variáveis climáticas. O Mapa de análises climáticas é construído para a representação de áreas urbanas com características semelhantes quanto ao seu desenvolvimento (cobertura das superfícies e tamanho de espaçamento das edificações). A utilização de dados de temperatura e de umidade coletados pontualmente, aproxima o Mapa de análises climáticas, construído na chamada Mesoescala, para a Microescala. Nessa condição, a orientação da malha urbana, as influências de estruturas vizinhas podem fazer a temperatura variar em muitos graus em distâncias muito curtas. Outras variáveis como, a velocidade do vento e a mudança da direção assumem grande importância. Além disso, a posição do ponto de medição microclimática dentro do pixel de 1 hectare (100m²), pode influir nos resultados.

Nos gráficos apresentados anteriormente observou-se que os picos de aquecimento foram registrados no início da tarde, por volta das 13h. Observaram-se grandes amplitudes entre as classes para os registros simultâneos de temperatura em alguns momentos do dia. Um desses momentos foi registrado nas primeiras horas da manhã do dia 26/03. A inércia térmica, devida ao resfriamento da temperatura de ar durante a noite, associada ao sombreamento nas áreas mais verticalizadas, provavelmente possibilitaram que as classes mais urbanizadas registrassem temperaturas do ar inferiores às temperaturas das classes 1 e 2. Outro momento de diferença significativo de amplitude coincidiu com o pico de aquecimento, no qual se verificou amplitude de 1,8°C nas primeiras horas da tarde, entre a classe 8 e a classe 1 ($T = 30,6^{\circ}\text{C}$ e $T = 28,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Ao longo do dia, a diferença média entre a maior e a menor temperatura do ar entre todas as classes foi de 1,05°C. No que se refere à umidade relativa do ar, foram encontradas amplitudes médias superiores a 6 %.

As diferenças entre as classes de maior e de menor temperatura, registradas logo após o por do Sol, de apenas 0,6°C, não chegam a constituir uma ilha de calor clássica. À noite e nos horários em que se observaram ventos com menor

velocidade, as correlações verificadas. Em alguns casos, as correlações aproximaram-se de “0” (zero) ou foram inversas.

As correlações entre as classes climáticas e os dados de temperatura foram mais fortes quando a estação de referência registrava as maiores velocidades de vento e os ventos incidiam na direção Sudoeste (112°). As correlações deixavam de existir quando os ventos incidiam na direção Leste (90°), ou quando a velocidade dos ventos era menor. Em geral, nesses casos a condição do céu observada era com nuvens esparsas (com incidência da radiação solar direta, durante o dia). Essa condição pode ser um indicativo de que a ausência de ventilação nas áreas de classe climática mais alta colabora na elevação da temperatura do ar, demonstrando que na amostra coletada há relação entre os resultados das medições de campo e as classes do Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB e que os resultados das medições estão em bom acordo.

Apesar dos pontos terem comportamentos térmicos distintos ao longo do dia a análise dos gráficos de temperatura e de umidade comprova um maior comprometimento do ponto de vista climático nas classes 5, 6, 7 e 8, coincidindo com as classes mais verticalizadas. Essas classes tendem a apresentar temperaturas mais elevadas do que classes com menos urbanização ou não urbanizadas (classes 1, 2, 3 e 4).

Vale salientar que mesmo estando em uma área que pode ser classificada como periférica, na estação de referência foram registradas, em alguns momentos, temperaturas mais elevadas do que as registradas em alguns pontos da malha urbana. Esse maior aquecimento na área do aeroporto também foi perceptível nas imagens termais.

6.3. Análise comparativa das zonas climáticas com o macrozoneamento urbano de João Pessoa – PB

Comparando-se o zoneamento climático proposto pela presente pesquisa com o macrozoneamento apontado pelo Plano Diretor de João Pessoa para o uso e ocupação do solo, algumas relações importantes podem ser estabelecidas. O Plano Diretor fundamenta o zoneamento urbano da cidade especialmente em função do potencial de infraestrutura urbana, da condição de ocupação existente e da capacidade de suporte do meio físico natural. (JOÃO PESSOA, 2008)

Sobrepondo o zoneamento climático proposto por, esta pesquisa, ao macrozoneamento estabelecido pelo Plano Diretor de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 2008) algumas divergências podem ser apontadas.

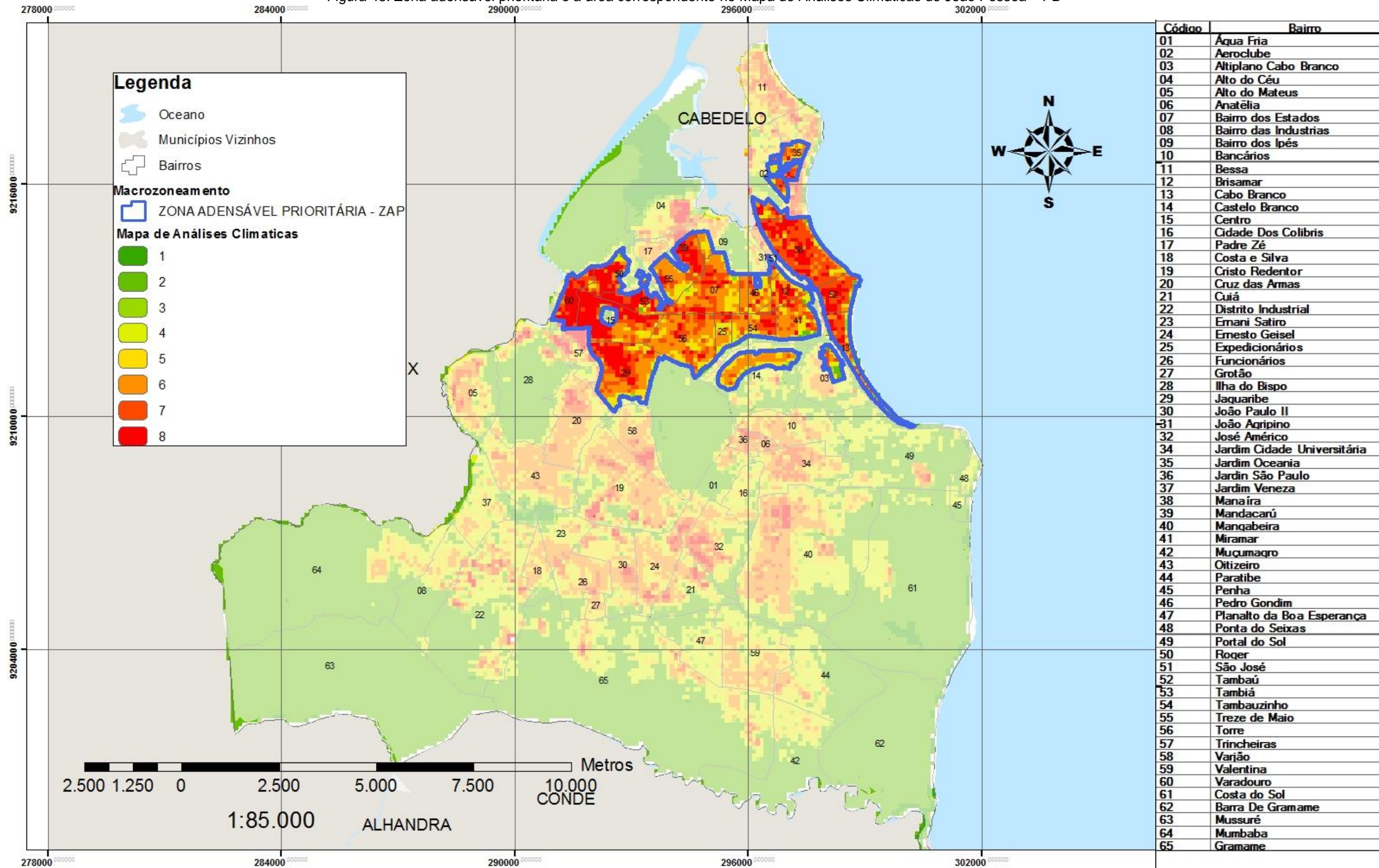
No zoneamento climático proposto, observa-se que grande parte da Zona adensável prioritária – ZAP prevista pelo Plano Diretor equivalem às áreas a serem melhoradas, sob o ponto de vista climático. Na ZAP, observa-se um maior comprometimento da carga térmica. Os tons mais avermelhados, representando as classes 6, 7 e 8 indicam que, onde o adensamento é prioritário, já há um comprometimento climático, pois há pouca permeabilidade (porosidade) aos ventos e escassez de vegetação e de espaços abertos.

O Plano Diretor sugere o adensamento urbano nessa porção da cidade, ao tempo em que o mapa climático indica que essas áreas merecem atenção quanto às suas condições climáticas locais, particularmente nas porções da orla marítima dos bairros Manaíra, Tambaú, Cabo Branco, caracterizados pelo alto adensamento, a vegetação praticamente inexistente e a elevada impermeabilização do solo, também se observa comprometimento climático nas áreas mais comerciais, como os bairros do Centro e da Torre, onde os afastamentos e os recuos são reduzidos ou inexistentes, o que colabora para pouca porosidade dos ventos locais, essas áreas também são comprometidas do ponto de vista climático. A escassez de vegetação e de espaços abertos tem ainda como consequência o desconforto térmico.

As áreas classificadas como 6, 7 e 8, em que o comprometimento térmico é classificado como “forte”, “muito forte” e “ilhas de calor”, requerem medidas do Planejamento Urbano que mitiguem os efeitos da carga térmica, que garantam a ocupação da área com menores índices de impermeabilidade do solo e maior circulação dos ventos no interior da malha urbana (Figura 48).

Atualmente, essas áreas encontram-se altamente adensadas em virtude da valorização imobiliária da região, que alimenta o processo de substituição de edificações unifamiliares por multifamiliares. No entanto, assim como em todo o espaço urbano da cidade, os construtores se deparam com algumas limitações. Os índices urbanísticos estabelecidos pelo Código de Urbanismo e Edificações de João Pessoa, por exemplo, limitam a taxa de ocupação, regulam os recuos e, conseqüentemente, o gabarito das edificações, sendo tais limitações fundamentais na definição da configuração urbana da cidade, em especial, na manutenção da qualidade climática do espaço urbano. Mesmo assim, essas limitações são insuficientes para garantir que não haja comprometimento na ventilação e conseqüências no conforto térmico, na saúde e no consumo energético decorrentes da ausência de ventilação.

Figura 48: Zona adensável prioritária e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB

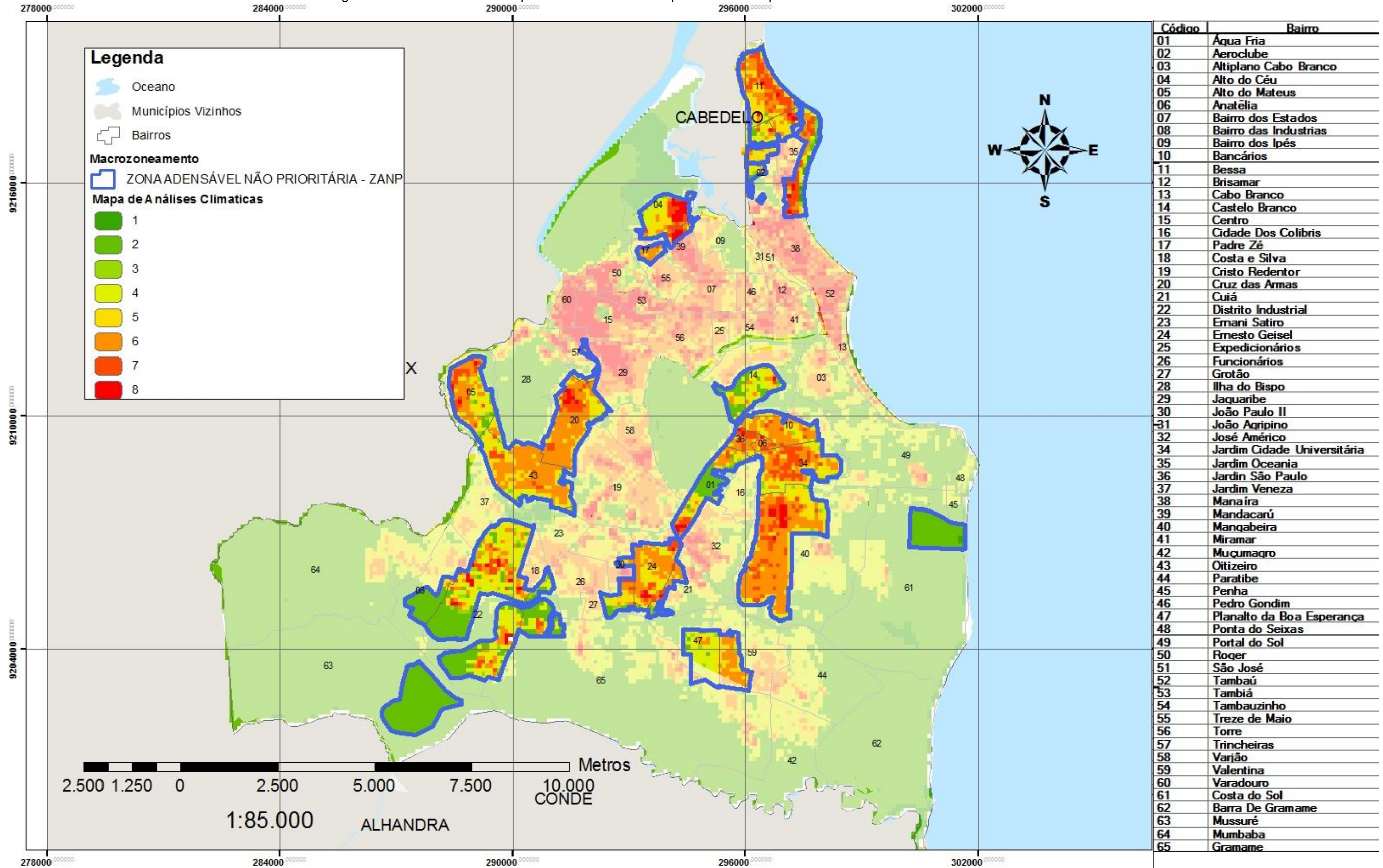


Na zona adensável não prioritária – ZNAP, o plano diretor limita o adensamento, permitindo uma intensificação moderada do uso e ocupação do solo devido a limitações ou à falta de um dos sistemas da infraestrutura básica (especialmente redes de água e esgoto).

Apesar das limitações relacionadas ao adensamento, não é apenas o diferencial de alturas das edificações que pode acarretar comprometimento das condições térmicas do local, critérios urbanísticos como a taxa de ocupação (relacionados a recuos e espaçamentos entre as edificações) também são importantes. Observa-se que parte da ZANP nos bairros Bessa, Jardim Oceania, Cruz das Armas, Bancários, Mandacaru e Mangabeira apresentam características diversificadas com intensidade de ocupação média ou baixa. Apesar disso, a confrontação com o Mapa de análises climáticas demonstra um predomínio das classes climáticas 5 e 6, (classificadas como carga térmica baixa e carga térmica relevante). O adensamento nessas classes, principalmente na classe 5, é marcado por um misto de casas e blocos residenciais de até quatro pavimentos, com poucos espaços verdes. Pontualmente, é possível identificar áreas com volume construído mais acentuado (classe 6), indicando que a pouca permeabilidade (porosidade) da estrutura urbana obstrui a circulação dos ventos locais. (Figura 49).

As recomendações a fim de evitar o comprometimento climático ainda maior no futuro demonstram que a implantação de infraestrutura urbana deve estar associada a melhorias das condições climáticas locais, definição de critério de ocupação e presença de espaços abertos e áreas verdes.

Figura 49: Zona adensável não prioritária e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB

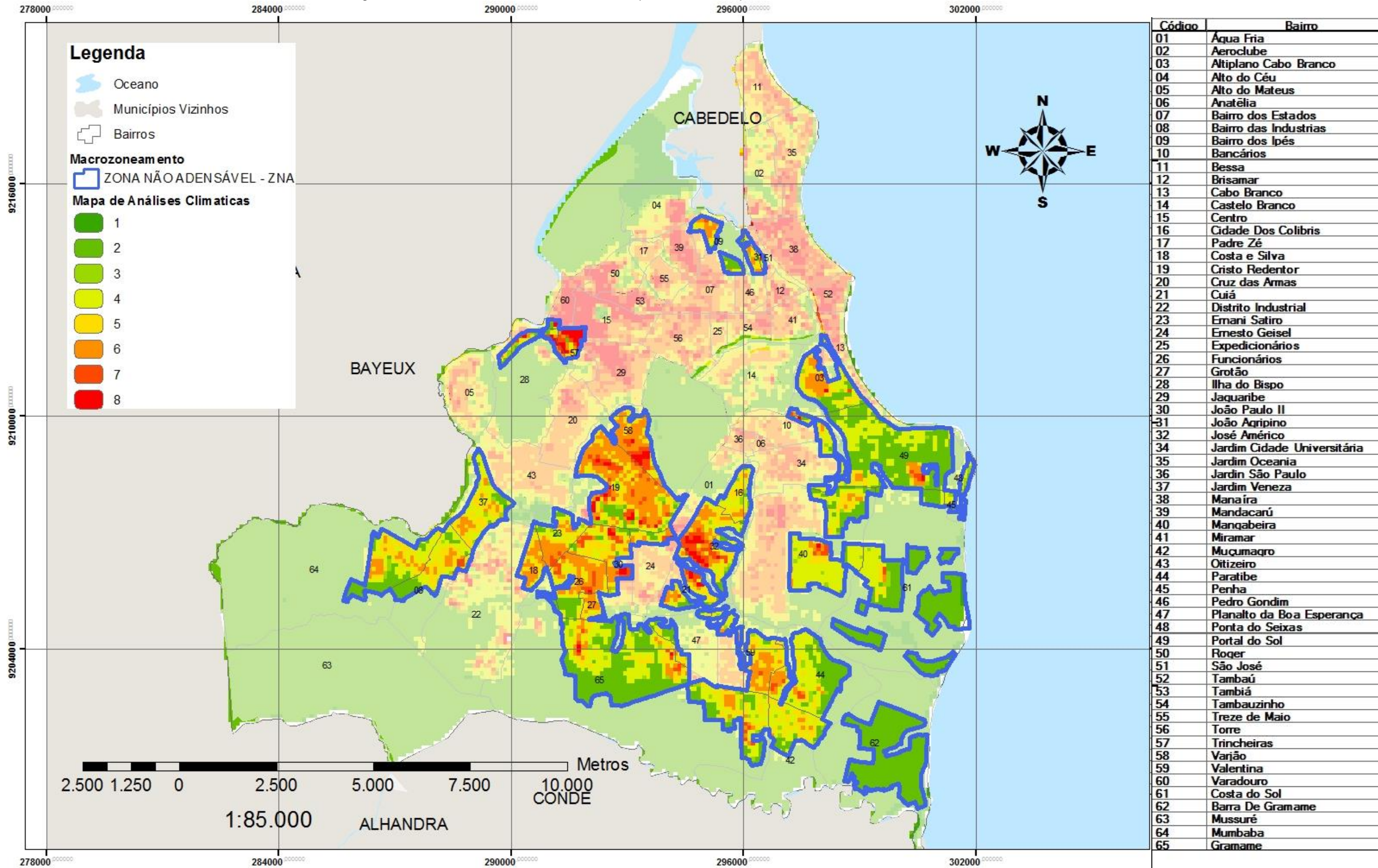


A Zona não Adensável - ZNA compreende áreas que estão em processo de ocupação e expansão urbana. Nessas áreas há ausência de infraestrutura, que limitam, segundo o plano diretor, o processo de adensamento. A zona não adensável engloba bairros do como Portal do Sol, Muçumago, Valentina, Gramame, Bairro das Indústrias, Jardim Veneza e Paratibe , quando confrontando com mapa de análises climáticas, verifica-se que a malha urbana encontra-se classificada como 4 (atividade climática relevante) e 5 (carga térmica baixa), há também alguns vazios urbanos, classificados com 3 (atividade climática baixa).

As áreas são caracterizadas pela presença de edificações residenciais de gabarito em altura reduzido, de espaços abertos e de baixa rugosidade. Embora sejam identificadas também regiões mais comprometidas (classe 5) do ponto de vista climático, em que há redução da cobertura vegetal e do espaçamento entre as edificações.

Devido à sua localização, grande parte da ZNA está na periferia, ou nas franjas urbanas, podendo favorecer o escoamento dos ventos, ajudando a combater a elevação da temperatura do ar principalmente nas regiões mais centrais da cidade. A manutenção das áreas verdes, melhora da vegetação urbana e aproveitamento dos vazios urbanos com a implantação de espaços públicos de lazer são artifícios que podem contribuir para a qualidade térmica dessas áreas. (Figura 50)

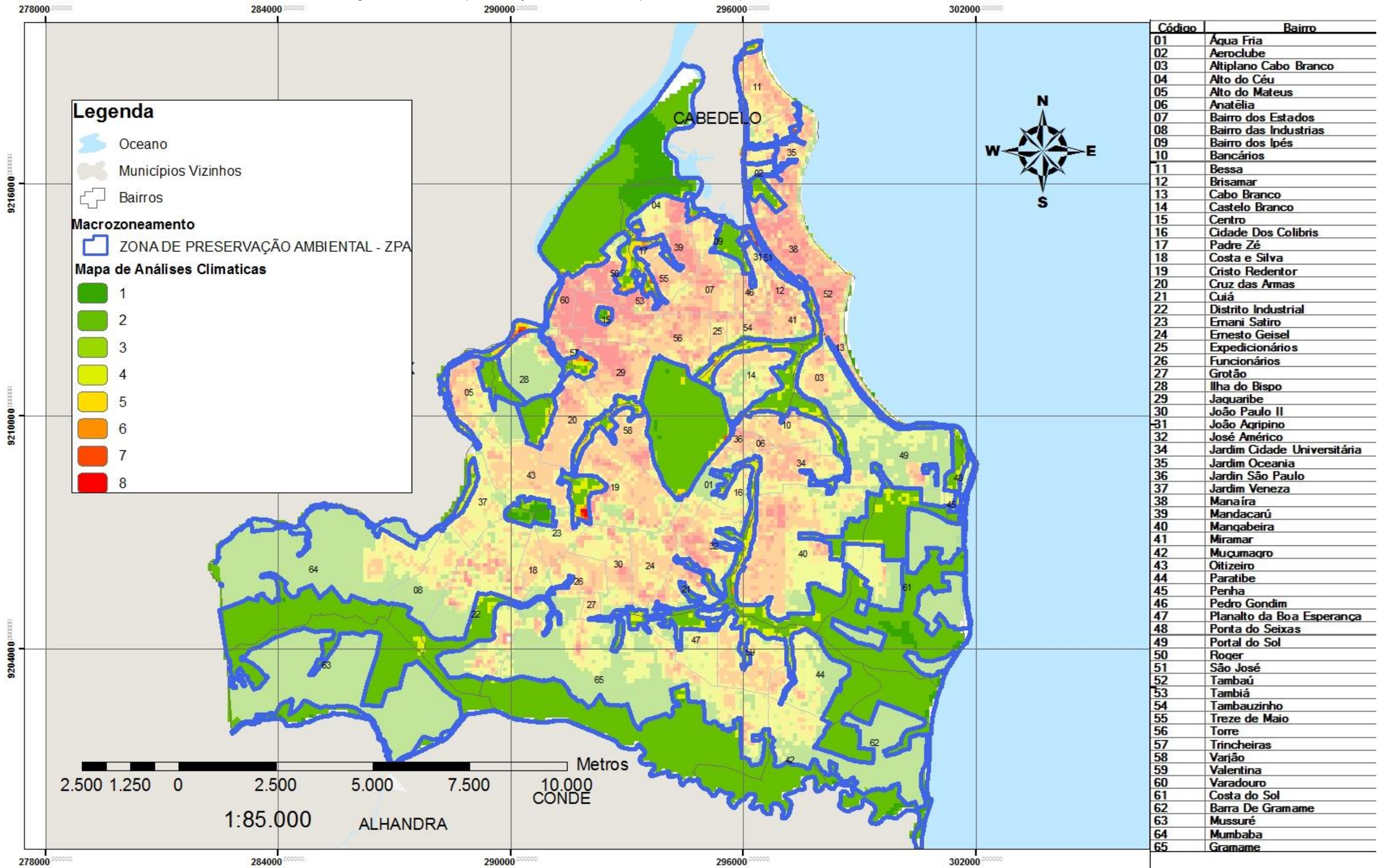
Figura 50: Zona não adensável e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB



A Zona de preservação é constituída por áreas de fragilidade ambiental, áreas rurais com deficiências de infraestrutura urbana, baixa intensidade de ocupação. São áreas, localizadas nos bairros ao sul da cidade, como Gramame, Musuré, Mumbaba e na orla marítima dos bairros que não foram ocupados pela urbanização como Costa do Sol e Barra de Gramame. Essa Zona também é encontrada de forma fragmentada dentro da malha urbana, pois inclui áreas de mananciais, encostas dotadas de vegetação e vales ou bacias de recarga cujas condições ambientais exigem controle na ocupação e nas atividades a serem implantadas.

A Zona de preservação corresponde às áreas onde a ocupação urbana deve ser evitada. Segundo a classificação climática sugerida no mapa de análises, essas áreas devem ser preservadas por razões climáticas. As áreas vegetadas e as localizadas próximas a corpos d'água promovem a redução da temperatura do ar pelos efeitos da evapotranspiração das plantas, aliado à absorção de parte da radiação solar pela vegetação e pela presença de brisas provenientes dos corpos d'água. Por essas razões, as temperaturas são propensas a serem mais amenas favorecendo o clima local. (Figura 51)

Figura 51: Zona de preservação e a área correspondente no Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa – PB



7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos, apoiados no conhecimento sobre os efeitos da urbanização no clima local, permitiram constatar que há influência da cidade sobre as características térmicas e dinâmicas do vento. A malha urbana, em grande parte do território de João Pessoa, pode ser responsável por mudanças na qualidade térmica dos espaços externos.

A cidade de João Pessoa contribui para o aumento da carga térmica, pois, além da ausência de cobertura arbórea, há ainda uma predominância de edificações horizontais térreas e de altos índices de volume construído, sem que haja grandes fragmentações da malha urbana. Essa configuração pode ser agravada pela ausência ou deficiência de espaçamentos entre as construções e a uniformidade de alturas, principalmente nos locais onde as edificações são conjugadas ou onde os recuos são praticamente inexistentes, dificultando uma melhor distribuição do fluxo de vento ao nível da edificação. Os aspectos de ventilação são abordados a seguir, na análise do potencial dinâmico.

Os dados de temperatura e de umidade do ar, quando comparados com as classes existentes no Mapa de Análises Climáticas, indicam que, para o período em que os mesmos foram coletados, num mesmo instante, existiu variação de, aproximadamente, 2 °C na temperatura do ar. Ao longo do dia, a diferença média entre a maior e a menor temperatura foi de 1 °C. No que se refere à umidade relativa do ar, foram encontradas amplitudes médias superiores a 6 %.

As maiores correlações entre as temperaturas e as classes climáticas foram verificadas quando na estação de referência, registravam-se as maiores velocidades dos ventos e esses incidiam na direção Sudoeste (112°). As relações deixavam de existir quando os ventos insidiam na direção Leste (90°) ou quando a velocidade dos ventos era menor. Essas correlações podem ser um indicativo de que a ausência de ventilação nas classes com maior volume construído tende a dificultar as trocas térmicas, elevando a temperatura do ar, quando comparada com a temperatura nas áreas mais abertas, verde e próxima a corpos d'água.

As reduções nas amplitudes térmicas foram observadas nos períodos em que, na estação de referência, registraram-se as menores velocidades dos ventos.

Isso pode ser um indício de que na ausência de ventilação as condições térmicas se equivalem, independente do volume construído.

As análises das imagens termais não possibilitaram identificar a importância do volume construído na elevação da temperatura, o que pode ser um indicador de que para João Pessoa – PB, os critérios de rugosidade e porosidade frente ao escoamento dos ventos são de suma importância para a minimização dos efeitos da carga térmica.

A cidade João Pessoa é caracterizada pela concentração de áreas verdes. A importância dessas áreas para redução dos efeitos adversos da carga térmica demonstram a necessidade de uma melhor disseminação dessas áreas em toda a malha urbana do município, de forma que seja possível conciliar a presença da cobertura vegetal com as atividades antrópicas ligadas ao uso e à ocupação do solo.

Sobre o uso e a ocupação do município de João Pessoa, é importante destacar que, apesar do Plano Diretor municipal (João Pessoa, 2008) citar a proteção, a preservação, a recuperação e a adequação das características físico-ambientais de forma a impedir a deterioração ou desequilíbrio do meio, as normas e diretrizes do Plano Diretor não estão em conformidade com as classes climáticas.

O confronto do Plano Diretor com o Mapa de Análises Climáticas demonstra que, onde o adensamento é prioritário, já existe comprometimento do ponto de vista climático ensejando o surgimento de áreas propensas à formação de ilhas de calor. Nas áreas nas quais o adensamento não é prioritário ou não adensável, onde a ocupação do solo é moderada, surgem alertas para questões relacionadas à rugosidade, principalmente à redução dos recuos entre as edificações.

A concentração de áreas verdes se dá, principalmente, nas áreas de preservação existentes, o que conduz ao entendimento da necessidade de inserção de recomendações no Plano Diretor relacionadas ao incentivo de incluir outras áreas verdes na malha urbana da cidade.

As áreas desocupadas sem zoneamento coincidem com áreas importantes para minimização das temperaturas do ar. A mudança de uso do solo, a fim de possibilitar a expansão urbana no futuro, deve ser vista com cautela pelos gestores e planejadores.

A articulação entre as legislações urbanísticas referentes ao ordenamento físico da cidade e às informações produzidas no âmbito acadêmico pode contribuir na resolução do problema ambiental e urbano. Aliado ao Plano Diretor de João Pessoa, o Mapa de análises climáticas pode conduzir o uso e a ocupação do solo de forma mais eficiente, fazendo com que a legislação urbanística do município contemple os aspectos referentes à infraestrutura do meio urbano e considere as condições climáticas locais. A importância de incorporar as questões climáticas na legislação urbanística de João Pessoa – PB se dar pelos possíveis danos que podem ser causados pelo modelo de ocupação proposto pelo Plano Diretor da cidade, se/quando, a ocupação atingir sua plenitude.

7.1. Trabalhos futuros

A presente pesquisa permite várias possibilidades de ampliação. O Mapa de Análises Climáticas é apenas o passo inicial da temática que compreende o mapeamento climático. Este passa por outras pesquisas que devem dar continuidade a esta.

Listam-se algumas possibilidades de sua continuidade:

- coletar séries de dados de velocidade dos ventos dentro da malha urbana;
- gerar o mapa de recomendações ao planejamento;
- ampliar as medições microclimáticas;
- correlacionar às classes climáticas com o índice PET;
- simular os modelos de rugosidade em túnel de vento;
- adotar modelos em macro escala em *softwares* de fluxo dinâmico;
- confrontar o Mapa Climático com o de micro zoneamento.

7.2. Limitações

Algumas carências referentes aos dados cartográficos e às limitações de recursos e a escassez de estações meteorológicas podem ser alertas para trabalhos futuros que possam vir a continuar este tipo de pesquisa.

Os dados referentes às edificações são de suma importância para o resultado das pesquisas. Recursos como perfilhamento a laser podem gerar as projeções das edificações assim como sua altura. Coletar esses dados *in loco* e de forma manual, vetorizados as imagens exigiu um trabalho braçal, que demandou muito grande tempo dessa pesquisa.

A instalação de um número maior de equipamentos daria ainda mais subsídios ao Mapa de análises climáticas, possibilitando tratamentos estáticos mais complexos.

O uso dos Sistemas de Informações Geográficas necessita de um bom desempenho computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO, M. J. **Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns Apontamentos.** Finesterra, 1999. <disponível em : http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/1999-6768/6768_09.pdf>.

ALCOFORADO, M. J.; Lopes, A.; ANDRADE, H.; VASCONCEL, J. **Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa.** Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 2005.

ALMEIDA, C. M. **O Diálogo entre as Dimensões Real e Virtual do urbano Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual.** Oficina de textos 2009.

ASSIS, E. S; RAMOS, J. G. L; SOUZA, R.V.G.; CORNACCHIA; G. M. M.; **Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras,** Ouro Preto, 2007

ATLAS GEOGRÁFICO E CULTURAL DO ESTADO DA PARAÍBA IDEME - Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba 2008.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Senso demográfico 2010**

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257 -, Estatuto das Cidades,** 2001.

BAPTISTA, G. M. M.; TEZA, C. T. V. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005.

BATISTELA, T. S. **O zoneamento Ambiental e o desafio da construção da gestão ambiental urbana.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Brasília, Brasília 2007.

Constituição da Paraíba. Capítulo IV – Da proteção do meio ambiente e do solo, Art. 229. Promulgada em 1989. Disponível em: <http://www.pm.pb.gov.br/download/Constituicao_Estadual.pdf>

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; DAVIS C.; VINHAS, L. CURITIBA, **Bancos de Dados Geográficos** Editora Mundogeo, 2005.

CÂMARA, Gilberto et. al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográficas.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>> Acesso em: 07 nov. 2009.

CARVALHO, H. J. M. **Metodologia para a análise das interações entre a forma urbana e o clima: aplicação a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude**. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, 2006

CASTRO, C. S. **Geoprocessamento aplicado a gestão de uso ou ocupação de faixa de domínio de rodovia**. Monografia (Especialização), UFMG, 2007.

Department of Architecture, **CUHK – Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study – Working Paper 1A: Draft Urban Climatic Analysis Map**, 2008.

DESMOULIÉRE, S.J. M. **Ilha de calor e saúde em Manaus: abordagem com geoprocessamento**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, 2011.

DUARTE, M. L. F. **Comportamento microclimático urbano: Estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa- PB**, Dissertação de Mestrado, UFPB, 2011.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**
www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-18072006-182858/pt-br.php, 2000

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A.. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista. Universidade Federal de Pernambuco Disponível em:
<<http://www.revista.ufpe.br/politicohoje/index.php/politica/article/viewFile/6/6>>, 2008.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos 2008

GATLAND, L. **Ilha de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Oficina de Texto, 2010.

GUERRA, V. M. M. **Verificação da influência do padrão de ocupação do solo urbano no topo de parte da falésia do Cabo Branco, em João Pessoa-PB, na variável climática vento**. Dissertação de Mestrado. UFPB, 2005.

HOWARD, L. **The climate of London**. Disponível em: <http://urban-climate.com/wp3/wp-content/uploads/2011/04/LukeHoward_Climate-of-London-V1.pdf>, 1833.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009.

JOÃO PESSOA, **Lei Complementar Nº 054**, de 23 de dezembro de 2008.

_____, **Plano municipal de conservação e recuperação da mata atlântica João Pessoa**, novembro de 2010.

_____, **Lei Orgânica do Município.** Disponível em <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/Lei_Organica_de_Joao_Pessoa.pdf>

_____, **Outorga Onerosa 5454/05** Disponível em <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao/>>.

_____, PMJP <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/imagens/galerias/turismo/big/litoral.jpg>> acesso em: 22 de mar. 2009

_____, **Plano Diretor da Cidade de João Pessoa.** Disponível em <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao/plano-diretor-da-cidade/>>

KATZSCHENER, L. **The contribution of urban climate studies to a new urbanity.** Anais Encac 1995.

KATZSCHENER, L. **Urban climate studs as tools for urban planning and architecture.** Anais Encac 1997.

KATZSCHNER, L.; REINHOLD, M.; LOURENCO, L.D. **Urban climate in the context of a sustainable development,** Encac 1999.

KATZSCHNER, L. **The contribution of urban climate studies to a new urbanity.** In: Encac, 2005.

KATZSCHNER, L. **New developments in applied urban climatology.** In: Encac, 2007

KATZSCHNER L.; ANDRADE, T. NERY, J; MOURA T.; **Mapeando as condições de conforto térmico em Salvador.** 2008.

KLIMAATLAS REGION STUTTGART 2008 <http://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/klima-atlas/Klima-atlas-Region-Stuttgart-2008.pdf>

MASCARÓ, L.; **Vegetação urbana,** 1ed. UFRGS, Porto alegre, 2002.

MARTINS, V.P. **Análise ambiental e legal do processo de ocupação e estruturação urbana da cidade de João Pessoa – PB, numa visão sistêmica;** Dissertação de Mestrado, PRODEMA UFPB/UEPB, João Pessoa, 2006.

MCHARG, Ian. **Design with Nature.** New York: Natural History Press, 1969.

MELO, J. D. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídios a decisões de planejamento.** Dissertação de Mestrado, Maceió 2009.

MONTEIRO, M. V e CÂMARA, G. **Conceitos básicos em ciência da Geoinformação.** 2008.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. Livre docência. Universidade de São Paulo. 1975.

MONTEIRO, C. A. F., MENDONÇA F. **Clima Urbano**. Editora Contexto 2011.

NERY, J., ANDRADE, T., MOURA, T.. **Conforto térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual**. 2008. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3155/2267>>. Acesso em: 02 Out. 2012.

NERY, J et.al.: **Primeira Aproximação para estudo de clima urbano em Salvador**, Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Salvador/Ba 1997

OLIVEIRA J. L. A. **Uma Contribuição aos Estudos Sobre a Relação Transportes e Crescimento Urbano: O Caso de João Pessoa – PB**. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. 2006.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 1978

_____, **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. 2006.

PEREGRINO, P. S. A. **Interrelações existentes entre os escoamentos de ventos e os padrões de ocupação do solo nos bairros de Cabo Branco e Tambaú/ João Pessoa – PB**. Dissertação de Mestrado, UFPB, 2005,

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e Clima Urbano: Aplicação dos Recursos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas na cidade de Piracicaba, SP** Tese de Doutorado USP 2009.

QUEIROGA, S, C. C. **Verificação da eficiência do dimensionamento de aberturas para ventilação natural, nos bairros cabo branco e Tambaú, na cidade de João Pessoa-PB**. Dissertação de Mestrado UFPB, 2005.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do autor, 2000.

ROCHA J. V. **O sistema de informações geográficas no contexto do planejamento integrado de bacias hidrográficas**. 2002

SANTOS J. H. A. **Determinação e verificação de ângulos de céu decorrentes dos padrões de ocupação do solo nos bairros de Cabo Branco e Tambaú em João Pessoa – PB**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, março de 2007. Disponível em: <<http://www.ct.ufpb.br/pos/engurbana/arquivos/dissertacoes/07-2005.zip>>

SILVA, F. A. G. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao nordeste do Brasil.** Tese de Doutorado. São Paulo: FAUUSP, 1999.

SILVA, L. M. T. **A Paisagem Ameaçada do Cabo Branco no Extremo Oriental das Américas, em João Pessoa, Paraíba.** XII Encuentro de Geógrafos da América Latina. IN: http://egal2009.easyplanners.info/area07/7399_Silva_Ligia_Maria_Tavares_da.pdf Montevideo, 2009.

SILVEIRA, J. A.; RIBEIRO E. L.; AMORIM, R. P. L. **Percursos, morfologia e sustentabilidade na cidade de João Pessoa PB** Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/09.098/1878>> 2008.

SOBREIRA, L.C **Expansão urbana e variação mesoclítica em João Pessoa – PB,** João Pessoa 2010.

SOUZA, L. C. L.; PEDROTTI, F.S.; LEMES, F. T. **Consumo de Energia Urbano: Influência do perfil do usuário; da geometria urbana e da temperatura.** Maceió, 2005

SOUSA, S. B; FERREIRA, L. G. **Análises da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011).** Confins Revista Franco-brasileira de geografia n°15, 2012.

SOUZA, V. S. **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa – PB. Dissertação de Mestrado.** Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. UFPB 2010.

SOARES R. A. S. **Utilização de técnicas de geoprocessamento na Identificação de locais críticos de acidentes de trânsito.** Monografia, CEFET, 2008.

TARIFA, J.R.; ARMANI, G. **Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo – Atlas ambiental do município de São Paulo (Fase I) - São Paulo,** Laboratório de Climatologia, Universidade de São Paulo, USP. 2000. Disponível em <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br>>

VÍCTOR O. **Sistema de Información Geográfica** Versión1, 2011

VIDAL, R. D. M. **Morfologia urbana e ilhas de calor: Temperatura do ar na cidade de Natal,** Universidade de Brasília, 1991.

VILELA J. A. **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG.** Dissertação de Mestrado. UFMG. 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/RAAO7BRFXX/1/disserta_o_jacqueline_vilela.pdf>.


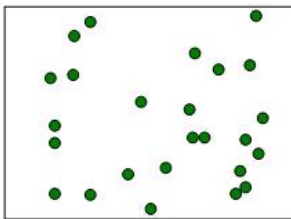

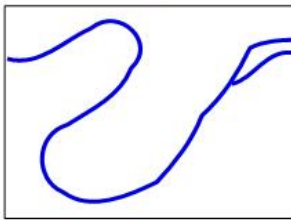

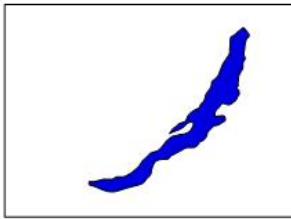
APÊNDICE

APÊNDICE A - Representação dos dados espaciais urbanos

Os dados espaciais são aqueles que podem ser representados sob uma forma gráfica. Para Camara *et. al* (2008), as estruturas de dados utilizados nos SIG podem ser divididas em duas classes: estruturas vetoriais e estruturas matriciais.

As estruturas vetoriais são compostas por três formas básicas; pontos, linhas e áreas (ou polígonos) e utilizam um sistema de coordenadas cartesianas, como mostrado na Figura A1. Este tipo de representação não é exclusivo do SIG, sistemas como o CAD também utilizam representações vetoriais. Contudo, o uso de vetores em SIG é bem mais sofisticado do que o uso em CAD, pois, em geral, o SIG envolve volumes de dados bem maiores e conta com recursos para tratamento de topologia (elementos duplicados ou sobrepostos), associação de atributos alfanuméricos e indexação espacial.

Figura A1: Representação vetorial

	Entidade espacial	Representação	Atributos																					
Árvores pontos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diâmetro Normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17,5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27,2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19,7</td> <td>36,1</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID	Altura	Diâmetro Normal	1	17,5	35	2	22	45,6	3	15	27,2	4	19,7	36,1	⋮			⋮		
ID	Altura	Diâmetro Normal																						
1	17,5	35																						
2	22	45,6																						
3	15	27,2																						
4	19,7	36,1																						
⋮																								
⋮																								
Rios linhas			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx(m)</th> <th>Calado máx(m)</th> <th>Longitud(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>4,3</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6,3</td> <td>3,9</td> <td>5,2</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)	15	4,3	35	6,3	3,9	5,2												
Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)																						
15	4,3	35																						
6,3	3,9	5,2																						
Lagos polígonos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie(km)²</th> <th>Profundidad máx(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table>	Superficie(km) ²	Profundidad máx(m)	31494	1637																	
Superficie(km) ²	Profundidad máx(m)																							
31494	1637																							

Fonte: Olaya, (2011).

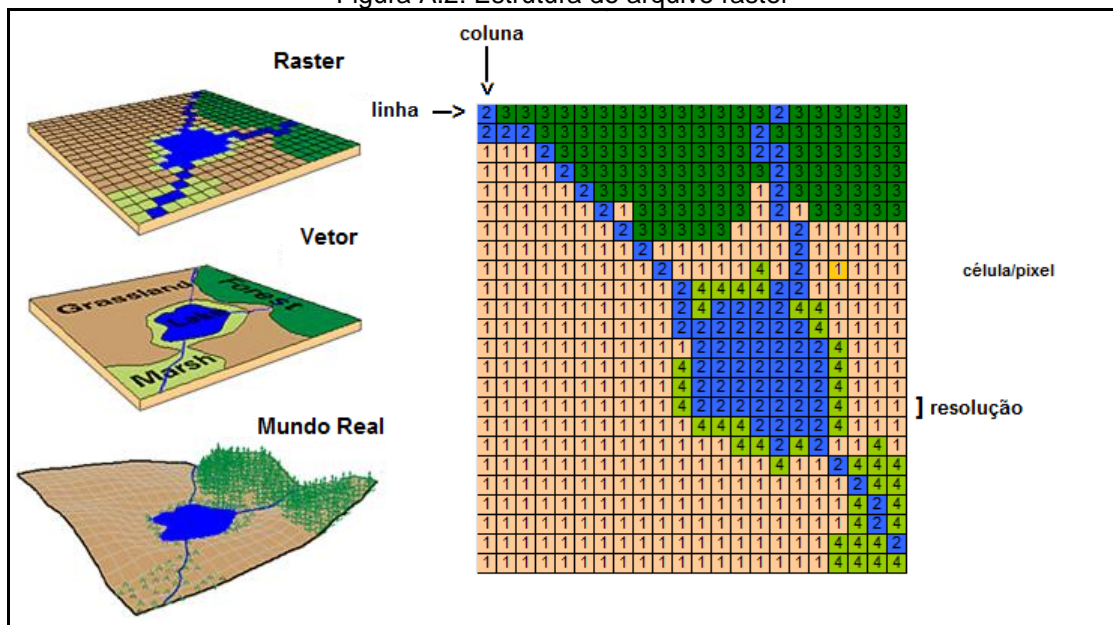
Um ponto é um par ordenado (x,y) de coordenadas espaciais que pode ser utilizado para identificar localizações ou ocorrências no espaço. Como exemplos, a identificação de elementos pontuais como postes, localização de crimes, ocorrências

de doenças e localização de espécies. Uma linha é um conjunto de pontos conectados utilizados para guardar feições — unidimensionais, como a definição de eixos de ruas. Os polígonos são formados por um conjunto de pontos conectados que definem uma região no plano cartesiano. Os polígonos são usados para representar, áreas, unidades espaciais individuais (lotes, setores censitários, distritos, municípios e etc.).

Os dados espaciais também podem ser armazenados em uma estrutura matricial, ou em grade (*raster structure*) sobre a qual é expresso, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula. O espaço geográfico é representado por uma matriz $M(n, m)$, com n linhas e m colunas, na qual cada célula, denominada de pixel, apresenta um valor z que pode indicar uma cor ou tom de cinza que lhe é atribuído. Ou seja, cada pixel contém uma informação espacial ou alfanumérica relativa à porção de um terreno ou elemento representado (FITZ, 2008).

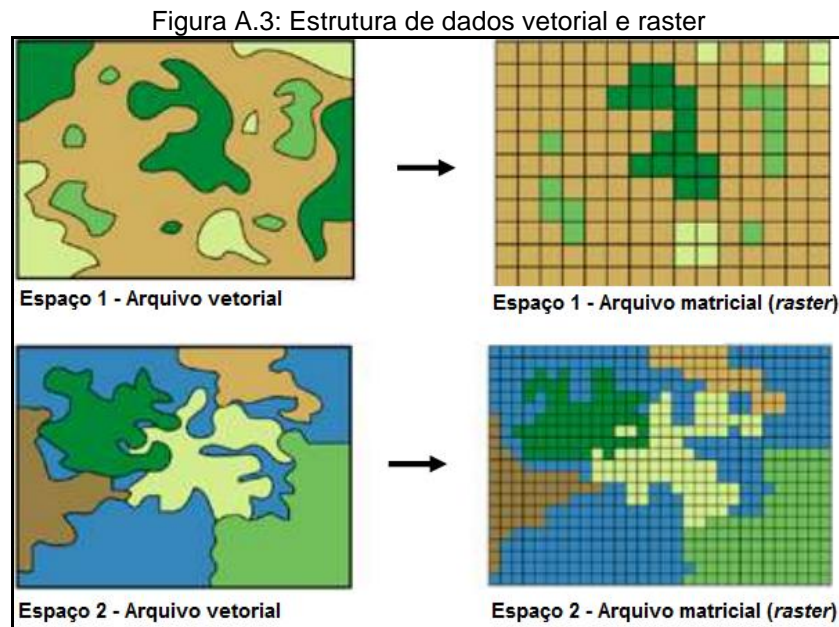
Na representação matricial, supõe-se que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana em que cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área coberta por ela no terreno, como mostrado na Figura A.2.

Figura A.2: Estrutura do arquivo raster



Fonte: Adaptado de Câmara (2008).

Os produtos advindos do sensoriamento remoto, como imagens de satélite, fotografias aéreas digitais, além dos mapas digitalizados, utilizam o formato *Raster* como formato de armazenamento de dados. Uma comparação entre os dois tipos de estruturas de dados espaciais (vetorial e matricial) pode ser observada na Figura A.3.

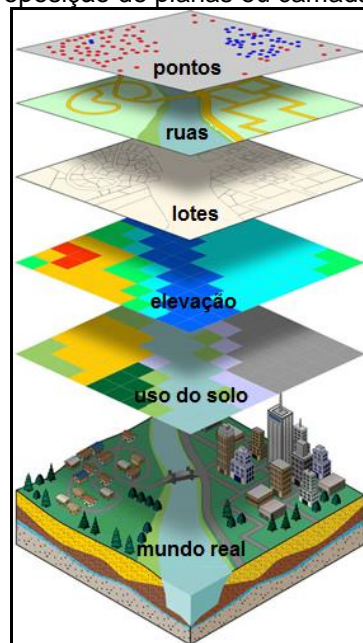


Fonte: Adaptado de Esri

APÊNDICE B - Análise geográfica de dados - Álgebra de mapas

Para Fitz (2008), em um SIG, talvez o procedimento mais importante seja a capacidade de executar a sobreposição de camadas de dados espaciais, conhecida como *overlay* na literatura. Os SIG, como boa parte dos *softwares* gráficos, a exemplo do CAD, separam os dados em camadas de informações (*layers*). A diferença entre um programa gráfico tradicional e um SIG está no âmbito cartográfico. Num SIG, essas camadas são georreferenciadas, isto é, estão vinculadas a um banco de dados georreferenciados e podem ser livremente manipuladas, gerando informações adicionais às pré-existentes. A Figura A.4 procura apresentar a simples sobreposição de planos de informação individuais e o seu resultado final.

Figura A.4: Sobreposição de planos ou camadas de informações



Fonte: ESRI

A conversão de informações geográficas do mundo real para uma base de dados digital compreende uma série de procedimentos, que passam, inicialmente, por uma listagem dos aspectos que devem ser abordados, posteriormente, pelo levantamento dos dados existentes, em seguida, é necessária a pesquisa de campo para atualizar e coletar dados e, por fim, a realização da análise de dados.

O exercício de sobreposição de camadas pode dar-se tanto em arquivos *raster* quanto em arquivos vetoriais. Porém, a manipulação de dados *raster* tem se mostrado mais eficiente, por suas características, pois são facilmente trabalhadas nos programas de SIG. A posição ocupada por cada pixel da imagem está vinculada a um par de coordenadas associado a atributos específicos. Assim, cada célula (*pixel*) terá uma coordenada conhecida, relacionada a um determinado sistema de coordenadas e com um valor específico que lhe é associado.

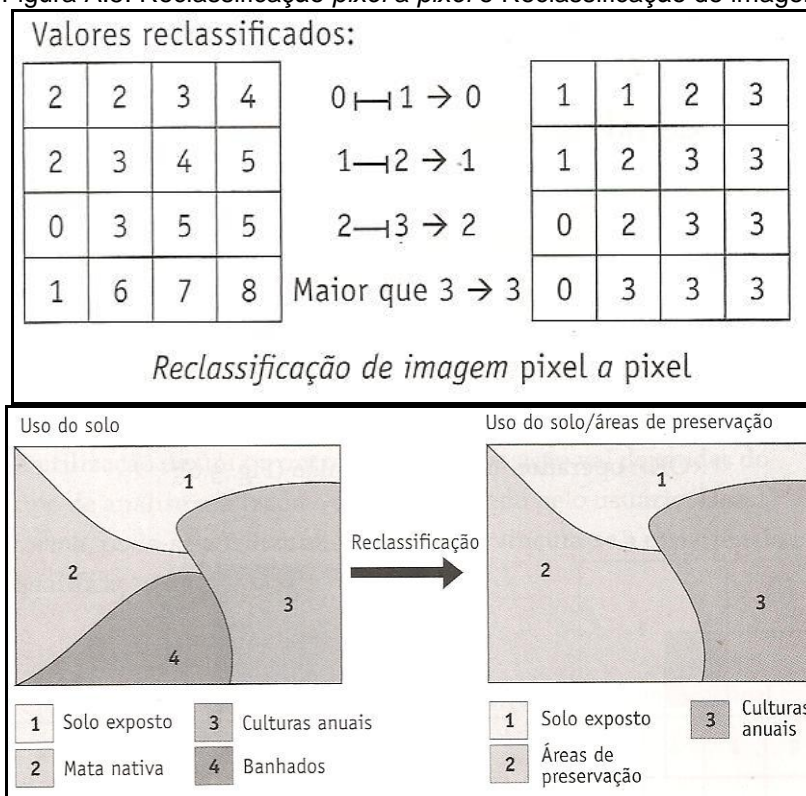
A análise de dados geográficos e de seus atributos alfanuméricos está vinculada a subdivisões, em que se destacam:

1. a reclassificação
2. a agregação
3. a sobreposição
4. a vizinhança

A reclassificação de um arquivo constitui-se na substituição de valores de entidades gráficas por outros, conforme a necessidade do usuário. Cada pixel pode ser redefinido de acordo com parâmetros predeterminados. Para tal, pode-se fazer uso de rotinas específicas, como a multiplicação dos pixels da imagem por um determinado escalar, ou a substituição de todos os valores inferiores a um determinado padrão por um valor fixo, ou ainda tantas outras possibilidades. Dessa forma, a imagem original é alterada com a criação de novas categorias a partir desta (FITZ, 2008).

É demonstrada a reclassificação pixel a pixel de uma imagem, na qual os valores entre 0 e 1 são reclassificados como iguais a 0; os valores entre 1 e 2 são reclassificados como 1; os valores entre 2 e 3 são reclassificados como iguais e, finalmente, os valores maiores do que 3 passarão a valer 3. Duas feições (mata nativa e área de banhados) são reagrupadas em uma só composição (áreas de preservação). (Figura A.5)

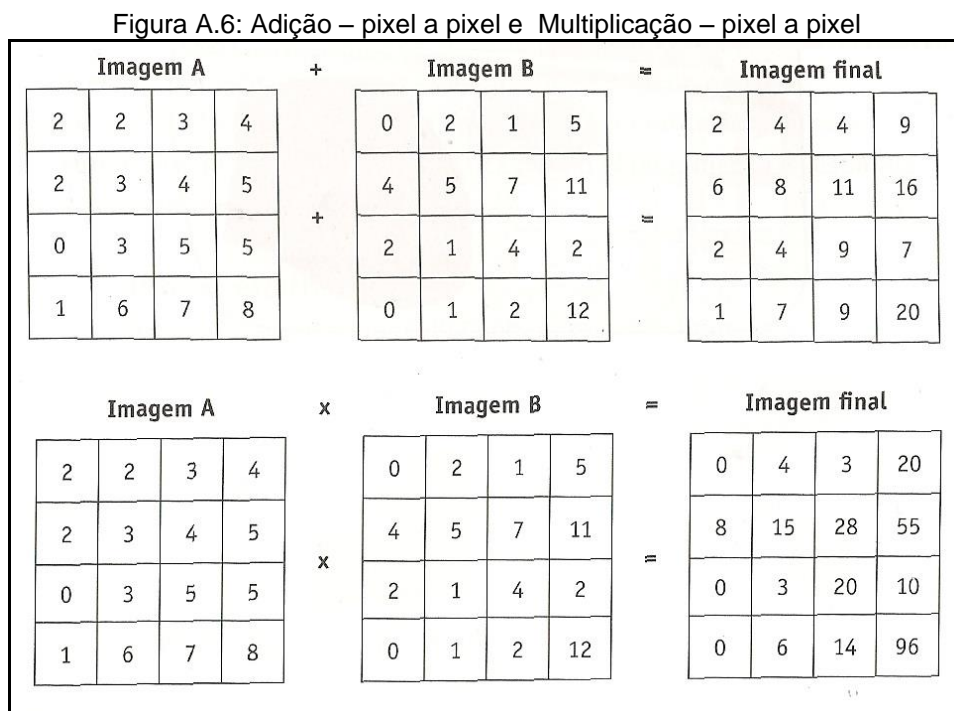
Figura A.5: Reclassificação *pixel a pixel* e Reclassificação de imagem



Fonte: Fitz 2008

No caso da *sobreposição*, a estrutura do arquivo é completamente alterada. O procedimento de sobreposição de camadas gera um novo arquivo, dissociado dos originais.

Nos arquivos matriciais, imagem *raster*, cada *pixel* é modificado de acordo com operadores matemáticos (adição, subtração, multiplicação etc.). A Figura A.6 simula os efeitos da sobreposição com os operadores adição e multiplicação em imagens *raster*, nas quais os valores dos *pixels* são dados pelas linhas e colunas das matrizes representadas.



Fonte: Fitz (2008).

As aplicações de vizinhança dizem respeito à exploração das características do entorno do espaço analisado. Nelas, incluem-se operadores de distância, área de influência, interpolação de pontos (geração de mapas de isolinhas e de modelos numéricos de terreno), análises de proximidade e cálculos de volumes etc.

APÊNDICE C - Lista com endereços

1. Rua Bartolomeu Luiz Trocolli, s/n, Altiplano (ao lado do paço dos leões).
2. Av. Adolfo Loureiro, nº64, Tambaú.
3. Av Epitácio Pessoa, Grupamento de Engenharia, Tambauzinho.
4. Rua Angelina Balthar, s/n Miramar (ao lado do supermercado Pão de Açúcar).
5. Rua Vandik Pinto Filgueiras, nº185, Miramar.
6. Rua Reinaldo Tavares de Melo, nº 120, Manaíra.
7. Centro, Parque Sólon de Lucena. (Entrada do estacionamento do anel, interno).
8. Rua Monsenhor Walfredo Leal, Tambiá.

APÊNDICE D - Dados de temperatura

Hora	Temp. A	Tempo	D	V	Temp. C1	Temp. C2	Temp. C3	Temp. C4	Temp. C5	Temp. C6	Temp. C7	Temp. C8	r
12h	31,1	nuvens esparsas	90	5,36	29,95	31,06	29,95	30,56	30,15	30,36	30,56	30,96	0,368
13h	32,2	nuvens esparsas	90	5,36	29,85	31,06	30,26	30,66	30,46	30,56	30,66	31,47	0,596
14h	31,1	nuvens esparsas	112,5	5,81	29,85	30,86	30,15	30,36	30,86	30,26	30,15	31,06	0,390
15h	30	nuvens esparsas	112,5	6,26	29,25	30,26	30,15	29,95	30,15	30,05	29,75	30,86	0,553
16h	30	nuvens esparsas	90	5,81	29,15	29,65	29,45	29,75	29,95	29,55	29,55	29,05	-0,068
17h	28,3	nuvens esparsas	90	4,47	28,75	28,66	29,05	28,95	28,95	28,95	28,75	28,36	-0,334
18h	27,8	parcialmente encoberto	90	5,36	28,36	28,16	28,46	28,66	28,66	28,36	28,36	28,06	-0,402
19h	27,8	parcialmente encoberto	112,5	5,36	28,26	28,06	28,36	28,56	28,56	28,36	28,36	27,86	-0,159
20h	27,2	parcialmente encoberto	112,5	2,68	28,16	27,86	28,16	28,46	28,46	28,16	28,06	27,76	-0,177
21h	27,2	parcialmente encoberto	112,5	2,24	27,96	27,76	27,96	28,26	28,36	28,06	27,96	27,76	0,000
22h	27,2	parcialmente encoberto	112,5	1,34	27,86	27,76	27,96	28,26	28,26	27,96	27,86	27,47	-0,256
23h	26,1	parcialmente encoberto	-	-	27,76	27,67	27,76	28,16	28,26	27,86	27,67	27,37	-0,243
24h	26,1	parcialmente encoberto	-	-	27,67	27,67	27,67	28,06	28,16	27,76	27,57	27,27	-0,298
01h	25	parcialmente encoberto	-	-	27,67	27,57	27,67	27,96	28,16	27,76	27,57	27,47	-0,112
02h	25	nuvens esparsas	-	-	27,76	27,57	27,67	27,96	28,16	27,76	27,57	27,47	-0,201

(continua...)

(...continuação)

Hora	Temp. A	Tempo	D	V	Temp. C1	Temp. C2	Temp. C3	Temp. C4	Temp. C5	Temp. C6	Temp. C7	Temp. C8	r
03h	25	parcialmente encoberto	-	-	26,00	27,47	27,76	27,96	28,16	27,76	26,10	27,57	0,151
04h	25	nuvens esparsas	-	-	25,71	27,17	26,98	27,96	26,59	27,47	25,51	27,47	0,138
05h	25	parcialmente encoberto	0	0,45	25,71	25,90	26,00	26,59	26,39	26,00	25,61	26,29	0,210
06h	25	parcialmente encoberto	-	-	26,39	26,29	25,90	26,68	26,59	26,20	26,10	26,29	-0,102
07h	27,2	claro	202,5	2,68	29,25	28,06	27,86	28,66	27,76	28,16	28,66	28,36	-0,195
08h	28,3	parcialmente encoberto	157,5	3,13	30,56	29,75	28,95	30,56	28,75	29,45	29,45	29,95	-0,264
09h	31,1	parcialmente encoberto	135,5	3,58	30,05	30,56	29,65	30,96	29,35	29,75	29,65	30,56	-0,119
10h	31,1	nuvens esparsas	112,5	4,02	30,56	30,76	30,46	31,27	29,85	30,56	31,06	30,86	0,172
11h	31,1	nuvens esparsas	112,5	5,81	30,26	30,76	30,05	31,57	30,15	30,76	30,76	31,47	0,471
12h	31,1	nuvens esparsas	112,5	5,81	30,26	31,06	30,26	31,37	30,36	30,26	30,76	31,27	0,276
13h	32,2	parcialmente encoberto	112,5	6,26	30,66	31,27	30,26	31,17	30,56	30,56	31,17	32,09	0,491
14h	32,2	parcialmente encoberto	90	6,26	30,26	30,76	30,46	30,96	30,26	30,05	30,26	31,06	0,095
15h	30	parcialmente encoberto	112,5	6,26	29,75	30,46	30,05	30,66	30,26	30,15	29,95	31,06	0,730
16h	30	parcialmente encoberto	90	6,26	29,25	29,85	29,85	30,15	29,75	29,85	29,95	29,35	0,077
17h	28,3	parcialmente encoberto	90	5,36	28,85	29,05	29,45	29,05	29,35	29,45	29,15	28,85	0,095

(continua...)

													(...continuação)
Hora	Temp. A	Tempo	D	V	Temp. C1	Temp. C2	Temp. C3	Temp. C4	Temp. C5	Temp. C6	Temp. C7	Temp. C8	r
18h	27,8	parcialmente encoberto	28,555	28,357	28,754	28,754	28,953	28,655	28,655	28,456	28,555	28,357	0
19h	27,8	parcialmente encoberto	28,555	28,357	28,655	28,754	29,053	28,555	28,655	28,258	28,555	28,357	-0,146
20h	27,8	parcialmente encoberto	28,357	28,159	28,555	28,853	28,655	28,357	28,357	28,06	28,357	28,159	-0,329
21h	27,8	parcialmente encoberto	28,258	28,159	28,357	28,754	28,655	28,456	28,258	28,06	28,258	28,159	-0,240
22h	27,8	parcialmente encoberto	28,258	27,764	28,456	28,555	28,655	28,357	28,258	27,961	28,258	27,764	0
23h	27,2	nuvens esparsas	27,665	27,665	27,173	28,159	28,357	27,764	27,567	27,37	27,665	27,665	-0,01
24h	27,2	nuvens esparsas	112,5	3,13	27,57	27,67	27,27	28,16	28,26	27,76	27,47	27,57	0,051
01h	27,2	nuvens esparsas	112,5	2,24	27,47	27,57	27,27	28,06	28,16	27,67	27,47	27,37	0,009
02h	27,2	nuvens esparsas	112,5	0,45	27,57	27,47	27,37	28,06	28,06	27,67	27,47	27,27	-0,115
03h	27,2	parcialmente encoberto	112,5	0,89	27,37	27,17	27,08	27,86	28,06	27,27	27,17	27,08	-0,100
04h	26,1	parcialmente encoberto	202,5	0,89	27,08	27,37	27,08	27,76	27,86	27,47	27,17	27,17	0,093
05h	26,1	nuvens esparsas	-	-	27,27	27,17	27,08	27,76	27,47	27,17	27,17	27,08	-0,171
06h	26,1	nuvens esparsas	-	-	27,86	27,57	27,37	28,16	28,16	27,47	27,86	27,37	-0,149
07h	27,8	nuvens esparsas	112,5	3,13	28,75	29,05	28,46	29,15	28,56	28,75	28,95	28,85	0,060
					28,46	28,64	28,49	29,02	28,79	28,63	28,52	28,65	0,144

Legenda: DIA – Data da coleta de dados; HORA – Horário da coleta; TEMPO – Tempo atmosférico; TEMP. A – Temperatura da estação de Referência (Aeroporto); D – Direção do vento em graus; V – Velocidade dos ventos em M/s; Temp. C2 – Temperatura na classe 2; Temp. C4 – Temperatura na classe 4; Temp. C3 – Temperatura na classe 3; Temp. C8 – Temperatura na classe 8; Temp. C6 – Temperatura na classe 6; Temp. C5 – Temperatura na classe 5; Temp. C1 – Temperatura na classe 1; Temp. C7 – Temperatura na classe 7; r - Correlação entre temperatura e a classe climática.

APÊNDICE E - Dados de umidade

Dia	Hora	Hr. A	Tempo	Ur. C1	Ur. C2	Ur. C3	Ur. C4	Ur. C5	Ur. C6	Ur. 7	Ur. C8	r
26/03	12h	55	nuvens esparsas	70,24	64,26	66,26	68,38	67,99	65,32	65,05	66,74	-0,34803
	13h	52	nuvens esparsas	68,95	64,26	62,45	67,34	66,56	62	63,47	63,53	-0,51314
	14h	55	nuvens esparsas	69,58	64,88	63,89	68,56	64,76	64,64	65,12	67	-0,2584
	15h	58	nuvens esparsas	70,86	67,27	64,21	68,62	66,35	64,91	66,16	65,6	-0,57724
	16h	58	nuvens esparsas	71,42	68,07	62,51	68,96	65,63	63,27	66,07	68,76	-0,28564
	17h	62	nuvens esparsas	73,47	72,25	68,03	73,23	69,88	67,9	70,07	73,51	-0,17634
	18h	66	parcialmente encoberto	76,11	75,62	70,8	75,57	72,85	70,3	72,88	75,38	0,776342
	19h	66	parcialmente encoberto	76,38	74,9	71,34	76,9	72,46	71,34	72,88	76,69	-0,15128
	20h	70	parcialmente encoberto	76,93	76,96	72,31	76,1	73,5	71,19	73,76	76,69	-0,26171
	21h	70	parcialmente encoberto	78,11	77,82	73,77	77,78	74,86	73,13	74,91	78,12	-0,26731
	22h	70	parcialmente encoberto	79,38	78,12	74,44	78,39	74,87	73,35	76,16	79,08	-0,23489
	23h	78	parcialmente encoberto	79,06	78,74	73,37	77,21	75,11	73,15	76,17	79,08	-0,18463
	24h	74	parcialmente encoberto	79,39	76,98	73,59	76,14	73,75	71,61	76,18	78,16	-0,23639
26/03	01h	78	parcialmente encoberto	77,54	76,45	74,03	76,41	74,42	72,17	75,19	76,45	-0,36126
	02h	83	nuvens esparsas	76,69	76,45	73,38	76,41	73,53	72,56	74,71	76,99	-0,19791

(continua...)

Atualização do Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa - Paraíba

(...continuação)

Dia	Hora	Hr. A	Tempo	Ur. C1	Ur. C2	Ur. C3	Ur. C4	Ur. C5	Ur. C6	UrC7	Ur. C8	r
	03h	78	parcialmente encoberto	86,72	76,72	73,58	76,41	73,11	71,98	83,25	75,43	-0,30632
	04h	78	nuvens esparsas	89,2	77,58	77,6	74,91	81,59	73,62	86,72	75,94	-0,2688
	05h	78	parcialmente encoberto	87,9	84,63	82,83	81,99	83,24	81,62	86,72	82,4	-0,38513
	06h	83	parcialmente encoberto	87,91	84,15	84,63	82,39	81,99	82,41	86,72	85,12	-0,18698
	07h	74	claro	73,85	76,67	75,65	74,37	77,25	72,91	75,32	77,48	0,235248
	08h	62	parcialmente encoberto	67,78	67,35	68,78	66,03	71,29	64,56	66,6	69,25	-0,01203
	09h	55	parcialmente encoberto	69,55	67,36	65,93	67,29	71,39	66,16	68,22	70,5	0,22926
	10h	49	nuvens esparsas	62,1	62,25	60,94	63,25	65,41	59,84	59,89	66,1	0,187189
	11h	49	nuvens esparsas	65,46	64,55	64,79	63,95	66,48	61,41	61,32	65	-0,42502
	12h	52	nuvens esparsas	67,55	62,98	63,45	65,63	65,2	63,98	61,96	65,04	-0,35798
	13h	46	parcialmente encoberto	63,26	62,84	63,34	63,91	63,18	62,39	57,9	61,14	-0,64808
	14h	49	parcialmente encoberto	65,95	65,25	61,84	65,83	66,2	62,49	61,6	65,69	-0,25834
	15h	58	parcialmente encoberto	70,62	65,92	65,62	67,34	68,73	64,55	66,13	66,32	0,875621
	16h	55	parcialmente encoberto	70,17	68,79	65,53	69,06	68,2	65,17	65,39	71,21	-0,14652
	17h	62	parcialmente encoberto	74,81	72,6	68,4	74,79	70,5	67,68	71,24	73,24	-0,26165

(continua...)

Atualização do Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa - Paraíba

(...continuação)

Dia	Hora	Hr. A	Tempo	Ur. C1	Ur. C2	Ur. C3	Ur. C4	Ur. C5	Ur. C6	UrC7	Ur. C8	r
	18h	66	parcialmente encoberto	76,35	74,86	70,07	74,59	72,41	70,25	72,64	73,72	-0,41062
	19h	70	parcialmente encoberto	74,38	74,17	70,94	74,35	69,86	70,27	71,3	75,36	-0,18595
	20h	66	parcialmente encoberto	77,78	75,87	71,69	76,87	74,37	71,9	73,73	77,8	-0,14728
	21h	66	parcialmente encoberto	78,39	76,39	72,88	76,88	74,6	71,7	74,87	77,22	-0,27644
	22h	70	nuvens esparsas	78,08	80,42	73,08	76,9	72,85	73,09	75,36	78,11	-0,29892
	23h	74	nuvens esparsas	82,77	80,07	81,96	80,4	76,92	77,25	79,4	81,95	-0,35954
	24h	70	parcialmente encoberto	81,17	78,74	79,75	80,04	76,12	76,16	79,08	81,94	-0,1048
27/03	01h	74	nuvens esparsas	81,17	77,84	77,29	78,1	74,19	73,38	77,85	79,41	-0,31882
	02h	74	nuvens esparsas	78,14	76,19	74,97	74,9	73,33	73,38	75,94	77,29	-0,22969
	03h	70	parcialmente encoberto	80,44	79,1	78,48	78,73	76,67	77,01	78,47	80,82	-0,13977
	04h	74	parcialmente encoberto	81,97	80,44	78,79	79,06	74,68	74,72	79,42	79,42	-0,44619
	05h	78	nuvens esparsas	82,78	78,78	80,11	79,72	80,44	78,78	79,42	82,37	-0,05632
	06h	78	nuvens esparsas	80,41	76,18	75,21	74,42	72,51	74,05	76,96	77,56	-0,25561
	07h	66	nuvens esparsas	72,43	71,43	70,28	72,79	70,96	68,22	69,72	74,58	-0,02225

Legenda: DIA – Data da coleta de dados; HORA – Horário da coleta; TEMPO – Tempo atmosférico; Ur A – Temperatura da estação de Referência (Aeroporto); D – Direção do vento em graus; V – Velocidade dos ventos em M/s; Ur C2 – Umidade na classe 2; Ur C4 – Umidade na classe 4; Ur C3 – Umidade na classe 3; Ur C8 – Umidade na classe 8; Ur C6 – Umidade na classe 6; Ur C5 – Umidade na classe 5; Ur C1 – Umidade na classe 1; Ur C7 – Umidade na classe 7; r - Correlação entre umidade e a classe climática.

