



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

- MESTRADO -

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA, TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE E CONDIÇÕES BIOCLIMÁTICAS FUTURAS EM UMA
CIDADE TROPICAL ÚMIDA DO BRASIL**

por

Luiz Eduardo Vieira de Figueiredo

*Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

- MESTRADO -

ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA, TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E CONDIÇÕES BIOCLIMÁTICAS FUTURAS EM UMA CIDADE TROPICAL ÚMIDA DO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia Urbana. Linha de pesquisa: Planejamento e Engenharia Urbana: Interações.

Mestrando: Luiz Eduardo Vieira de Figueiredo

Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F475a Figueiredo, Luiz Eduardo Vieira de.

Análise da expansão urbana, temperatura da superfície e condições bioclimáticas futuras em uma cidade tropical úmida do Brasil / Luiz Eduardo Vieira de Figueiredo. - João Pessoa, 2023.
83 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia civil e ambiental. 2. Planejamento urbano. 3. Indicadores bioclimáticos. 4. Índice NDBI. 5. Crescimento urbano. I. Silva, Richarde Marques da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 624:504(043)

***“ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA, TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E CENÁRIOS
FUTUROS DE CONDIÇÕES BIOCLIMÁTICAS EM UMA CIDADE TROPICAL ÚMIDA
DO BRASIL”***

LUIZ EDUARDO VIEIRA DE FIGUEIREDO
Dissertação aprovada em 26 de setembro de 2023

Período Letivo: 2023.2

Documento assinado digitalmente
 **RICHARDE MARQUES DA SILVA**
Data: 27/09/2023 01:47:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva – UFPB
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **CELSO AUGUSTO GUIMARAES SANTOS**
Data: 27/09/2023 01:58:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos – UFPB
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 **ROCHELE SHEILA VASCONCELOS**
Data: 27/09/2023 08:25:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rochele Sheila Vasconcelos – UESC
Examinadora Externa

João Pessoa/PB
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo milagre da vida e por proporcionar-me esta oportunidade de estar concluindo o mestrado em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

A minha família por serem apoiadores e incentivadores em meus projetos de vida, por torcerem pelo meu sucesso e pelo total suporte durante toda minha trajetória no mestrado.

Ao meu orientador professor Dr. Richarde Marques da Silva, pela atenção, assistência e colaboração durante as orientações, sempre pronto para auxiliar e contribuir para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos, que sempre me encorajaram a continuar, mesmo diante das dificuldades inerentes ao processo.

A todos que torcem pelo meu sucesso, minha sincera e eterna gratidão.

RESUMO

Eventos extremos causam perdas econômicas e sociais. Países vulneráveis como o Brasil, são especialmente afetados. Além disso, as mudanças no uso e cobertura do solo associadas ao processo de urbanização e à variabilidade climática são os principais fatores que controlam os climas urbanos. O objetivo geral deste estudo foi analisar a expansão urbana e a temperatura da superfície à longo prazo e estimar condições bioclimáticas futuras para a cidade de João Pessoa-PB entre 2031 e 2080. Dados micrometeorológicos de temperatura e umidade do ar, coletados em 10 pontos diferentes no intervalo de 2011 a 2018, foram utilizados para calcular o Índice de Temperatura Efetiva Resultante do Efeito do Vento (ETv) e o Índice de Desconforto de Thom (IDT) para a cidade de João Pessoa. Imagens de satélite do Landsat 5/TM para 1991, 2006 e 2010, e do Landsat 8/OLI para 2018, e utilizou-se o método de classificação da máxima verossimilhança para classificar as imagens e analisar a expansão urbana além do uso do índice NDBI para verificação da área construída ao longo do tempo, bem como a temperatura da superfície, a partir da obtenção das imagens de satélites a partir de bandas termais. Ainda, para melhor analisar os dados dos fatores bioclimáticos, utilizou-se os testes não paramétricos de Mann-Kendall e o Teste de Sen. A partir dos resultados obtidos, constatou-se um aumento da área construída e a temperatura da superfície na cidade de João Pessoa entre 1991 e 2018, principalmente nos bairros Geisel, Aeroclube, Valentina, Distrito Industrial, Cristo Redentor e Mangabeira. Com base nesses resultados, observou-se ainda um aumento significativo do desconforto nas áreas urbanizadas da cidade de 2010 a 2018, associado ao aumento de temperatura média desde 1991. A projeção de cenários futuros indica um aumento considerável na temperatura do ar e, conseqüentemente, um desconforto térmico para a cidade de João Pessoa-PB entre 2031 a 2080, com maior contribuição a partir do cálculo de IDT e, em contrapartida, amenizado pelo fator vento (ETv). Porém, ainda assim é estimado um cenário futuro preocupante para as próximas décadas, exigindo uma implementação de políticas públicas urbanas urgentemente, para diminuir os impactos do futuro bioclimático na cidade.

Palavras-chave: Planejamento urbano; indicadores bioclimáticos; ETv; IDT; NDBI; crescimento urbano.

ABSTRACT

Extreme events cause economic and social losses. Vulnerable countries like Brazil are particularly affected. Furthermore, changes in land use and land cover associated with the urbanization process and climatic variability are the primary factors controlling urban climates. The overall objective of this study was to analyze long-term urban expansion and surface temperature and estimate future bioclimatic conditions for the city of João Pessoa, PB, between 2031 and 2080. Micrometeorological data on temperature and air humidity collected at ten different points between 2011 and 2018 were used to calculate the Effective Temperature Index Resulting from the Wind Effect (ET_v) and Thom's Discomfort Index (IDT) for the city of João Pessoa, PB. Satellite images from Landsat 5/TM for 1991, 2006, and 2010, as well as Landsat 8/OLI for 2018, were utilized, and the maximum likelihood classification method was applied to classify the images and analyze urban expansion. Additionally, the NDBI index was used to verify the built-up area over time, as well as surface temperature, using thermal band satellite images. To better analyze the data on bioclimatic factors, non-parametric Mann-Kendall tests and the Sen's Test were employed. From the results obtained, there was an increase in the built-up area and surface temperature in the city of João Pessoa between 1991 and 2018, primarily in the neighborhoods of Geisel, Aeroclube, Valentina, Distrito Industrial, Cristo Redentor, and Mangabeira. Based on these findings, a significant increase in discomfort in the urbanized areas of the city from 2010 to 2018 was observed, associated with the rise in average temperature since 1991. The projection of future scenarios indicates a substantial increase in air temperature and, consequently, thermal discomfort for the city of João Pessoa, PB, between 2031 and 2080, with a more significant contribution from the IDT calculation and, on the other hand, mitigated by the wind factor (ET_v). Nevertheless, a concerning future scenario is still estimated for the coming decades, requiring urgent implementation of urban public policies to mitigate the impacts of future bioclimatic conditions in the city.

Keywords: Urban planning; bioclimatic indicators; ET_v; IDT; NDBI; urban growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista parcial da Cidade da Parahyba em 1902, onde pode-se notar em destaque a Rua Direita, atualmente Rua Duque de Caxias.	22
Figura 2 - Parque Sólon de Lucena (Lagoa) e a longa reta da Avenida Eptácio Pessoa levando a cidade ao mar (década de 1950).....	25
Figura 3 - Vista parcial da Rua das Trincheiras no bairro de Jaguaribe.....	26
Figura 4 - Vista da planta da cidade da Parahyba no ano de 1905.....	27
Figura 5 - Vista da antiga Lagoa dos Irerês, atualmente Parque Sólon de Lucena (Lagoa).....	28
Figura 6 - Vista Aérea da Avenida Eptácio Pessoa na orla da cidade de João Pessoa em 1950	29
Figura 7 - Indicação de importantes edificações e vias localizadas no bairro de Miramar.....	33
Figura 8 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa-PB entre 1634 e 1930.	35
Figura 9 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa entre 1940 e 1960.....	37
Figura 10 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa-PB entre 1940 e 1960.	38
Figura 11 - Localização do município de João Pessoa-PB.....	42
Figura 12 - Localização dos bairros em estudo dentro do município de João Pessoa-PB (JOÃO PESSOA, 2021) Adaptado.....	43
Figura 13 - Classificação do uso do solo: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.....	54
Figura 14 - Mapa da evolução da área construída na cidade de João Pessoa-PB: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.....	56
Figura 15 - Mapas de temperatura de superfície: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.	57
Figura 16 - Série histórica de temperaturas do ar medida em João Pessoa-PB entre 1989 e 2022	59
Figura 17 - Temperatura média de superfície para as imagens obtidas analisadas	60
Figura 18 - Temperatura de superfície para diferentes usos e ocupação do solo.	61
Figura 19 - Gráfico das variáveis bioclimáticas em dez pontos distintos do município de João Pessoa-PB de janeiro a março de 2011.	62

Figura 20 - Valores médios das variáveis bioclimáticas de temperatura e umidade do ar para o período de janeiro a abril de 2018.	63
Figura 21 - Dados do Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT) para os dez pontos em 2011.	66
Figura 22 - Dados do Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT) para os dez pontos em 2018.	66
Figura 23 - Variáveis meteorológicas e IDT para às 13h nos dez pontos em 2011.	68
Figura 24 - Variáveis meteorológicas para às 12h nos dez pontos em 2018.....	69
Figura 25 - (a) Variação temporal dos índices bioclimáticos ETv e IDT, e (b) diferença entre os índices ETv e IDT entre janeiro de 2031 e dezembro de 2080.....	70
Figura 26 - Estimativa e tendência futura da temperatura do ar na cidade de João Pessoa-PB para o período de 2031 a 2080.....	73
Figura 27 - Estimativa e tendência futura do índice bioclimático ETv para a cidade de João Pessoa-PB no período de 2031 a 2080.	73
Figura 28 - Estimativa e tendência futura do índice bioclimático IDT para a cidade de João Pessoa-PB no período de 2031 a 2080.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste estudo	45
Tabela 2. Descrição dos pontos de coleta dos dados climáticos usados neste estudo.	48
Tabela 3. Faixas de conforto dos índices bioclimáticos (IB) para regiões tropicais	52
Tabela 4. Área e porcentagem das classes e uso do solo para cada anos estudados.	55
Tabela 5. Área e porcentagem das classes e uso do solo para o intervalo.....	56
Tabela 6. Temperaturas medias diárias no dia de coleta das imagens e nos dias anterior e posterior	58
Tabela 7. Classes de uso do solo e a temperatura de superfície	61
Tabela 8. Valores médios das variáveis para os dez pontos de medição em 2011 e 2018	65
Tabela 9. Valores mensais das variáveis meteorológicas e índices bioclimáticos usados neste estudo.	72
Tabela 10. Resultados dos testes estatísticos anuais das séries temporais futuras de temperatura do ar, ETv, e IDT para o período de 2031 a 2080.	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Microclima urbano	15
2.2 Climatologia aplicada à biometeorologia humana	16
2.3 Processo de formação e expansão urbana de João Pessoa: aspectos gerais da urbanização brasileira e o processo histórico e de expansão de João Pessoa-PB.....	20
2.4 Mudanças no uso e cobertura do solo e indicadores bioclimáticos	38
3. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Área de estudo	41
3.2 Expansão urbana	44
3.2 Temperatura da superfície	46
3.3 Coleta de dados meteorológicos	47
3.4 Análise de tendência	48
3.4.1 Estatística de Mann–Kendall	48
3.4.2 Teste de Sen	50
3.5 Aplicação de índices bioclimáticos	51
3.6 Estimativa das séries temporais futuras e condições bioclimáticos	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Expansão urbana em João Pessoa.....	54
4.2 Variabilidade espacial da temperatura do solo	57
4.3 Relação entre uso do solo e temperatura da superfície	60

4.4 Variabilidade temporal das condições bioclimáticas	61
4.5 Análise do desconforto térmico	64
4.6 Estimativa da variabilidade espaço-temporal de cenários climáticos	70
5. CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO

A influência antropogênica nas alterações climáticas foi declarada indubitável (DE MEDEIROS et al., 2022). O último relatório (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) revelou que a ocorrência de extremos climáticos está ligada ao aumento observado na temperatura média global do ar na superfície (IPCC et al., 2021).

A preocupação com o futuro bioclimático nas cidades é bastante recorrente em estudos e pesquisas, e essa discussão é fundamental tendo em vista os inúmeros efeitos vivenciados atualmente pelas rápidas mudanças climáticas em todo o planeta. Nobre (2012), apesar de partir do pressuposto que a variação climática é um fenômeno natural que ocorre há milhares de anos, enfatiza o quão acelerado está esse processo em comparação a períodos anteriores, cujas condições naturais eram as principais responsáveis pelas alterações no clima. É apontado ainda, o grau de contribuição de ações naturais e antropogênicas na elevação da temperatura média do planeta em cento e cinquenta anos, ressaltando-se que, embora as ações naturais também ocorram, sua parcela de contribuição é insignificante se comparadas àquelas provenientes de intervenções humanas.

Em relatório especial emitido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, as atividades humanas têm contribuído com o aquecimento global em 1°C, em média. Caso esse ritmo de crescimento persista, entre 2030 e 2052 esse valor pode alcançar 1,5°C. A cada década, a variação de temperatura é estimada em 0,2 °C em consequência das emissões acumuladas ao longo dos tempos. Esse aquecimento não é uniforme, podendo variar em algumas regiões e épocas do ano, geralmente maior na superfície terrestre do que nos oceanos (ONU, 2019).

A sensação desses efeitos também pode ser verificada em escala urbana, pois as ações humanas de remoção da vegetação, adensamento e impermeabilização do solo geram alterações das variáveis ambientais, favorecendo a formação das ilhas de calor, fenômeno caracterizado em determinadas áreas cujas condições microclimáticas são distintas daquelas comparáveis a uma área rural ou que estejam em seu estado de conservação natural. Seus efeitos negativos interferem diretamente na qualidade do ar e na elevação da temperatura, estimulando um maior consumo de energia elétrica através da utilização de sistemas de condicionamentos artificiais (ROMERO *et al.*, 2019).

A transformação do espaço urbano de João Pessoa-PB, impulsionada pela especulação imobiliária, reduziu as áreas verdes remanescentes, alterando o campo térmico da cidade, bem como as suas condições de conforto. Essas diferentes formas de uso do solo foram preponderantes para formação de microclimas e surgimento de ilhas de calor urbano em áreas com maior impermeabilização do solo e regiões de maior adensamento populacional (SANTOS, J.; SANTOS, G., 2013).

Para verificar a influência do clima das cidades na qualidade de vida dos seus habitantes, muitas pesquisas utilizam índices que quantificam o nível de (des)conforto térmico através de variáveis que interferem quantitativa e qualitativamente nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Alguns dos índices mais utilizados nesses estudos é o Índice de Temperatura Efetiva Resultante do Efeito do Vento (ETv) e o Índice de Desconforto de Thom (IDT). Santos et al. (2012) aponta razoabilidade nos resultados obtidos para análise do conforto térmico urbano, utilizando o IDT. Faria et. al., (2022), realizou um estudo de mapeamento de conforto térmico no estado do Rio Grande do Norte e utilizou os índices supracitados, e apontou melhor desempenho do IDT em relação aos outros, principalmente ao considerar regiões de maior altitude.

Nesse contexto, o presente estudo busca realizar uma projeção das condicionantes bioclimáticas para a cidade de João Pessoa-PB, caracterizado por clima tropical úmido, considerando os dados de temperatura e umidade relativa, além dos dados da estação meteorológica, totalizando dez pontos diferentes no referido município.

Embora seja um estudo preditivo para uma única cidade, a sua relevância está fundamentada no quanto a influência das mudanças climáticas, a nível local e até mesmo global, pode interferir em uma escala climática urbana, bem como nas características do domínio climático tropical e úmido, que apesar de existir nuances e variações, o seu zoneamento é predominante no planeta. Além disso, os estudos preditivos, no geral, conduzem intrinsecamente a necessidade de executar ações eficazes no presente para minimizar os impactos futuros outrora previstos. A partir desses dados coletados, seu tratamento estatístico e observação de tendências, o estudo busca verificar o nível de desconforto térmico proporcionados por alterações das variáveis climáticas, além de projetar cenário climático futuro para a cidade de João Pessoa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi analisar a expansão urbana e as tendências históricas da temperatura da superfície, bem como estimar condições bioclimáticas futuras para a cidade de João Pessoa-PB entre 2031 e 2080.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar a variabilidade espaço-temporal da expansão urbana e temperatura da superfície na cidade de João Pessoa-PB;
- b) Identificar áreas e períodos de maior alteração e sua relação com os tipos de uso e cobertura do solo;
- c) Coletar e analisar dados meteorológicos de temperatura e umidade relativa na cidade de João Pessoa-PB para o período entre 2011 e 2018;
- d) Aplicar e comparar os índices bioclimáticos, considerando as condições atuais e o cenário futuro;
- e) Projetar variáveis meteorológicas futuras baseadas em modelo climático confiável para o período de 2031-2080.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Microclima urbano

O estudo do microclima urbano é um tópico cada vez mais relevante no contexto das mudanças climáticas e do desenvolvimento das cidades. À medida que os centros urbanos crescem e se expandem desordenadamente, as inevitáveis alterações do seu espaço induzem a formação de ambientes microclimáticos, que diferem significativamente de suas áreas circundantes (GUSSON e DUARTE, 2016).

O crescimento populacional e o distendimento das áreas urbanas ocorreu de forma expressiva durante as últimas décadas. Como consequência dessa expansão, as paisagens naturais foram intensamente transformadas. A configuração do espaço urbano através da impermeabilização do solo, provoca uma série de alterações no balanço de energia, desencadeando o processo para a formação desses microclimas (AMORIM, 2020).

O aumento da densidade de edifícios, estradas e outras superfícies impermeáveis, são exemplos de fatores importantes na formação de um ambiente microclimático urbano, onde as temperaturas são mais altas do que nas áreas adjacentes. Isso ocorre devido à absorção e retenção de calor pelos materiais componentes de sua infraestrutura, bem como ao aumento da radiação térmica (YANG et al., 2013). Os materiais constituintes das superfícies em uma área construída possuem maior rugosidade e, por essa razão, gera fricção maior ao entrar em contato com o vento, bem como atuam como superfícies refletoras e irradiadoras, que potencializam os efeitos da radiação incidente (ANDRADE, 2022).

Além disso, as características das áreas urbanas, como a geometria das ruas e a presença de edifícios, podem alterar os padrões de vento, ocasionando comportamentos climáticos restritos com velocidades e direções de vento distintas em comparação com áreas rurais. Lima e Bittencourt (2017), afirmam que fatores como a verticalização, compactidade, rugosidade e porosidade podem afetar significativamente na circulação do ar sobre o tecido urbano, provocando alterações em correntes de vento ou estagnação do escoamento de ar em algumas áreas, por consequência, interferindo no conforto térmico e dissipando os poluentes resultantes da ação do tráfego urbano.

Em consequência do processo progressivo de urbanização, outro fenômeno natural que também é transformado intensivamente é o ciclo hidrológico, através da alteração da umidade relativa do ar e os padrões de precipitação, com áreas urbanas frequentemente exibindo níveis mais baixos de umidade e padrões de chuva alterados devido à interferência nas condições naturais de evapotranspiração e drenagem (SILVA et al., 2018).

A impermeabilização do solo diminui o processo natural da evapotranspiração, com a redução das áreas verdes e aumenta o escoamento superficial, responsável pela erosão e assoreamento de corpos d'água, reduzindo, ainda, a infiltração (ROSA, 2017).

Ao se modificar os padrões de uso do solo, surgem os problemas recorrentes com enchentes, decorrentes de maior fluxo de escoamento superficial, principalmente em países em desenvolvimento, onde um planejamento urbano ineficiente ou indisponibilidade de recursos inviabiliza a implementação de obras de drenagem urbana, que não acompanham o ritmo de crescimento das cidades. Todo esse desequilíbrio hidrológico urbano contribui para a formação de chuvas convectivas intensas, potencializando a formação do fenômeno de ilhas de calor (RODRIGUES et al., 2022).

2.2 Climatologia aplicada à biometeorologia humana

Desde meados do século XX é comum analisar os efeitos do tempo e do clima sobre os seres humanos com base em índices biometeorológicos (CELUPPI et al., 2023), que podem ser simples ou também complexos no contexto do calor e do frio. Atualmente, existem muitos índices de conforto térmico humano e eles podem ser aplicados para a análise de dados históricos, clima recente e também para fenômenos e casos específicos (GOBO et al., 2022). O desenvolvimento e aplicação de novos métodos demonstram a necessidade e importância de pesquisas no âmbito de conforto térmico nas cidades (MATZARAKIS et al. 2021)

Nos últimos anos, a relação entre os processos atmosféricos e a saúde humana tem se tornado um tema científico amplamente discutido, especialmente após a divulgação dos recentes resultados do IPCC em 2022 sobre a crise climática global e a ocorrência de eventos extremos em várias regiões do mundo. Krüger et al. (2022) destacam que muitos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, estão atrasados e necessitam de um impulso na pesquisa científica relacionada à biometeorologia humana. Isso ocorre porque as

mudanças climáticas estão agravando as condições de calor, criando situações indesejáveis e, em alguns casos, limitantes para os seres humanos. Esse cenário é particularmente preocupante para países quentes e úmidos do Sul Global, onde a população dos centros urbanos é inquestionavelmente mais vulnerável devido a questões sociais.

Nesse sentido, torna-se importante mencionar que a atmosfera teve seus estudos voltados à perspectiva da Climatologia Geográfica só a partir de 1930. Anteriormente, conforme relataram Souza e Nery (2012), o estudo dos elementos meteorológicos ocorria de forma isolada e meramente através de abordagem estatística. No entanto, notou-se a partir da visão geográfica, o impacto que as influências atmosféricas exercem sobre a saúde e qualidade de vida das populações, principalmente, no contexto urbano, conforme Xavier (1999), na forma descrita:

A razão de criarem-se condições de conforto térmico está no desejo do homem sentir-se termicamente confortável. A sensação de conforto térmico é obtida através de trocas térmicas entre o ambiente e o ser vivo nele inserido. Isto depende do indivíduo, pois cada um possui uma maneira própria de acumular energia para sentir-se confortável (XAVIER. 1999, p. 209).

Assim, existem evidências de que os primeiros esforços para estabelecer índices de conforto térmico ocorreram nos Estados Unidos durante o período de 1913 a 1923. Desde então, foram desenvolvidos aproximadamente trinta índices, abrangendo aspectos biofísicos, fisiológicos e subjetivos, com o objetivo de aplicação prática (ALVES, 2009). Existem alguns desafios a serem superados, pois, embora venham sendo aprimorados estudos em diferentes partes do mundo, inclusive no Brasil, para compreender a sensação térmica em pequenas e médias cidades, a carência é de um índice de conforto térmico humano que abranja as condições tropicais (ARAÚJO, 2012).

Em 1970, a Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB) definiu que a biometeorologia humana trata-se do estudo da influência do tempo e do clima sobre os seres humanos para fins fisiológicos e medicinais e pode ser subdividida em diferentes abordagens.

Sendo assim, considera-se como conforto térmico, “a zona delimitada por valores térmicos em que o maior número de pessoas manifeste sentir-se bem” (MARÇAL et al.,

2019). De maneira semelhante, a ASHRAE (1981) conceituou o conforto térmico como um estado de espírito que reflete a satisfação de um indivíduo com o ambiente térmico ao seu redor. Isso ressalta a natureza altamente subjetiva desse conceito. A adaptação humana ao clima se manifesta em várias dimensões, incluindo respostas fisiológicas, comportamentais e o uso de tecnologia (YIN et al. 2019).

De acordo com Mallick (1996), o estado de conforto é afetado por uma ampla gama de fatores, incluindo aqueles de natureza subjetiva que não podem ser facilmente medidos, como o bem-estar psicológico. Entre os aspectos mensuráveis, o conforto está diretamente relacionado a variáveis como temperatura do ar, umidade, velocidade do vento, radiação solar e outros elementos ambientais. Além disso, características individuais, como vestimenta e nível de atividade física, também desempenham um papel significativo nessa equação.

Corroborando com essa afirmação, Kumar e Sharma (2020) ressaltam que a complexidade da avaliação do conforto térmico resulta da interação de fatores quantitativos e qualitativos na percepção subjetiva. Os principais fatores qualitativos estão relacionados às características individuais da pessoa, como o metabolismo e a vestimenta, enquanto os fatores quantitativos envolvem os elementos climáticos do ambiente.

Segundo Liu et al. (2020), a temperatura do ar é considerada o fator mais crucial para o conforto térmico. Entre os parâmetros que incluem a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, a temperatura exerce influência direta na troca de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente. Isso afeta os sistemas radiativo, evaporativo e respiratório. Além disso, os mesmos autores destacam que a temperatura do ar apresenta a associação mais significativa com a sensação térmica do ambiente físico.

Ademais, o homem é homeotérmico, sendo assim, conserva temperatura constante permeando os 36°C a 37°C, todavia, quando exposto a situações extremas, os valores de temperatura diminuem, ocorrendo hipotermia, ou seja, mecanismos do corpo são acionados, como a vaso contração, tiritar, arrepios e aumento da taxa metabólica (SETTE e RIBEIRO, 2011). Por outro lado, o oposto também pode ocorrer, como é o caso da hipertermia, em que a temperatura corporal ultrapassa os 37°C, podendo desencadear uma série de complicações, tais como convulsões, sudorese intensa e vasodilatação, como estabelecido por Gobo et al. (2018).

Devido à desidratação, o sangue fica mais viscoso, aumentando a possibilidade de derrame e infarto. A 41, 5°C já há danos cerebrais e pode conduzir o indivíduo ao óbito. O processo que conduz à morte devido ao calor excessivo é mais acelerado entre aqueles com problemas cardiovasculares, respiratórios ou com doenças mais graves.

Segundo Gobo et al. (2016), o conforto térmico é um dos principais fatores que influenciam a percepção geral de bem-estar, incluindo aspectos como conforto acústico, visual e olfativo, bem como a sensação de segurança. Como resultado, os impactos físicos e emocionais em uma população desempenham um papel crucial na escolha de espaços que maximizem a satisfação. Portanto, o conforto térmico se torna um indicador significativo do valor de uma propriedade.

Adicionalmente, Silva et al. (2018) enfatizam que a vastidão do território brasileiro resulta em uma diversidade significativa de condições climáticas, e, como resultado, não é surpreendente encontrar variações no conforto térmico. Neste contexto, destaca-se o estudo conduzido por Lima et al. (2019), que demonstrou que na região Nordeste, o intervalo considerado como conforto térmico pode variar de 26°C a 31°C. Gobo (2018) destaca ainda que,

Para se estabelecer as faixas de sensação térmica de um determinado ambiente, diversos trabalhos buscam identificar a interação entre os elementos climáticos predominantes no meio físico e a sensação térmica dos indivíduos inseridos nesse meio (GOBO, p. 57, 2018).

De acordo com Binarti et al. (2020), a criação de um ambiente termicamente confortável abrange várias dimensões, indo desde a mitigação do fenômeno das ilhas de calor urbanas até o aprimoramento da saúde e bem-estar dos habitantes como seu objetivo fundamental. Portanto, uma abordagem metodológica centrada no ser humano deve ser adotada para controlar, ajustar e direcionar os fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, no contexto urbano, de forma a alcançar a zona de conforto térmico desejada.

2.3 Processo de formação e expansão urbana de João Pessoa: aspectos gerais da urbanização brasileira e o processo histórico e de expansão de João Pessoa-PB

O Brasil, trinta e quatro anos depois do seu descobrimento teve seu território dividido em 15 lotes de terras, eram as chamadas Capitanias Hereditárias. Nas terras que hoje se constitui o Estado da Paraíba e, posteriormente, a cidade de João Pessoa, se constituía a Capitania de Itamaracá, que segundo Rodriguez (2002, p.17) “[...] estendia-se desde a foz do Rio Santa Cruz (hoje Igarassu) em Pernambuco, até a Baía da Traição, na Paraíba, com trinta léguas de frente”. Cada uma das capitanias tinha seu donatário, ou seja, os donos das terras. Nessa época, esse território era habitado pelas tribos indígenas Tabajara e Potiguar.

Com a morte de Pero Lopes de Sousa, donatário da Capitania de Itamaracá que morrera num naufrágio, João Gonçalves ocupou o seu lugar. Um homem muito elogiado por sua administração e por sua competência, pois fez com que a Capitania tivesse um grande crescimento. Após sua morte, os índios começaram a ser maltratados, gerando conflitos com os portugueses. Esse descontentamento fez com que muitos índios se aliassem aos franceses, para confrontar com os portugueses e tentar a conquista do território. Os diversos confrontos contra índios e franceses fizeram com que os portugueses se preocupassem com a soberania do território, resolvendo tomar posse da terra, criando a Capitania Real da Paraíba, em 1574 (BARBALHO, 2009).

Muitas lutas foram travadas para oficializar a conquista do atual território da Paraíba. Os portugueses fracassaram várias vezes, mas uma expedição organizada e chefiada por Martim Leitão levou a conquista definitiva do território aos portugueses. Essa vitória deve-se em parte a um desentendimento ocorrido entre os Potiguaras e os Tabajaras. Diante disso, Martim Leitão resolveu convidar o capitão João Tavares para a expedição, pois era considerado um homem de espírito apaziguador e ideal para firmar uma aliança com os Tabajaras contra os Potiguaras e os franceses. Com essa aliança firmada, os portugueses conseguiram tomar posse da terra e dar início ao processo de ocupação do território (SOUSA, 2022).

Em seguida, os portugueses iniciaram suas construções na parte alta da cidade, hoje conhecido como bairro do Varadouro. Essas edificações tinham como objetivo

primordial a gestão abrangente da região, a proteção da costa contra invasões, o estabelecimento de controle político e social local, bem como servir como um acesso conveniente ao rio Sanhauá. Os índios Tabajaras, aliados dos portugueses, ficaram concentrados na parte mais baixa da cidade (NASCIMENTO, 2017).

Para Silva (1997, p. 3):

Uma parte dos índios tabajara, ficou aldeada do outro lado do rio, no local atualmente conhecido por Ilha do Bispo. Na parte baixa da cidade ficava o antigo Porto do Capim. As atividades comerciais ficavam na "Rua do Passo", nome comum à época dado para os lugares que possuíam armazéns de pau-brasil e de açúcar.

Leal (1997, p. 24) relata dizendo que “A conquista da Paraíba do atual espaço territorial paraibano, ocorreu nas duas últimas décadas do século XVI, em função da necessidade de conquistar terras para a cultura da cana-de-açúcar e criação de gado”, já que o território paraibano era munido de boas condições de solo e clima favorável para a produção de cana-de-açúcar. A partir de então, a Paraíba passou a ser explorada para diversas atividades, tanto agrícolas como extrativa, e passou a ser uma grande produtora de cana-de-açúcar, lhe proporcionando um maior desenvolvimento do lugar e a conquista no mercado europeu. No litoral paraibano os colonizadores também exploravam vários tipos de madeiras existentes na região, conforme nos mostra Rodriguez (2002, p.18), “As madeiras exploradas eram o pau-brasil e outras como, o cedro e o jacarandá, resistentes e duráveis, que se destinavam ao fabrico de barcos e móveis para a nobreza”.

Nas primeiras décadas do século XVII, a cidade de Parahyba já ocupava o terceiro lugar em produção e comercialização de açúcar no Brasil. Ainda neste século “a expansão urbana [...] deu-se a partir da construção da Igreja da Misericórdia na rua Direita (ao sul) e do Mosteiro Carmelita (a leste), responsável pela expansão e consolidação do Bairro de Tambiá, um dos mais antigos da cidade” (SILVA, 1997, p.5). Nessa porção da cidade se destacavam as Rua Nova e a Rua Direita (Cidade Alta), que atualmente são as ruas General Osório e Duque de Caxias. Nessa importante região da cidade eram implantadas as principais construções da época, tais como as edificações públicas e religiosas (conventos franciscano, carmelita, beneditino e jesuíta) (MOURA FILHA, 2006). Pode ser visto essa presença arquitetônica na Figura 1 a seguir.

No Varadouro, antigamente conhecido como Cidade Baixa eram onde se localizavam os armazéns de estivas, as poucas lojas comerciais, além das edificações portuárias (VIDAL, 2002). Nessa porção da cidade também se encontrava o Porto do Capim, que recebia navios de até cem toneladas, pois o trajeto até a foz do Parahyba estava repleto de “coroas de areia” impedindo a navegação de navios de maior calado (VIDAL, 2004).

Neste período a expansão da cidade só poderia ser feita nas direções leste e sul, pois o Rio Sanhauá e seus manguezais tornavam-se fatores naturais que impediam o crescimento da cidade nas direções norte e oeste. Durante o século XVIII, sobre o domínio holandês, a Parahyba não conseguiu desenvolver grandes empreendimentos, pois a política holandesa para a região era distinta da implantada na de Pernambuco. Os holandeses fizeram uma simples administração do território sem desenvolver grandes construções, com exceção do muro de proteção do seu quartel general, e o Convento Franciscano de Santo Antônio. A administração holandesa, gerou um atraso no desenvolvimento da cidade, pois as construções ainda eram poucas e precárias, foi só depois da doação de sesmarias, concedidas pelo rei de Portugal que essa realidade foi se transformando, dando origem a novas edificações e alguns estabelecimentos comerciais, assim como o surgimento de pequenas ruas e estradas, contribuindo para o desenvolvimento da cidade (CARVALHO, 2008).



Figura 1 - Vista parcial da Cidade da Parahyba em 1902, onde pode-se notar em destaque a Rua Direita, atualmente Rua Duque de Caxias.

Fonte: Acervo Walfredo Rodriguez.

Refletindo sobre a atitude da população durante o período de domínio holandês, Silva (1997, p.6) enfatizou que: 'Durante a ocupação holandesa, a população não colaborava com o novo governo, optando por queimar plantações e conduzir guerrilhas persistentes, o que culminou no encurralamento dos holandeses no Convento de Santo Antônio e, finalmente, na rendição dos “invasores”.

Nesse período, após o domínio holandês, o que era produzido na Parahyba era levado para ser comercializado na metrópole vizinha, enfraquecendo o comércio local. A Parahyba tornou-se dependente de Pernambuco por não conseguir pagar os altos impostos cobrados pela comercialização dos seus produtos nesse território (OLIVEIRA, 2016).

Segundo Rohan (1911, p. 309)

Com todas as fragilidades a Parahyba procurava voltar-se para si própria e seguia lentamente no passo de consolidação e ocupação do seu território. Sua economia baseava-se na lavoura da cana de açúcar, legumes, cereais, frutas e outros gêneros alimentícios; no comércio e na navegação de cabotagem; na pesca; na fabricação de cal e de louças de barro. A falta de um porto competitivo e diretamente ligado à malha urbana tratou de colocar a capital fora do roteiro comercial tradicional.

De acordo com Silva (2008, p.26) “Devido a esse processo, a segunda metade do século XVIII ficou marcada por uma crise que se pôde observar na estrutura física da cidade que, neste período não sofreu alterações significativas”. Entre tantos domínios, a cidade da Parahyba, desde a sua fundação aos dias atuais, obteve várias denominações, sendo uma delas de Nossa Senhora das Neves, em homenagem a divindade daquele dia (05 de agosto de 1585). Conforme Egler e Moreira (1985, p.16), “Somente após a quinta expedição de conquista é que foi fundada a cidade de Nossa Senhora das Neves [...], que nasceu enquanto Cidade Real sem conhecer foro de vila”.

Posteriormente, em 29 de outubro de 1585, em homenagem ao rei da Espanha, recebeu o nome de Filipéia de Nossa Senhora das Neves. Depois passou a se chamar Frederica (26 de dezembro de 1634), em homenagem ao príncipe holandês, pela conquista feita por eles. No dia 01 de fevereiro de 1654, passou a chamar-se de Parahyba, retornando ao domínio português (PEREIRA e PEREIRA, 2017).

No século XIX a cidade da Parahyba, ainda apresentava um aspecto de cidade pacata, mais rural do que urbana, com características de vila e carente de diversos

equipamentos urbanos, ou seja, um aglomerado urbano pequeno. Tal simplicidade é registrada por Araújo (2006, p. 33), quando faz referência a Parahyba do século XIX,

As casas residenciais eram modestas, segundo a arquitetura típica das residências coloniais e despidas de muitos dos básicos necessários a prédios urbanos destinados a moradias. Poucos sobrados ostentavam a imponência da sua arquitetura e o status mais elevado dos seus moradores. Logo depois do centro iniciavam-se os sítios [...] e logo depois a mata emoldurava a pequena cidade, às vezes seccionando-a, isolando pequenos conjuntos de habitações, que passavam a constituir povoados quase que independente.

A Parahyba nasceu como cidade, fundada a partir das necessidades de continuidade do projeto expansionista luso-hispânico, mas apresentava uma condição de pequeno vilarejo, carente de infraestrutura, com arquitetura modesta, citado no trecho de Araújo, constituída por uma morfologia urbana simples (LLARENA, 2009).

A cidade de João Pessoa já nasceu como cidade, por ter sido fundada pela cúpula da Fazenda Real, uma capitania da coroa. Surgiu às margens do Rio Sanhauá, afluente do rio Paraíba, onde foi feito um tratado de paz entre os índios da região e os portugueses no dia 05 de agosto de 1585. Após a conquista portuguesa e o tratado de paz feito com os índios, a cidade continuou a crescer e se expandir na região Central, hoje conhecido como bairro do Varadouro, onde as famílias mais ricas ocupavam as partes altas da cidade e os indígenas e a população mais pobre ocupava a parte baixa (LLARENA, 2009).

A formação da cidade de João Pessoa, assim como outras cidades está relacionada à dinâmica da economia regional. Uma das características que alavancou a ocupação do território de João Pessoa, foi a crise econômica na agricultura vivenciada em meados do século XIX. Nesse período, o meio rural passava por uma crise provocada pela diminuição da exportação da cana-de-açúcar, gerando uma imigração do interior para a capital, ocasionando o aumento da população urbana. O comércio da capital e o incremento da renda local também serviram como atrativo para a população do interior. A partir de então, a cidade começou a crescer em níveis populacionais e econômicos fazendo surgir novos bairros, principalmente ao sul e ao norte (SILVA, 2008, p.28). A Figura 2 a seguir mostra o direcionamento da expansão urbana da cidade de João Pessoa-PB, no século XX



Figura 2 - Parque Sólón de Lucena (Lagoa) e a longa reta da Avenida Epitácio Pessoa levando a cidade ao mar (década de 1950).

Fonte: Acervo Humberto Nóbrega.

No que tange a ocupação propriamente dita da cidade de João Pessoa, deve-se ressaltar que, nas primeiras décadas do século XX, houve um pequeno avanço em torno da área central, que correspondia à Cidade Alta até as imediações do que seria hoje o Parque Sólón de Lucena, local conhecido como Lagoa. Essa barreira natural pantanosa e não drenada, impedia o crescimento da cidade na direção leste. Observou-se então, que o crescimento se fez tangenciando esta área alagada, como a rua do Tambiá (atual Odom Bezerra), Trincheiras e Estrada de Jaguaribe (SILVA, 2008, p.28) (Figura 3).

Nesse período, a cidade começou a passar por profundas transformações, manifestando uma aparência urbana que resultou das iniciativas públicas destinadas à sua modernização. Surgiram a instalação de equipamentos urbanos, a construção de praças e edifícios privados, o calçamento de ruas e a abertura de novas avenidas, todos evidenciando

o seu caráter urbanístico em ascensão. Sobre esses avanços, Maia (1994, p.19) destaca que '[...] muitos os aclamaram como o início da era da modernidade.



Figura 3 - Vista parcial da Rua das Trincheiras no bairro de Jaguaribe.

Fonte: Acervo Humberto Nóbrega.

Deve-se destacar que a Rua das Trincheiras nessa época era foi uma das primeiras ruas calçadas (RODRIGUEZ, 1994). Esse período também foi marcado pela construção de novas ruas pelo presidente da província na época, o Tenente-Coronel Beaurepaire Rohan, que contratou especialistas para fazer um levantamento da planta da capital, para que as ruas pudessem ter um plano de ordenamento que regulamentasse a suas construções (Figura 4).

Com esse levantamento o então presidente ordena a abertura das seguintes ruas: Quintais, a oeste da Direita, Rua Formosa, também conhecida como, Rua do Melão (atual Coronel Beaurepaire Rohan), a Rua da Conciliação, Rua do Jardim, Rua da Palma e Rua do Império (RODRIGUEZ, 1994).

A cidade passou nas primeiras décadas do século XX, por um processo de reestruturação viária, com o alargamento e a abertura de novas ruas, visando melhores

condições de circulação, e intervenções de ordem estética, que visavam o embelezamento dos espaços públicos (VIDAL, 2002).



Figura 4 - Vista da planta da cidade da Parahyba no ano de 1905

Fonte: Mapa do acervo do Instituto Histórico e Geográfico da Paraíba.

O processo de urbanização da província também estava atrelado ao impulso da produção algodoeira, base da economia local na época, sendo o principal produto de exportação, gerando um período de prosperidade que se refletiu em todo o Estado. Sobre o período de urbanização de João Pessoa, Mello (1990, p.29) divide em três fases: (1) o período de 1888-1896, relacionado à mentalidade de modernização do Império e nascente República; (2) década de 1910-20, quando são lançadas as bases da redefinição do espaço urbano da atual João Pessoa; e (3) a década de vinte, quando começa a ocorrer a transição da hegemonia das oligarquias rurais para o domínio da classe média, simbolizada pelos comerciantes do litoral, profissionais liberais, funcionários públicos, estudantes e mulheres, com estas últimas adquirindo status político.

No governo de João Machado (1908–1912), a cidade passou por significativas transformações. Foi nessa época que se introduziu o primeiro serviço de abastecimento de

água, luz elétrica e bonde de carris, este último operando durante três décadas. Além disso, o governo promoveu a abertura da avenida que leva seu nome e a pavimentação de várias ruas, como mencionado por Silva (1997, p.17). Durante esse período, as residências ainda mantinham uma aparência colonial, caracterizadas por construções conjugadas, com espaços escuros e pouca ventilação, frequentemente desprovidas de janelas laterais. No governo de Castro Pinto (1912–1916) foram feitas ações saneadoras importantes no Sítio da lagoa dos Irerês (atual Parque Sólon de Lucena), determinando o início da expansão da cidade para o leste (MENEZES, 1985) (Figura 5)



Figura 5 - Vista da antiga Lagoa dos Irerês, atualmente Parque Sólon de Lucena (Lagoa)

Fonte: Humberto Nóbrega.

No governo de Camilo de Holanda (1916–1920) a cidade passou por um processo revolucionário de mudança, com a contratação de arquitetos italianos transformando a concepção urbanística colonial das edificações. Foram intensificadas as obras de prolongamento de ruas, calçamentos, abertura de avenidas e praças. Neste período inicia-se a abertura da Avenida Eptácio Pessoa, responsável por nortear a expansão da cidade nas próximas décadas (Figura 6). Também foram realizados importantes obras urbanas, como o prolongamento da Avenida General Osório até a Rua da República (VIDAL, 2004). Nesse

governo, o termo 'revolução urbanística', cunhado por Silva (1997), é plenamente justificado devido à abrangente transformação ocorrida em termos de planejamento urbano, cultura, ideologia e, especialmente, no espaço urbano propriamente dito. A década de vinte marcou uma mudança profunda, caracterizada principalmente pelo intervencionismo no planejamento urbano.



Figura 6 - Vista Aérea da Avenida Epitácio Pessoa na orla da cidade de João Pessoa em 1950

Fonte: Acervo Humberto Nóbrega.

Diante do ordenamento espacial, a cidade apresentou grandes áreas de lazer no Centro, com jardins, praças e coretos, promovendo a socialização e o encontro das pessoas que moravam naquela área. Também é feita a urbanização do Parque Arruda Câmara, onde se localiza a Bica do Tambiá e a urbanização da Praça da Independência, além do melhoramento na área do Porto do Capim (COUTINHO, 2004). No governo de João Suassuna (1924–1928) foram concluídas as obras de saneamento da cidade e o saneamento da Lagoa, projetada por Saturnino de Brito, que já antecipava a expansão da cidade para o Leste. A população da cidade era de aproximadamente 30.000 pessoas e ocupava a área

entre o rio Sanhauá e a Lagoa. Nesse período também foi construído o Hospital de psiquiatria Juliano Moreira.

Na década de 1930 no governo de João Pessoa, o crescimento da cidade foi baseado nas grandes obras públicas de arquitetura neoclássica dos anos 30. As principais obras desse governo foram: a eletrificação subterrânea da Rua Direita, reforma do Liceu Paraibano e do Palácio do Governo, a abertura do trânsito na Av. Epitácio Pessoa, a construção da Praça Antenor Navarro e o Pavilhão do Chá na Praça Venâncio Neiva e o início das obras de construção do Paraíba Palace Hotel no Ponto de Cem Réis. Em relação à economia da cidade, o comércio passa a ser o eixo central, impulsionado pelas iniciativas empresariais nos setores de calçados, cigarros e bebidas.

A partir de 1937, durante o Estado Novo, o processo de desenvolvimento da cidade foi reforçado com a liberação de verbas federais, para dar continuidade aos empreendimentos modernizadores da cidade de João Pessoa. Segundo Silva (1997, p.19) “[...] as ações urbanísticas de maior destaque foram à abertura da Avenida Getúlio Vargas, onde se situava o Instituto de Educação, o Liceu Paraibano, tido como um dos melhores educandários do Estado, o prédio da Secretaria do Estado, a Rádio Tabajara e algumas obras de saneamento e abastecimento de água”. Foi nesse período também que houve a melhora do Parque Sólon de Lucena, possuindo calçamento e constituindo-se um ponto de passagem com a Av. Getúlio Vargas, e a realização do plano de construção de rodovias, idealizado para todo o país.

Durante a década de 1950, alguns conjuntos habitacionais desempenharam um papel crucial no impulso do crescimento da cidade na direção Leste-Oeste, como documentado por Silva (1997, p.21), que registra esse período da seguinte maneira:

[...] na década de 50, dois conjuntos habitacionais de grande porte nos bairros de Jaguaribe e Expedicionários, contribuíram para o crescimento da cidade naquela direção. A partir de então vários conjuntos habitacionais foram sendo implantados nos bairros do Centro, Tambiá, Torre, Jaguaribe e Expedicionários, num total de 851 unidades até 1963.

Ainda na década de 1950, várias residências de alto luxo começaram a ser construídas ao longo das Avenidas Epitácio Pessoa e da Beira Mar, pois esses lugares

passaram a ser valorizados devido à implantação da obra de calçamento ao longo das duas Avenidas. Na década de 1960 surgem duas ramificações que posteriormente influenciaria na expansão da cidade e no seu crescimento. De acordo com Leal (1997, p. 26),

[...] ligam a cidade a porção Sul, via Recife (esta tendência já tinha brotado no século XVII com a abertura da primeira rua da cidade a Rua Direita), e a segunda em direção Leste proporcionada pela burguesia urbana e rural, neste período já é evidente o processo de segregação espacial no uso do solo urbano, onde a população rica vai ocupando a parte plana, através das residências de alto padrão, enquanto a população pobre permanece na parte baixa e circunvizinhanças, cujo valor do solo se diferencia da primeira.

Rodriguez e Droulers (1981, p.21) remontam essa realidade quando dizem que, “O primeiro grupo seria formado pelos bairros mais antigos, populares e mais pobres [...]; o segundo grupo seria formado pelos bairros novos, planejados e mais ricos [...]”.

No final da década de 1960 e início da década de 1970, a intervenção governamental desempenhou um papel crucial na expansão da cidade. Isso se concretizou com a criação do Distrito Industrial e a construção das rodovias BR-101 e BR-230, que funcionaram como catalisadores para o crescimento urbano e estabeleceram conexões vitais entre o Porto de Cabedelo e outros estados nordestinos. Além disso, durante o mesmo período e como parte da mesma política governamental, o Campus Universitário da Universidade Federal da Paraíba foi estabelecido, impulsionando ainda mais o processo de expansão da cidade na direção Sul e Sudeste (LEAL, 1997).

Na década de 1970, nas porções norte e leste do município foram criados loteamentos e construções de edifícios para a população de maior poder aquisitivo. Essa porção na cidade de João Pessoa compreende uma área que se estende dos bairros do Bessa até o Cabo Branco.

Dentro da política dos conjuntos habitacionais, foram criados vários bairros destinados à população de baixa renda, cujo objetivo era descentralizar a população do núcleo histórico da cidade. Esses bairros foram criados nas porções Sul e Sudeste, ampliando o espaço urbano do município, e compreendem: o Castelo Branco (I, II e III),

Ernesto Geisel, Cristo Redentor, Bancários, Mangabeira (I, II, III, IV, V, VI e VII), Valentina de Figueiredo.

Neste sentido, a criação de novos conjuntos habitacionais em todo o Brasil é resultado das políticas governamentais do Banco Nacional de Habitação (BNH), do Sistema Financeiro de Habitação (SFH) e de outras entidades como as COHAB's que agem sob o comando federal.

Nesse período, a cidade começou a se expandir a partir de duas vias principais: a Avenida Cruz das Armas em direção ao Recife e a Avenida Epitácio Pessoa na direção leste. A configuração da paisagem urbanística na Avenida Epitácio Pessoa foi se modificando, deixando de ser área residencial de alto padrão para abrigar estabelecimentos comerciais, como nos mostra Silva (1997 *apud* KOURY, 2005, p.152) “[...] a população de maior poder econômico da cidade começou a migrar em direção a orla marítima, e as casas luxuosas ao longo da Avenida transformaram-se, aos poucos, em estabelecimentos comerciais” (Figura 7).

De acordo com Ribeiro e Silveira (2020), o Brasil teve uma abrangente reestruturação em todos os âmbitos políticos, sociais e econômicos na década de 1970. Nessa década ocorreu o plano econômico conhecido como o 'Milagre Brasileiro' e a implementação do Plano de Integração Nacional, que resultou em uma transformação generalizada das cidades de um cenário predominantemente rural para um cenário urbano em todo o país. Entretanto, à medida que o plano econômico entrou em declínio na metade da década de 1970, devido à crise do petróleo, houve um redirecionamento dos investimentos para o mercado de conjuntos habitacionais, uma vez que esses empreendimentos não demandavam financiamentos elevados. O objetivo desses investimentos era alcançar a classe média da população, que estava adquirindo maior poder de compra no contexto desse plano econômico.

Com essa junção dos investimentos feitos pelo governo, tanto em residências de alto padrão como em conjuntos habitacionais, acabou sendo uma forma de promover a descentralização da população da cidade de João Pessoa para outras áreas, já que grande parte das residências surgiu em torno da região central e aos poucos foi se transformando e seguindo outras direções.

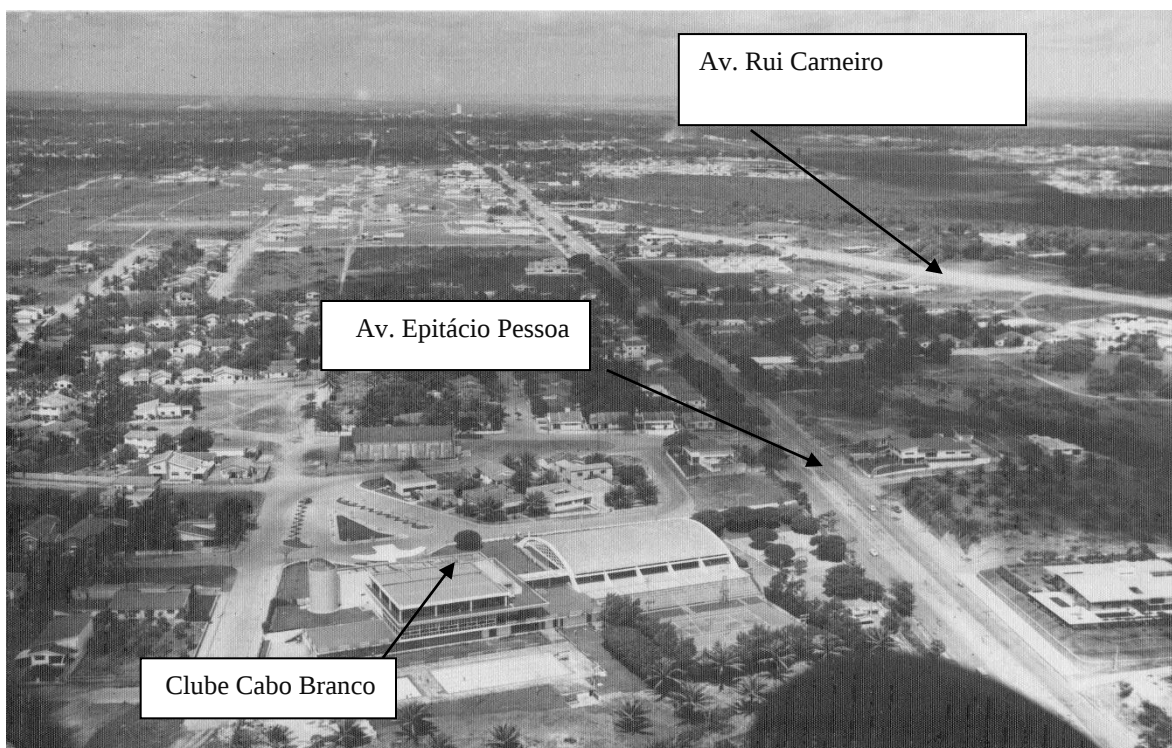


Figura 7 - Indicação de importantes edificações e vias localizadas no bairro de Miramar.
 Fonte: Acervo Humberto Nóbrega.

Entre os anos de 1970 e 1980, João Pessoa experimentou um crescimento significativo, impulsionado pela implementação de diversos conjuntos habitacionais. Estes conjuntos abrangeram uma gama diversificada de padrões de vida da população, abrangendo desde a reurbanização de áreas de favelas, como o Grotão, até o desenvolvimento de conjuntos residenciais mais sofisticados, como os Bancários (RIBEIRO e SILVEIRA, 2020).

Até a 1980 percebe-se a influência do planejamento Tecnocrático – centralizado – autoritário, o que equivale ao período da Ditadura Militar, quando surgiram os primeiros conjuntos habitacionais, entre eles, Castelo Branco, Ernesto Geisel, Costa e Silva, Valentina Figueiredo, entre outros (VIDAL, 2002). Os conjuntos habitacionais do José Américo (Água Fria, antes anexo ao José Américo) também fizeram parte desse período, influenciados pelo Sistema Nacional de Habitação, assim como o bairro de Mangabeira que se constitui hoje o maior bairro da cidade de João Pessoa e se limita com os bairros do José Américo e Água Fria.

Na década de 1990, observou-se uma intensificação notável no processo de urbanização e expansão do espaço urbano. No centro da cidade, parte das antigas residências foi gradualmente convertida em edifícios comerciais e empresariais, conforme destacado por Koury (2005, p.152-153), “O centro da cidade deixou, em grande parte, de ser uma área residencial, transformando-se em um polo de grandes comércios, estabelecimentos populares e instalações governamentais da cidade”.

Nesse mesmo período, a orla marítima emergiu como um centro comercial e turístico de destaque, caracterizado pela construção de residências de alto padrão e pelo início do processo de verticalização, que desempenhou um papel determinante na utilização do solo na região da orla.

Atualmente, João Pessoa tem uma configuração socioeconômica, a partir de um perfil definido pelas camadas sociais de alta renda, sendo injustamente refletida no solo urbano, ocupando principalmente as áreas elevadas, planas, litorâneas, munidas de infraestrutura e serviços (ANDRADE, 2007).

Nas Figura 8 a Figura 10 mostram a evolução da malha urbana entre 1634 e 1990 na cidade de João Pessoa. A Figura 8 apresenta a evolução urbana na cidade de João Pessoa de 1634 a 1930. Percebe-se que em 1634, a ocupação do solo urbano encontrava-se concentrado na área conhecida hoje como Centro da cidade e no Varadouro, onde predominavam as habitações residenciais e as principais atividades da época. Em 1855, a cidade continuou se expandindo na direção oeste, compreendendo o bairro das Trincheiras, e de encontro ao Rio Sanhauá o bairro da Ilha do Bispo.

A partir de 1910, a cidade começou a crescer na direção leste, após o fim das obras de drenagem do Parque Sólon de Lucena (Lagoa), em direção ao bairro da Torre. Observa-se em 1920, a expansão da cidade em várias direções, ou seja, o momento em que João Pessoa tem um crescente processo de ocupação do solo, inclusive na área litorânea. Na direção Oeste, observa-se o crescimento dos bairros de Jaguaribe, Cruz das Armas, Alto do Matheus, onde Oitizeiro, Ernani Sátiro e Costa e Silva estão localizados mais a Sudoeste. Na direção Norte, localiza-se o bairro do Roger, Treze de Maio, Padre Zé, Mandacaru e Bairro dos Ipês, na direção Nordeste o Bairro dos Estados, Brisa Mar, Miramar e na parte litorânea e Leste da cidade, os bairros de Cabo Branco e Tambaú (BANDEIRA, 2016).

A Figura 8 seguir ilustra o crescimento urbano de João Pessoa-PB entre os anos de 1634 a 1930.

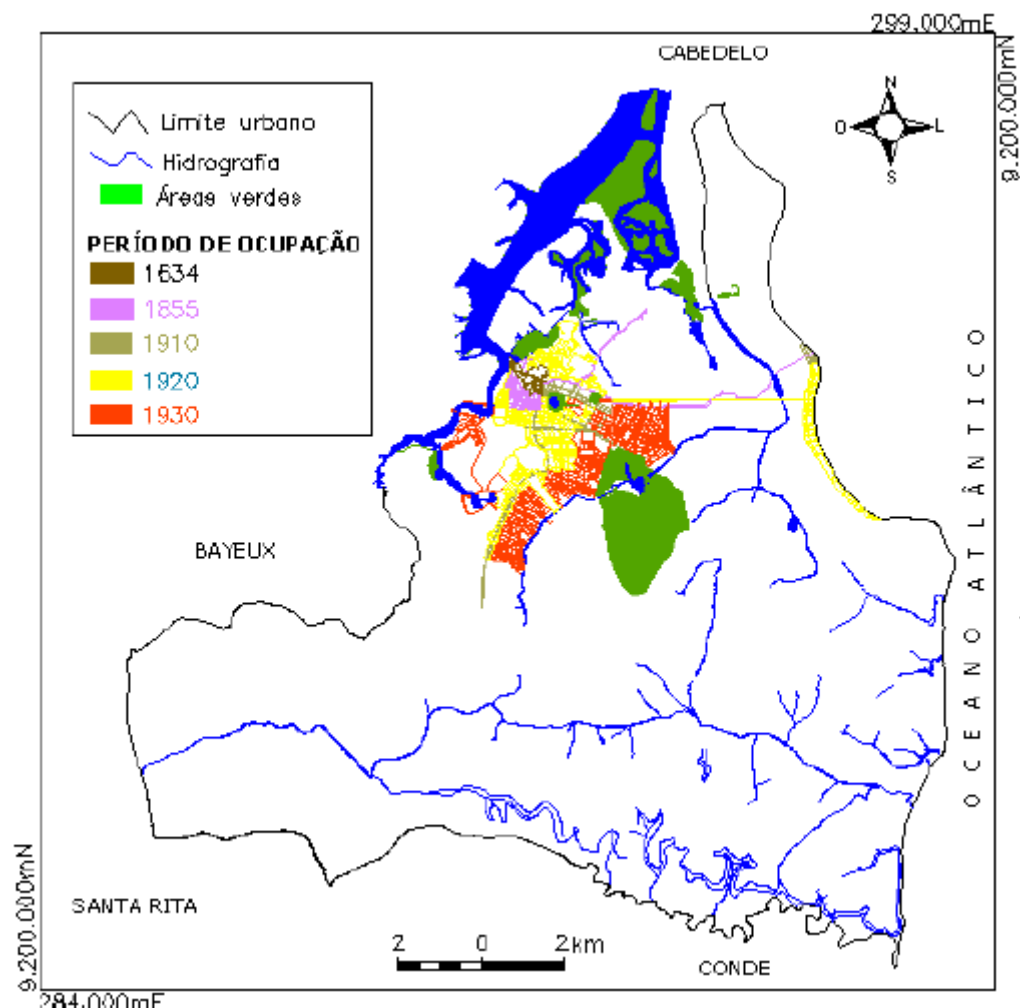


Figura 8 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa-PB entre 1634 e 1930.

Fonte: Coutinho (2004).

A partir da análise da Figura 8, em 1930, observa-se um crescente adensamento da área, significando uma maior concentração da ocupação do solo urbano, na parte central da cidade na direção oeste, compreendendo uma maior concentração de residências nessa época, nos bairros de Jaguaribe e Cruz das Armas, pela sua maior facilidade de locomoção até o centro da cidade. Ainda nesse mesmo contexto, observamos na direção Leste, o adensamento dos bairros correspondentes ao da Torre e Tambauzinho (COUTINHO, 2004).

A Figura 9 apresenta a espacialização do crescimento urbano na cidade de João Pessoa no período compreendido entre 1940 e 1960. Nota-se que, a partir de 1940, houve um pequeno avanço da malha urbana quando comparado ao tempo em que a cidade poderia ter crescido mais, podendo estar relacionado ao surgimento do bairro São José (COUTINHO, 2004).

Na década de 1950, há um maior avanço da ocupação e expansão do solo urbano na direção oeste da cidade, abrigando os bairros de Oitizeiro, Jardim Veneza, o Bairro das Indústrias e um pouco mais ao Sul de Oitizeiro, o bairro de Ernani Sátiro. Na direção leste, percebe-se o surgimento correspondente aos bairros de alto padrão, ou seja, bairros com moradias de estruturas mais sofisticadas, como os Expedicionários, o crescimento do bairro do Miramar, onde cada vez mais se expande na direção leste, e mais ao Norte um maior adensamento e crescimento do Bairro dos Estados e Brisa Mar (COUTINHO, 2004).

A partir de 1960, observa-se um maior crescimento e adensamento do Bairro dos Ipês, o surgimento do bairro de João Agripino e seu adensamento em conjunto com o Brisa Mar, início de Tambaú, Manaíra e expansão do Cabo Branco, adentrando mais a cidade na direção oeste. Na direção Sudeste da cidade, próximo a popularmente conhecida Mata do Buraquinho, surge o bairro do Castelo Branco, dando início ao crescimento da cidade nessa direção e a sudoeste surgem os bairros do Conjunto dos Funcionários, Grotão e Ernesto Geisel (COUTINHO, 2004).

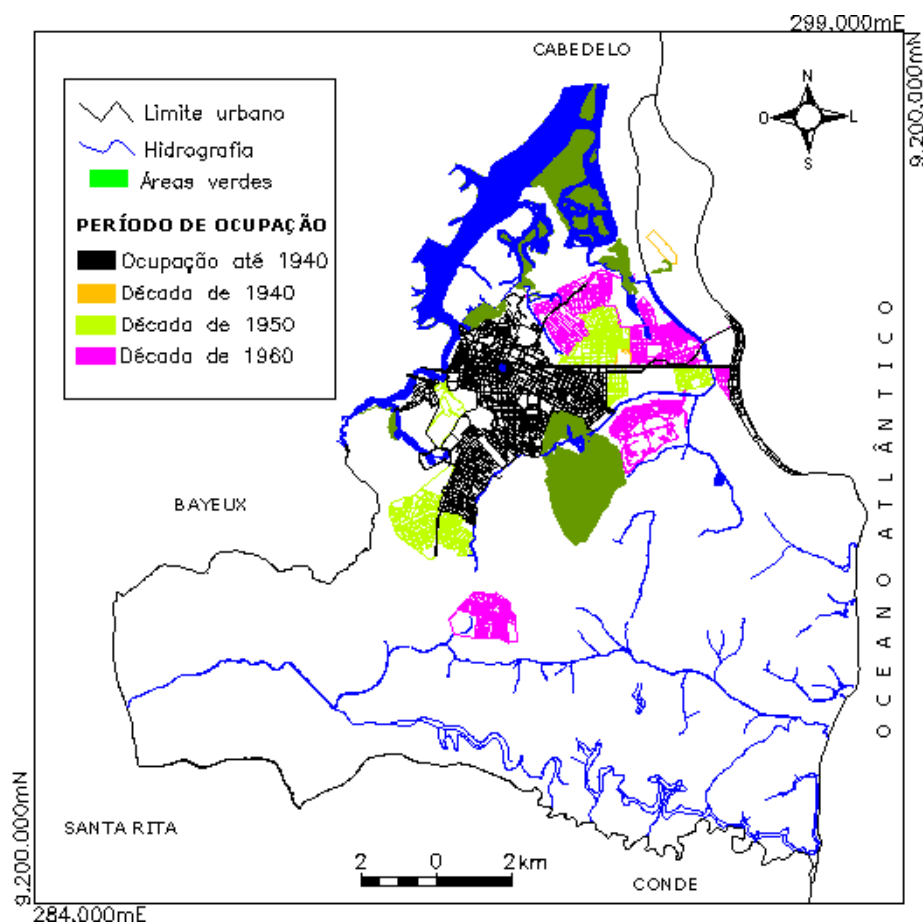


Figura 9 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa entre 1940 e 1960.

Fonte: Coutinho (2004).

Nota-se que a evolução urbana da cidade de João Pessoa no período de 1970 a 1990 ocorreu de forma acelerada, abrangendo diversas direções na cidade (Figura 10). A leste da cidade, surgiram os bairros de Manaíra, Altiplano, Portal do Sol, Seixas e Penha, enquanto as áreas correspondentes aos bairros de Tambaú e João Agripino experimentaram um aumento significativo na densidade urbana. Na parte oeste da cidade, observamos o desenvolvimento dos bairros Cristo Redentor, Água Fria, Ceasa, José Américo, conjunto Anatólia, Costa e Silva, bem como a expansão do Ernani Sátiro e do Distrito Industrial, este último situado em uma área menos densamente povoada, caracterizada por vários espaços vazios e uma localização um pouco mais distante do centro da cidade (COUTINHO, 2004).

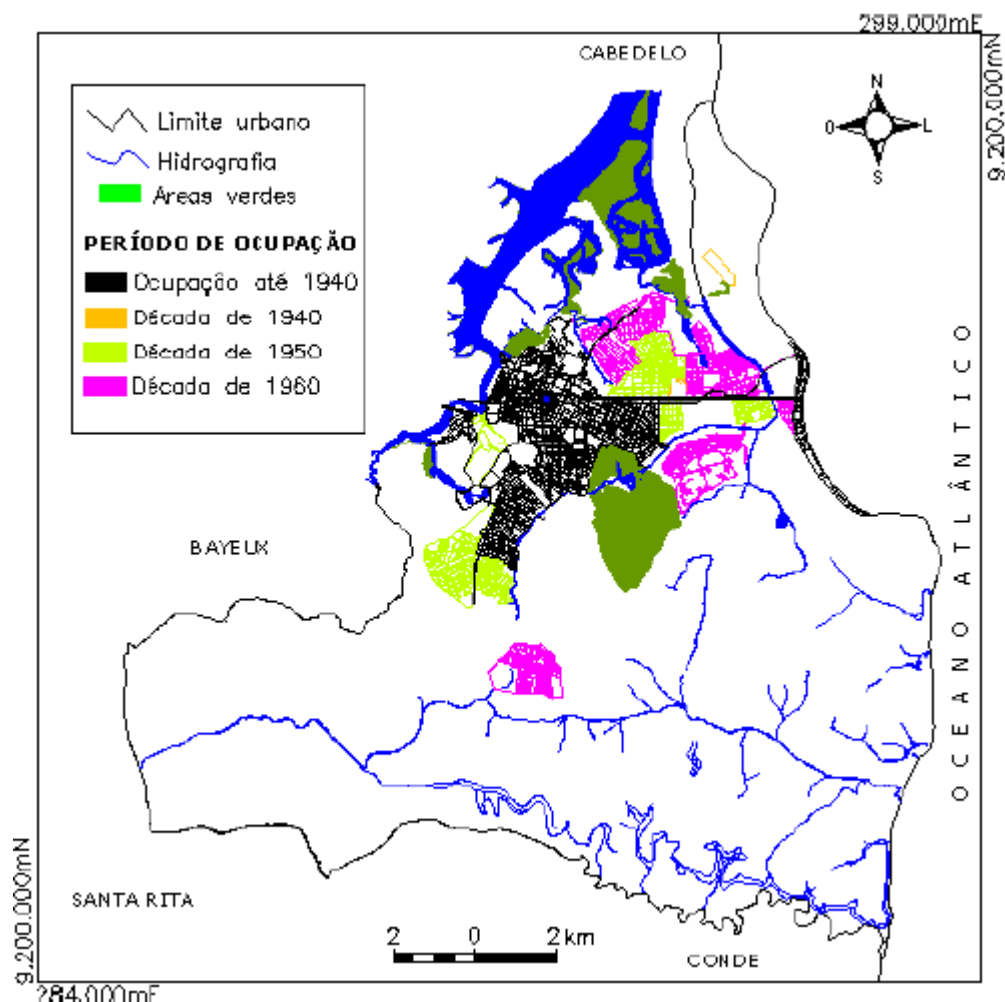


Figura 10 - Crescimento temporal da malha urbana de João Pessoa-PB entre 1940 e 1960.

Fonte: Coutinho (2004).

2.4 Mudanças no uso e cobertura do solo e indicadores bioclimáticos

As mudanças no uso e cobertura do solo associadas ao processo de urbanização e à variabilidade climática são os principais fatores que controlam os climas urbanos (CHEN et al., 2020; WANG e MURAYAMA, 2020). As mudanças no uso e cobertura do solo são controladas pelo crescimento populacional (ZHOU e REN, 2011). Atualmente, mais de metade da população global vive em áreas urbanas e espera-se que esta métrica ultrapasse os 60% até 2030 (GRIGORAS e URITESCU, 2019). Uma das consequências deste problema são as alterações no uso e cobertura do solo e o aumento das temperaturas nas áreas urbanas devido à substituição de áreas verdes por superfícies e materiais

impermeáveis, que absorvem e retêm uma grande quantidade de energia (DIHKAN et al., 2015).

Estudos sobre as relações entre urbanização, ilha de calor urbana superficial (SUHI) e conforto térmico externo em países caracterizados por climas quentes não são escassos (DA SILVA et al., 2010; ABREU-HARBICH et al., 2014; LITARDO et al., 2020; MOHAN et al., 2020). Por exemplo, Salata et al. (2017) relataram microclima, conforto térmico humano e problemas de saúde, mas apenas durante ondas de calor na cidade de Roma, e analisaram estratégias de mitigação de ilhas de calor em um ambiente urbano exterior. Bhati e Mohan (2018) analisaram os efeitos do SUHI em Delhi com base na pesquisa meteorológica e no modelo WRF v3.5 de previsão com foco na temperatura do ar e na temperatura da superfície da pele. He et al. (2020) investigaram a influência do desempenho da ventilação da área de grade compacta de um arranha-céu no SUHI e no conforto térmico externo para a cidade de Brisbane. Fahed et al. (2020) analisaram o impacto das medidas de mitigação de SUHI no microclima e no conforto dos pedestres num denso distrito urbano do Líbano. Mohan et al. (2020) estudaram o impacto da expansão urbana no SUHI e no conforto térmico durante cinco décadas em Delhi.

No Brasil, a recente expansão das cidades de médio porte aumentou acentuadamente desde a década de 1990-2000 (SILVA et al., 2018). Souza e cols. (2016) analisaram a influência do uso e cobertura do solo na temperatura da superfície. Da Silva et al. (2018) estimaram cenários futuros de conforto térmico para João Pessoa com base nas mudanças na temperatura e umidade relativa do ar.

O índice de desconforto térmico ainda é amplamente utilizado mundialmente para estimar a sensação térmica percebida pelas pessoas, embora sejam subjetivos e envolvam questões de percepção humana (MARÇAL et al., 2019). Existe uma abundância de índices de conforto térmico na literatura, como índice de sensação térmica (Siple e Passel 1945), índice de desconforto (GILES et al. 1990) e temperatura efetiva relacionada à função do vento (SUPING et al. 1992), entre outros. Assim, escolher um índice adequado não é um processo simples.

A escolha geralmente resulta em um compromisso entre simplicidade e aplicabilidade universal (NEDEL et al., 2021). No Brasil, estudos mostraram que o IDT – Índice de Desconforto de Thom - tem sido muito realista sobre as condições térmicas

percebidas pela população. O IDT é um dos índices mais utilizados para compreender as condições de conforto térmico em áreas urbanas e este índice já foi ajustado para faixas de clima tropical por Da Silva et al. (2010), Da Silva et al. (2018). Além disso, é um índice que trabalha basicamente com duas variáveis atmosféricas (temperatura e umidade relativa).

Além disso, a utilização de técnicas de análise espacial em áreas urbanas que passam por um aumento recente na densidade populacional e na verticalização, como é o caso da cidade de João Pessoa, cuja crescente especulação imobiliária de 2005 à 2016, proporcionou um significativo aumento do gabarito de prédios e terrenos ocupados pelos condomínios residenciais verticais, bem como a expansão e verticalização de novos bairros nas áreas mais periféricas e populares da cidade (ANDRADE, 2017). Dessa forma, é essencial investigar as interações entre as mudanças no uso e na cobertura do solo, o surgimento de ilhas de calor urbanas na superfície e na atmosfera, bem como a variação espaço-temporal do microclima urbano.

Estas variações de temperatura a nível local desencadeiam problemas ao bem-estar e à saúde da população e contribuem para a poluição atmosférica, o que se torna um desafio para a gestão energética e para o planejamento urbano (SILVA et al., 2018; PERES et al., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na cidade de João Pessoa-PB, localizada em latitude 7° 6' 55" S e longitude de 34° 51' 40" O. De acordo com o IBGE (2020) sua área territorial se estende por 210,044 km² e possui uma população estimada de 817.511 habitantes, com densidade de 3.892,1 hab/km².

A cidade de João Pessoa está situada no litoral da Região Nordeste do Brasil, mais especificamente na mesorregião da Mata Paraibana e na microrregião de João Pessoa, entre as coordenadas geográficas 7° 03' 00" a 07° 15' 00" de latitude sul e 34° 58' 00" a 34° 47' 30" de longitude oeste. Geograficamente, João Pessoa faz fronteira ao norte com o município de Cabedelo, ao sul com o município do Conde, a Leste com o Oceano Atlântico e a oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita. As Figura 11 e Figura 12 a seguir indicam a localização de João Pessoa-PB, e a localização dos dez pontos de estudo e coleta das variáveis meteorológicas dentro do município.

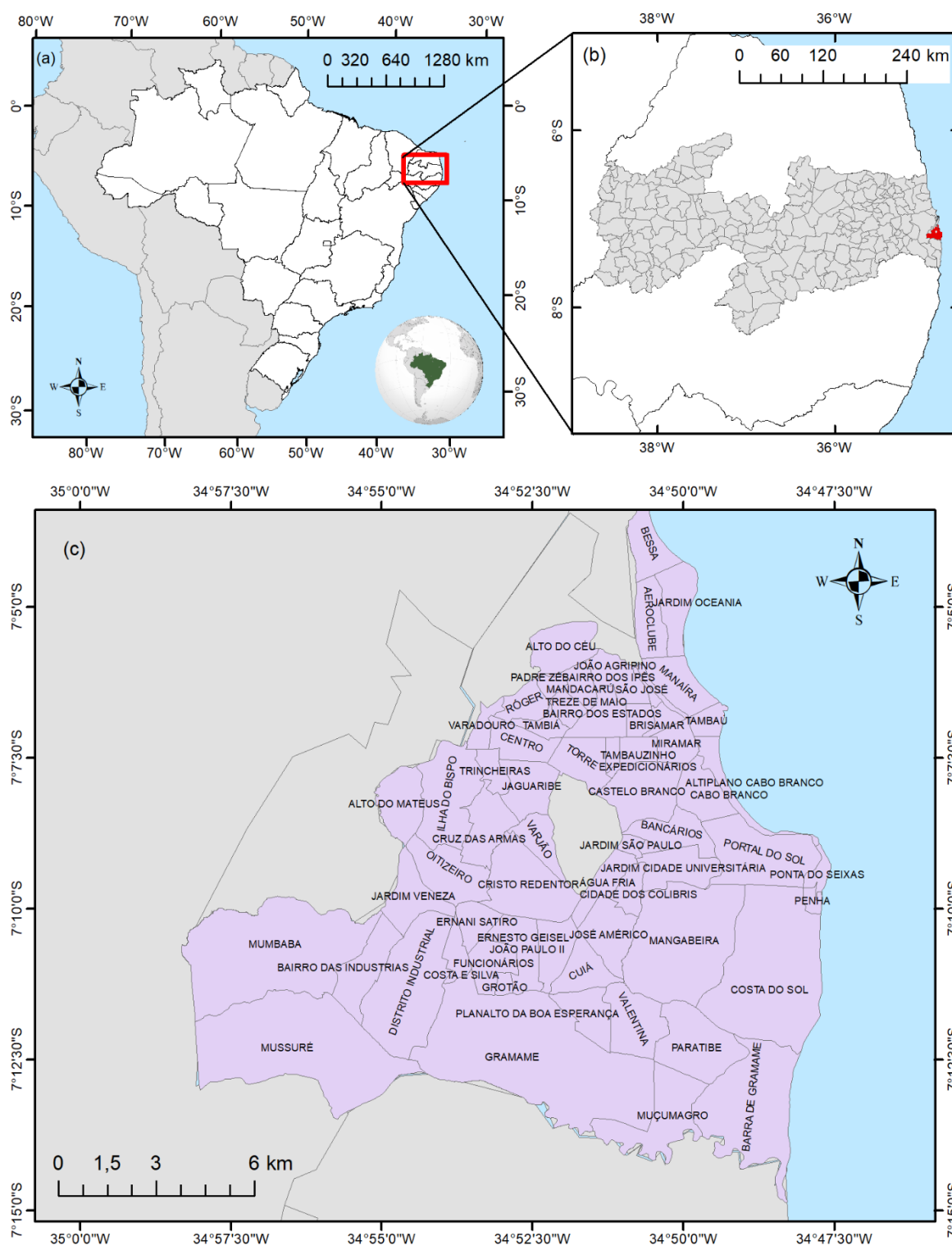


Figura 11 - Localização do município de João Pessoa-PB

Fonte: Gutierrez, 2019.



Figura 12 - Localização dos bairros em estudo dentro do município de João Pessoa-PB (JOÃO PESSOA, 2021) Adaptado.

Souza et al. (2016) observaram que o clima de João Pessoa é caracterizado como quente e úmido, com baixa amplitude térmica, variação de 5°C entre as temperaturas máximas e mínimas. As médias mensais de temperatura máxima variam entre 27°C e 31°C, sendo o mês de fevereiro o mais quente e as médias mensais de umidade relativa em torno de 70% a 80% ao longo do ano, atribuindo esses fatores a proximidade do mar.

A vegetação do município exibe uma diversidade de ecossistemas, notadamente a Vegetação Litorânea, a Mata Atlântica e a Vegetação dos Tabuleiros. A Vegetação Litorânea inclui áreas de praia e manguezais, enquanto a Mata Atlântica engloba os remanescentes da floresta tropical úmida, como as matas do Buraquinho, Penha e Gramame. Por sua vez, a Vegetação dos Tabuleiros consiste em aglomerados de arbustos e árvores com uma rica camada herbácea, onde predominam as gramíneas (LACERDA et al., 2021).

O clima da cidade de João Pessoa, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, pertence à categoria bioclimática 3dth, caracterizada como Regime Mediterrâneo ou Nordeste Sub-seco, com uma faixa climática do tipo As', o que significa que é um clima quente e úmido, classificado como Tropical chuvoso (classe A). A maior quantidade de precipitação ocorre durante o outono e o inverno, especificamente nos meses de maio a julho. Durante o período de 1963 a 2010, a precipitação anual variou de um mínimo de 501 mm a um máximo de 3.888 mm, com uma média anual de 1.896 mm (SILVA et al., 2022).

3.2 Expansão urbana

A expansão urbana foi analisada neste estudo baseada em imagens obtidas pelos satélites Landsat 5 e 8. Estas imagens foram analisadas e pré-selecionadas através da plataforma do *United States Geological Survey* (USGS GloVis), disponível no endereço eletrônico <http://glovis.usgs.gov>. O critério de escolha das imagens foram o maior período de imagens disponíveis e a menor quantidade de nuvens. Para a realização do estudo foram utilizadas quatro imagens de satélites distribuídas em um intervalo de 27 anos (Tabela 1), sendo três do Landsat 5/TM (*Thematic Mapper*), referente aos anos de 1991, 2006 e 2010, respectivamente e de 2018 obtida do Landsat 8/OLI (*Operational Land Imager*), todas da órbita 220 e ponto 62.

Todas as cenas utilizadas são do segundo semestre de cada ano analisado, pois este é o período com a menor presença de nuvens na região da área de estudo. As imagens foram obtidas em formato geotiff com projeção UTM e Datum WGS-84.

Com a utilização do *software* ArcGis 10.2® foi possível realizar a composição da cor real com as bandas correspondentes ao azul, vermelho e verde. Com esses dados foi possível classificar o uso e ocupação da terra para as imagens dos anos de 1991, 2006, 2010 e 2018, aplicando-se o método de classificação supervisionada pela máxima verossimilhança, seguido da conversão matricial em vetor e correção de polígonos.

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste estudo

Imagens	Elevação do Sol (°)	Azimute do Sol (°)	Cobertura de Nuvens (%)
05/11/1991	57,22	107,41	Q1-80 / Q2-40 / Q3-80 / Q4-80
26/08/2006	55,61	59,21	Q1-70 / Q2-80 / Q3-70 / Q4-70
08/10/2010	63,21	88,45	Q1-90 / Q2-30 / Q3-80 / Q4-40
28/09/2018	61,28	89,57	Q1-80 / Q2-25 / Q3-75 / Q4-35

Por meio da classificação da cobertura da terra foi possível realizar análises das transformações no espaço urbano. Para esse estudo foram classificadas cinco classes: (a) solo exposto, (b) área urbana, (c) vegetação arbórea/arbustiva, (d) vegetação herbácea, e (e) água. O mapeamento dessas classes foi realizado com base na supervisão usando o método de máxima verossimilhança, que é um dos métodos de classificação mais precisos e que mostra a intensidade das mudanças e diferenças visuais no uso do solo e cobertura do solo (SILVA et al., 2022).

A escolha das melhores bandas foi realizada mediante a melhor composição, ou seja, aquela com o melhor contraste espectral entre as classes de cobertura da terra. Nas imagens Landsat 5/TM, as bandas 3 (vermelho), 2 (verde) e 1 (azul) foram escolhidas para compor a visualização em falsa cor. Na imagem Landsat 8/OLI, as bandas 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) foram selecionadas para compor a melhor visualização de falsa cor.

Neste estudo, o método de máxima verossimilhança foi aplicado para classificação do uso e ocupação do solo. O classificador de máxima verossimilhança é um método baseado na abordagem de classificação estatística em que as assinaturas de classe são alocadas para terem distribuições normais. Este método foi utilizado porque fornece estimadores que possuem uma base intuitiva razoável e muitas propriedades estatísticas adequadas e tem sido amplamente utilizado em todo o mundo com bons resultados.

Para analisar precisamente a expansão urbana em João Pessoa foi adotado o NDBI, por ser capaz de identificar área construída, e foi amplamente trabalhado nessa pesquisa. O índice NDBI é calculado de acordo com o que é exibido na Equação 1:

$$\text{NDBI} = \frac{\text{MIR} - \text{NIR}}{\text{MIR} + \text{NIR}} \quad (1)$$

sendo MIR referente a banda do infravermelho médio (1,57 – 1,65 μm) e NIR a banda do infravermelho próximo (0,76 – 0,90 μm) (ZHA et al., 2003).

Esse índice, na maioria das vezes, baseia-se na maior refletância na faixa do MIR do que do NIR de áreas urbanizadas, porém em locais com vegetação seca, pode haver maior refletância do MIR resultando em valores positivos de NDBI para esses locais (XU, 2008). Cabe ressaltar que o índice NDBI varia de -1 a 1, e os valores positivos representam áreas construídas/impermeabilizadas e os valores negativos correspondem as áreas com cobertura vegetal. No entanto, a presença de vegetação seca e água com elevada concentração de material em suspensão também podem apresentar valores positivos para o NDBI (XU, 2008).

3.2 Temperatura da superfície

Para determinar a recuperação da temperatura da superfície terrestre, utilizamos as bandas infravermelhas térmicas de diferentes tipos de imagens Landsat (banda 6 do Landsat 5 e bandas 10 e 11 do Landsat 8). Primeiramente, convertimos números digitais de imagens no topo da radiância espectral atmosférica. Para o Landsat 5, os valores dos pixels foram convertidos de unidades numéricas digitais em valores de radiação (LANDSAT, 2011). Primeiramente, converteu-se números digitais de imagens para radiância espectral atmosférica, para o Landsat-5, especialmente, os valores de pixel foram convertidos da seguinte forma:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}}{Q_{\text{cal max}} - Q_{\text{cal min}}} \right) (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{cal min}}) + L_{\min \lambda} \quad (2)$$

em que L_{λ} é a radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), Q_{cal} é o valor do pixel calibrado com base em DN, $Q_{\text{cal min}}$ é o valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN=1), $Q_{\text{cal max}}$ é o valor máximo do pixel em níveis de cinza (DN=255), $L_{\min \lambda}$ é a radiância espectral mínima ($3.2 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), e $L_{\max \lambda}$ é a radiância espectral máxima ($12.65 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$). Para as imagens Landsat 8, o LST foi determinado pela Equação 3 (LANDSAT, 2015):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + \Delta_L \quad (3)$$

sendo M_L é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (3.3420×10^{-4}) e Δ_L é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (0.1000). Sendo a radiância espectral utilizando a Equação 4:

$$L = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times \frac{DN}{255} \quad (4)$$

Em que L é a radiância espectral, L_{min} é 1,238, L_{max} é 15,600 e DN é o número digital. Depois, a radiância foi convertida em temperatura de brilho com base na Equação 5:

$$T_B = \frac{K_2}{1 + \ln\left(\frac{K_1}{L}\right)} \quad (5)$$

no qual T_B é a temperatura de brilho, K_1 é uma constante de calibração (equivalente a 607,76) e K_2 é outra constante de calibração (equivalente a 1260,56). Sendo assim, o modelo de radiância espectral foi utilizada para calcular a Temperatura de Superfície do Landsat-5 e 8.

3.3 Coleta de dados meteorológicos

Para a análise microclimática e a validação dos dados obtidos por meio do processamento das imagens, recorreu-se aos registros observados de dez estações meteorológicas. Nessas estações, foram coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar utilizando termo-higrômetros. As medições foram realizadas continuamente ao longo de dois anos, com um intervalo de tempo de uma hora entre elas.

Os dados foram coletados para dois períodos distintos: (a) 2011: de janeiro a março de 2011 (período de estiagem) e de junho a agosto de (período chuvoso), e (b) 2018: de janeiro a março de 2011 (período de estiagem) e de abril a setembro (período chuvoso).

Os locais escolhidos compreendem a Mata do Buraquinho (P01), Expedicionários (P02), Manaíra (P03), Cabo Branco (P04), Alto do Mateus (P05), Cruz das Armas (P06), Mangabeira (P07), Centro (P08), Bancários (P09) e a estação do INMET (P10) (conforme

mostrado na Tabela 2). A seleção dos pontos de medição foi estratégica, considerando uma distribuição espacial que abrangesse locais com diferentes características urbanas e morfológicas, que têm o potencial de impactar significativamente as condições de temperatura e umidade relativa do ar, e, consequentemente, o conforto térmico.

Tabela 2. Descrição dos pontos de coleta dos dados climáticos usados neste estudo.

Estação	Ponto	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
Mata do Buraquinho	P01	-34,8613	-7,1354	18
Bairro Expedicionários	P02	-34,8537	-7,1234	54
Bairro Manaíra	P03	-34,8368	-7,1079	13
Bairro Cabo Branco	P04	-34,8288	-7,1236	09
Bairro Mangabeira	P05	-34,8394	-7,1829	50
Bairro Cruz das Armas	P06	-34,8871	-7,1431	47
Bairro Alto do Mateus	P07	-34,9115	-7,1387	45
Bairro Centro	P08	-34,8847	-7,1220	50
Bairro Bancários	P09	-34,8352	-7,1505	18
Estação do INMET	P10	-34,8486	-7,0953	05

3.4 Análise de tendência

3.4.1 Estatística de Mann–Kendall

Para analisar se há tendências significativas na temperatura do ar (média, máxima, mínima, 9h, 15h e 21h) nas escalas mensal e anual utilizou-se o teste estatístico não paramétrico de Mann Kendall, sendo proposto inicialmente por Mann (1945) e posteriormente por Kendall (1975), esse teste é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para a verificação de tendência em séries temporais de elementos climáticos, uma vez que, a hipótese de estabilidade de uma série e a respectiva sucessão de valores ocorrerá de forma independente, sendo assim, a sua distribuição de probabilidade permanecerá a mesma. Portanto, o teste estatístico de Mann Kendall possibilitou averiguar o aumento da temperatura do ar na cidade de João Pessoa.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{signal} (x_j - x_i) \quad (6)$$

S é o resultado da somatória de $(x_j - x_i)$; x_j é o valor primário; x_i é o consequente, sendo n -ésimo valor da série temporal de dados. Para cada par de dados de temperatura serão atribuídos os seguintes valores:

$$\text{SINAL} = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Inicialmente, a estatística S é considerada zero, mas, se um valor de dados em períodos de tempos subsequentes for maior que um valor de dados do período anterior, S é incrementado em 1 e *vice-versa*. O resultado dá o valor final de S .

A variância de S , com repetições de dados é definida por:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (8)$$

t_p é o número de dados no mesmo grupo; q é o número de grupos com valores iguais da série de dados. Logo, S e $\text{VAR}(S)$ são utilizados para o cálculo estatístico Z_{MK} :

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Portanto, um valor positivo de $Z_{MK} > 0$ refere-se a uma tendência crescente e um valor negativo $Z_{MK} < 0$, uma tendência decrescente. O nível de significância α adotado no Teste de Mann Kendall é de $\alpha = 0,05 = 5\%$, se a probabilidade de p for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, no entanto, se p for maior de α , $p > \alpha$, rejeita-se a significância estatística.

3.4.2 Teste de Sen

Para estimar a magnitude da tendência da série foi utilizado o método da Curvatura de Sen (SEN, 1968). Esse é um teste não-paramétrico utilizado para calcular a magnitude da curvatura das tendências, no cálculo, computam-se todos os pares de valores apresentados na série $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. A inclinação de Sen é estimada como a mediana de todas as inclinações de pares entre cada par de pontos no conjunto de dados de temperatura (SEN, 1968). Conforme a equação a seguir:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (10)$$

onde X_j e X_k são os valores dos dados nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente. Se houver apenas um dado em cada período de tempo, então $N = n(n-1)/2$, onde n é o número de períodos de tempo. Se houver múltiplas observações em um ou mais períodos de tempo, então $N < n(n-1)/2$. Os n valores de Q_i são classificados do menor para o maior e a mediana da inclinação ou estimador de inclinação de Sen é calculada como:

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{se } n \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{se } n \text{ is even} \end{cases} \quad (11)$$

O sinal Q_{med} reflete o reflexo da tendência dos dados, enquanto seu valor indica a inclinação da tendência. Para determinar se a inclinação mediana é estatisticamente diferente de zero, deve-se obter o intervalo de confiança de Q_{med} em probabilidade específica. O intervalo de confiança sobre a inclinação do tempo (GILBERT, 1987) pode ser calculado da seguinte forma:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(S)} \quad (12)$$

no qual $Var(S)$ é definido na Eq. (3) e $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal padrão. Neste estudo, o intervalo de confiança foi calculado em dois níveis de significância ($\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$). Então, $M1 = (n - C\alpha)/2$ e $M2 = (n + C\alpha)/2$ são calculados. Os limites inferior e superior do intervalo de confiança, Q_{min} e Q_{max} , são o M1 maior e o (M2+1) maior das n estimativas de inclinação ordenadas (GILBERT, 1987). A inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero se os dois limites (Q_{min} e Q_{max}) tiverem sinal semelhante. O estimador de inclinação de Sen tem sido utilizado em séries temporais hidrometeorológicas (EL NESR et al., 2010; GOCIC e TRAJKOVIC, 2013).

Esses métodos oferecem muitas vantagens que os tornaram úteis na análise da química atmosférica e de dados climatológicos. Valores ausentes são permitidos e os dados não precisam estar em conformidade com nenhuma distribuição específica.

3.5 Aplicação de índices bioclimáticos

Para determinar as condições de conforto térmico ambiental foram utilizados o Índice de Desconforto de Thom (IDT), proposto por Thom (1959) e o Índice de Temperatura Efetiva Resultante do Efeito do Vento (ETv), proposto por Suping et al. (1992). Este índice foi escolhido porque se assemelha ao conceito de temperatura efetiva baseado na sensibilidade individual e leva em consideração a velocidade do vento. Assim, este índice foi escolhido por representar as condições microclimáticas que afetam as condições de percepção térmica na população do semiárido nordestino brasileiro. Este índice tem como objetivo estimar o grau de conforto ou desconforto térmico vivenciado em um ambiente. O ETv ($^{\circ}C$) é obtido usando a Equação 12, enquanto o IDT ($^{\circ}C$) é obtido usando a Equação 13.

$$ETv = 37 - (37 - T) / [0,68 - 0,0014 \times H + 1 / (1,76 + 1,4 \times V^{0,75})] - 0,29 \times T (1 - H / 100) \quad (12)$$

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \times H) \times (T - 14,5) \quad (13)$$

onde T é a temperatura do ar ($^{\circ}C$), H é a umidade relativa (%), e V é a velocidade do vento (m/s).

Após o cálculo do índice é necessário enquadrar o valor encontrado em uma das faixas para identificar o nível de desconforto térmico. Assim, os resultados do ETv e IDT foram classificados de acordo com a distribuição do nível de desconforto térmico proposta por Thom (1959), aplicada por Freitas et al. (2016) para cidades com clima tropical úmido e adaptado para este estudo (Tabela 3).

Tabela 3. Faixas de conforto dos índices bioclimáticos (IB) para regiões tropicais

Faixas	IB (° C)	Nível de desconforto térmico
1	$IB < 24,0$	Confortável
2	$24 \leq IB \leq 26,0$	Parcialmente confortável
3	$26 < IB < 28,0$	Desconfortável
4	$IB \geq 28,0$	Muito desconfortável

3.6 Estimativa das séries temporais futuras e condições bioclimáticas

A estimativa das séries temporais futuras e condições bioclimáticas para o período 2031-2080 foram realizadas com base em dados do CMIP5 obtidos junto a plataforma Copernicus Climate Data, disponível em <https://cds.climate.copernicus.eu>.

O CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) é um projeto internacional que reúne modelos de simulação climática desenvolvidos por várias instituições de pesquisa globalmente. Lançado em 2007, ele desempenha um papel crucial na avaliação das mudanças climáticas e na projeção de cenários futuros (TAYLOR et al., 2012). O CMIP5 fornece uma base sólida para entender os impactos das emissões de gases de efeito estufa e as tendências climáticas. Essas simulações são fundamentais para a tomada de decisões políticas, a adaptação e a mitigação das mudanças climáticas, bem como para a compreensão das complexas interações do sistema climático global.

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes dados: (a) cenário climático RCP 8.5, (b) variáveis meteorológicas velocidade do vento a 2 m em m³/s, temperatura do ar em °C, e umidade relativa do ar (%), e (c) modelo climático HadGEM2-

ES e RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway 8.5) é um dos cenários de emissões de gases de efeito estufa amplamente utilizados em estudos de modelagem climática. Ele representa um cenário de alto impacto, no qual as emissões de gases de efeito estufa continuam a aumentar ao longo do tempo sem restrições significativas. Isso leva a um aumento acentuado nas concentrações atmosféricas de CO₂ e outros poluentes climáticos. Como resultado, o RCP 8.5 projeta um cenário de aquecimento global significativo até o final do século, com aumento médio de temperatura superior a 4°C em relação aos níveis pré-industriais. Esse cenário é frequentemente usado para avaliar os piores casos de impactos das mudanças climáticas, incluindo eventos climáticos extremos e perturbações ambientais.

No que tange o uso do modelo climático usado, o HadGEM2-ES é um modelo de simulação climática amplamente reconhecido e utilizado na comunidade científica (DE MEDEIROS et al., 2022). Ele é desenvolvido pelo Met Office Hadley Centre do Reino Unido e oferece várias razões para ser considerado em estudos climáticos, tais como o realismo climático. Em outras palavras, o HadGEM2-ES é projetado para representar de forma realista os processos climáticos fundamentais, incluindo a circulação atmosférica, oceânica e a interação entre eles. Isso resulta em projeções climáticas confiáveis e baseadas em ciência sólida.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Expansão urbana em João Pessoa

A Figura 13 apresenta os resultados da classificação supervisionada para a cidade de João Pessoa para os anos de 1991, 2006, 2010, e 2018. Nota-se uma expansão da mancha urbana no período estudado espacialmente. Os produtos mostram um crescimento e preenchimento da mancha urbana no sentido sul da cidade e alterações na vegetação e solo expostos ao longo dos anos.

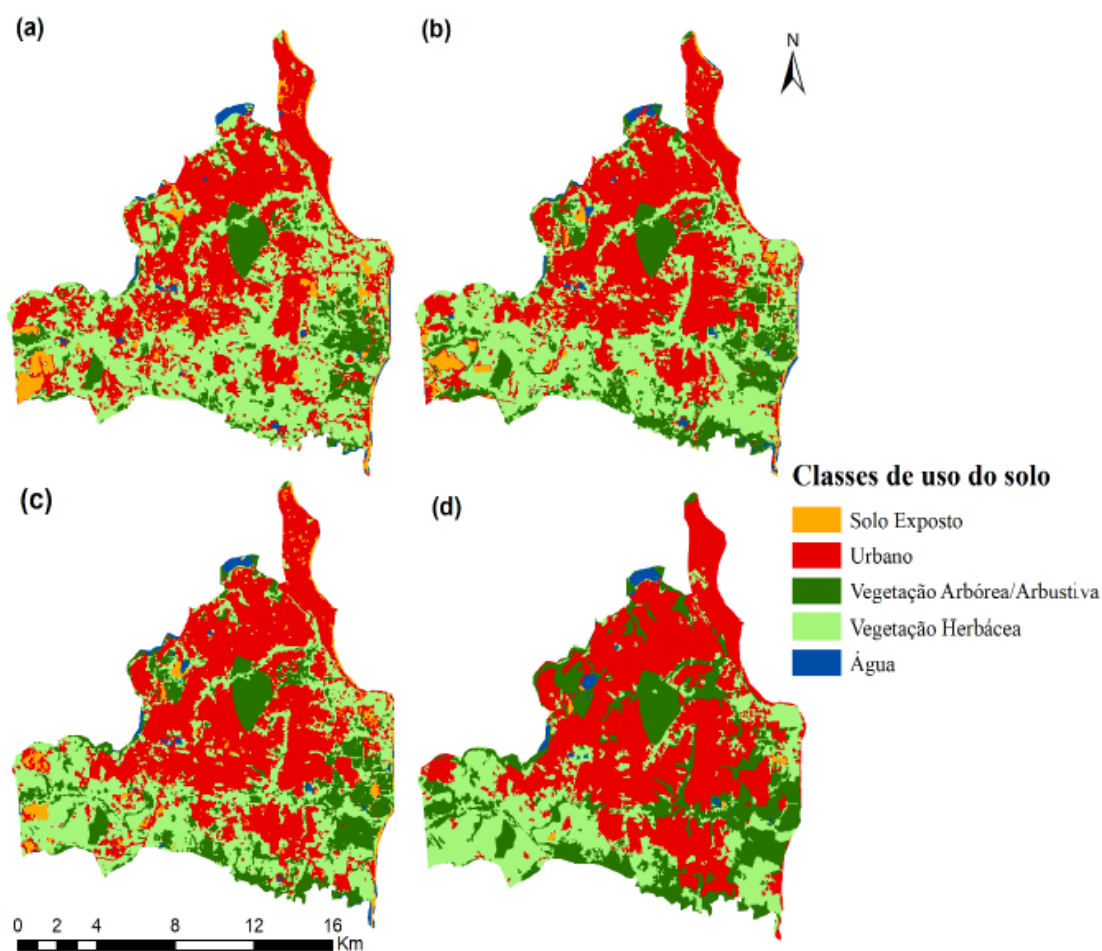


Figura 13 - Classificação do uso do solo: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.

Os resultados mostram que a expansão urbana aumentou significativamente na cidade de João Pessoa entre 1991 e 2018, principalmente nos bairros Geisel, Aeroclube, Valentina, Distrito Industrial, Cristo Redentor e Mangabeira (Figura 12). Ainda sobre o modo como aconteceu o aumento da área urbana nas últimas décadas, Sobreira et al. (2011) destacam que apesar do considerável aumento populacional que houve neste período (após a década de 70), não ocorreu uma considerável expansão da área urbana nesse período, mas o adensamento dos vazios urbanos. Reflexo do crescimento que se deu de forma espraiada na cidade, que passou para a fase da construção nos vazios urbanos nas últimas décadas, acompanhada com a tendência de verticalização das construções.

A Tabela 4 apresenta os resultados do uso e ocupação do solo no período analisado. Os valores obtidos mostram que os usos do solo corpos hídricos e solo exposto foram aquelas classes com menor área ocupada em todo o período. Todavia, os usos vegetação herbácea e área urbana representaram as maiores áreas ocupadas. Analisando as mudanças para cada intervalo verifica-se que os maiores ganhos da classe urbana estão no intervalo entre 2006 e 2010, um ganho de 8,66 km² (4,3%).

Tabela 4. Área e porcentagem das classes e uso do solo para cada anos estudados.

Classes de uso do solo	1991		2006		2010		2018	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Área urbana	80,5	40,2	83,0	41,4	91,6	45,8	95,6	47,7
Vegetação Herbácea	84,9	42,4	76,2	38,1	64,6	32,2	51,8	25,9
Veg. Arbórea/Arbustiva	24,0	12,0	33,3	16,6	35,1	17,5	50,5	25,2
Solo Exposto	8,2	4,1	5,0	2,5	6,3	3,1	0,5	0,3
Água	2,7	1,3	2,8	1,4	2,7	1,3	1,9	0,9

A Tabela 5 mostra os valores da variabilidade, área ocupada em km² e percentual de cada uso do solo nos anos estudados. O uso do solo vegetação herbácea apresentou uma diminuição de 33,1 km² (16,5%), ou seja, a maior mudança entre os anos analisados. Em segundo lugar apareceu o uso da terra solo exposto, que apresentou uma área de 7,7 km², isto é, 3,8% da área total, seguido do uso do solo corpos hídricos, que apresentou uma diminuição de 0,8 km², ou seja, 0,4% da área total. A classe área urbana apresentou um

aumento em sua área total de 15 km² (7,5%), e o uso do solo vegetação arbórea/arbustiva mostrou um aumento de 26,5 km² (13,2%).

A distribuição geográfica da área construída na cidade de João Pessoa é mostrada na Figura 14. Notou-se que entre os anos de 1990 e 2006 houve um aumento de área construída. Essas áreas ocupadas ocorreram principalmente no preenchimento de espaços vazios nas porções norte, noroeste e centro de João Pessoa. Os resultados mostram que após o ano de 2010 há uma intensificação do crescimento para as porções sul e sudoeste de João Pessoa.

Tabela 5. Área e porcentagem das classes e uso do solo para o intervalo

Classes de uso do solo	1991		2018		Variação	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Urbano	80,5	40,2	95,6	47,7	15,1	7,5
Vegetação herbácea	84,9	42,4	51,8	25,9	-33,1	-16,5
Vegetação arbórea/arbustiva	24,0	12,0	50,5	25,2	26,5	13,2
Solo exposto	8,2	4,1	0,5	0,3	-7,7	-3,8
Água	2,7	1,3	1,9	0,9	-0,8	-0,4

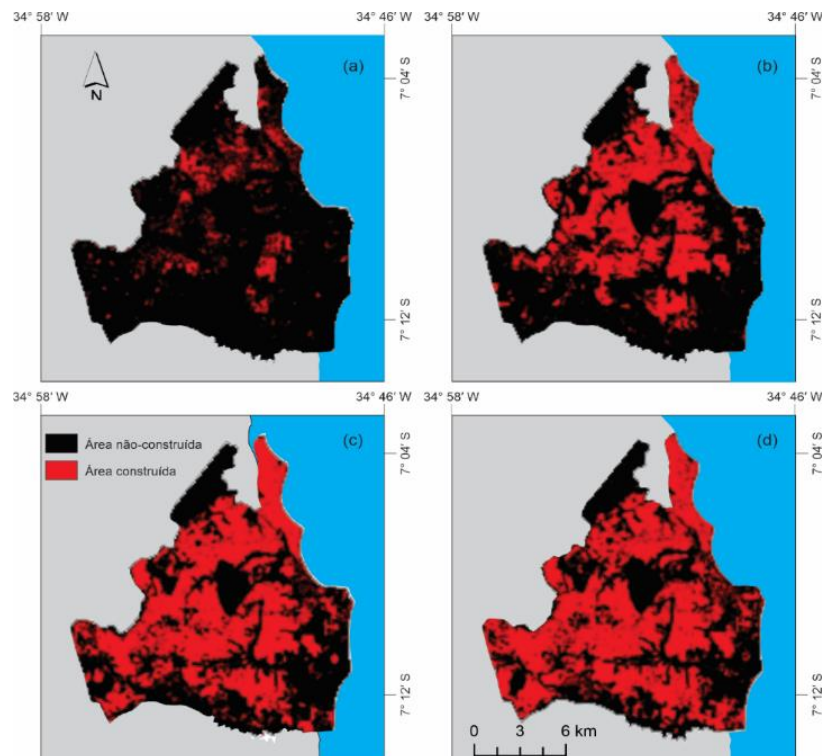


Figura 14 - Mapa da evolução da área construída na cidade de João Pessoa-PB: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.

4.2 Variabilidade espacial da temperatura do solo

Neste trabalho, a ocorrência de mapeamentos multitemporais de temperatura da superfície foi investigada quantitativamente na cidade de João Pessoa. A Figura 15 apresenta o resultado do mapeamento da temperatura de superfície, para os anos de 1991, 2006, 2010 e 2018. Os resultados espaço-temporais de temperatura da superfície mostram um aumento dos valores de temperatura que em ordem crescente quanto as datas das obtenções das imagens. As imagens foram obtidas nos meses: novembro de 1991, agosto de 2006, outubro de 2010 e setembro de 2018. Deve-se destacar que para cada ano foram usadas imagens únicas retiradas em diferentes meses do ano, todas imagens são do segundo semestre do ano. Além disso, a temperatura média nesses meses tem uma tendência de crescimento ao longo do período.

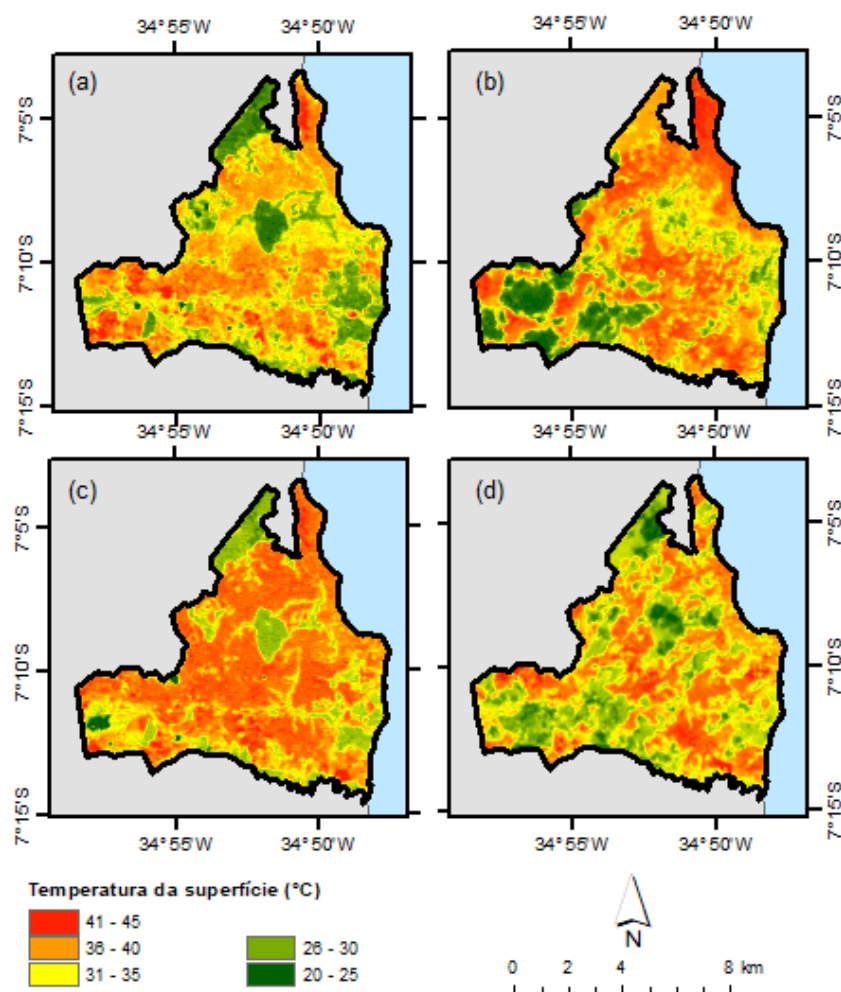


Figura 15 - Mapas de temperatura de superfície: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.

Os resultados mostram que o ano de 2010 é o ano que apresenta os menores valores de temperatura superficial. Como mencionado acima as imagens estão dispostas em períodos diferentes do ano, o que pode ter levado a uma influência sazonal nos resultados. Na Tabela 8 estão as temperaturas média diárias para as os dias de coleta e anteriores a data das imagens obtidas do INMET.

Observa-se que o ano de 2006, que foi obtida em agosto apresenta as menores temperaturas médias, seguidas por 1991 (novembro), 2010 (outubro) e por último 2018(setembro). Em relação à observação diária, o ano de 2018 apresentou uma diferença, de mais de 0,8 °C, entre o dia de coleta da imagem e os dias próximos. Apesar desses diferentes fatores, o ano de 2018 apresenta as maiores temperaturas, demonstrando um aumento ao longo dos últimos anos na temperatura de superfície deste centro urbano.

Tabela 6. Temperaturas medias diárias no dia de coleta das imagens e nos dias anterior e posterior

Dia da imagem	Temperatura média diária (°C)			
	1991	2006	2010	2018
Dia anterior à imagem	26,10	25,48	27,46	27,58
No dia da imagem	26,28	25,70	27,86	28,38

A temperatura tem variações ao longo dos anos, nas imagens é possível ver seu comportamento espacial e sua variação ao longo dos anos. Na Figura 16 está apresentado a serie históricas das medias anuais de temperaturas obtidas por meio de dados do INMET, por meio desta é possível verificar a variação ao longo dos anos estudados. Há uma oscilação entre os anos mais quente e mais frios ao longo do período, no entanto, ao traçar a linha de tendência para os dados é possível visualizar que a temperatura tende a crescer ao longo dos anos para a cidade de João Pessoa.

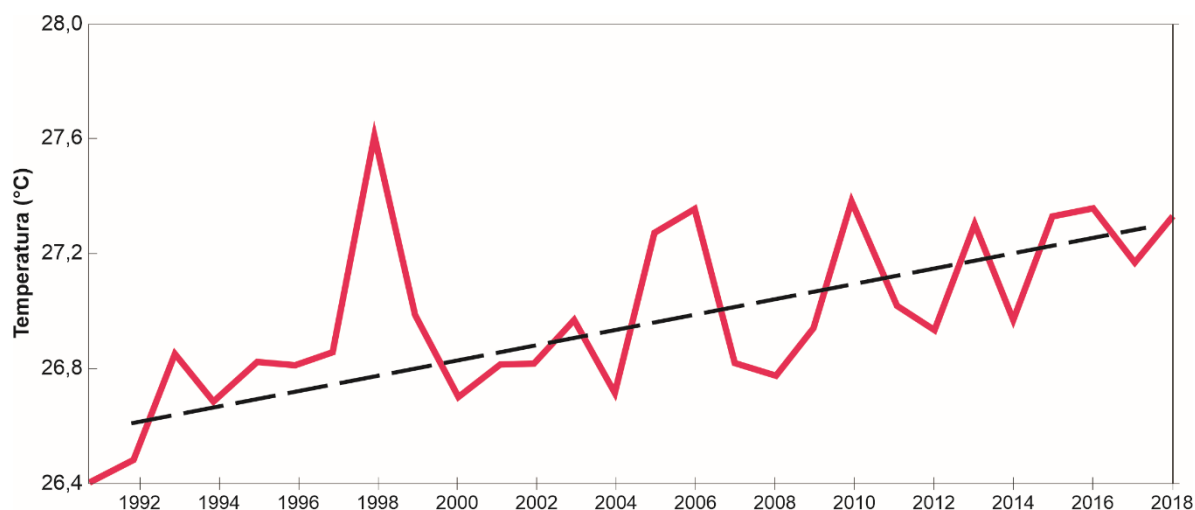


Figura 16 - Série histórica de temperaturas do ar medida em João Pessoa-PB entre 1989 e 2022

Os resultados da Figura 17 mostram os valores de médios de temperatura das quadro imagens para João Pessoa, o qual variaram entre 22,24°C a 34,64°C, encontrando uma diferença de mais de 10°C entre as áreas de com menor e maiores temperaturas superficiais.

As porções nordeste e sudoeste são aquelas que apresentaram as maiores temperaturas, em função da presença de uma maior densidade urbana aliada a presença de edificações e compostos que tendem a aumentar o acúmulo de calor. As menores temperaturas de superfícies médias estão concentradas na parte da mata do buraquinho e áreas periféricas que ainda não foram urbanizadas.

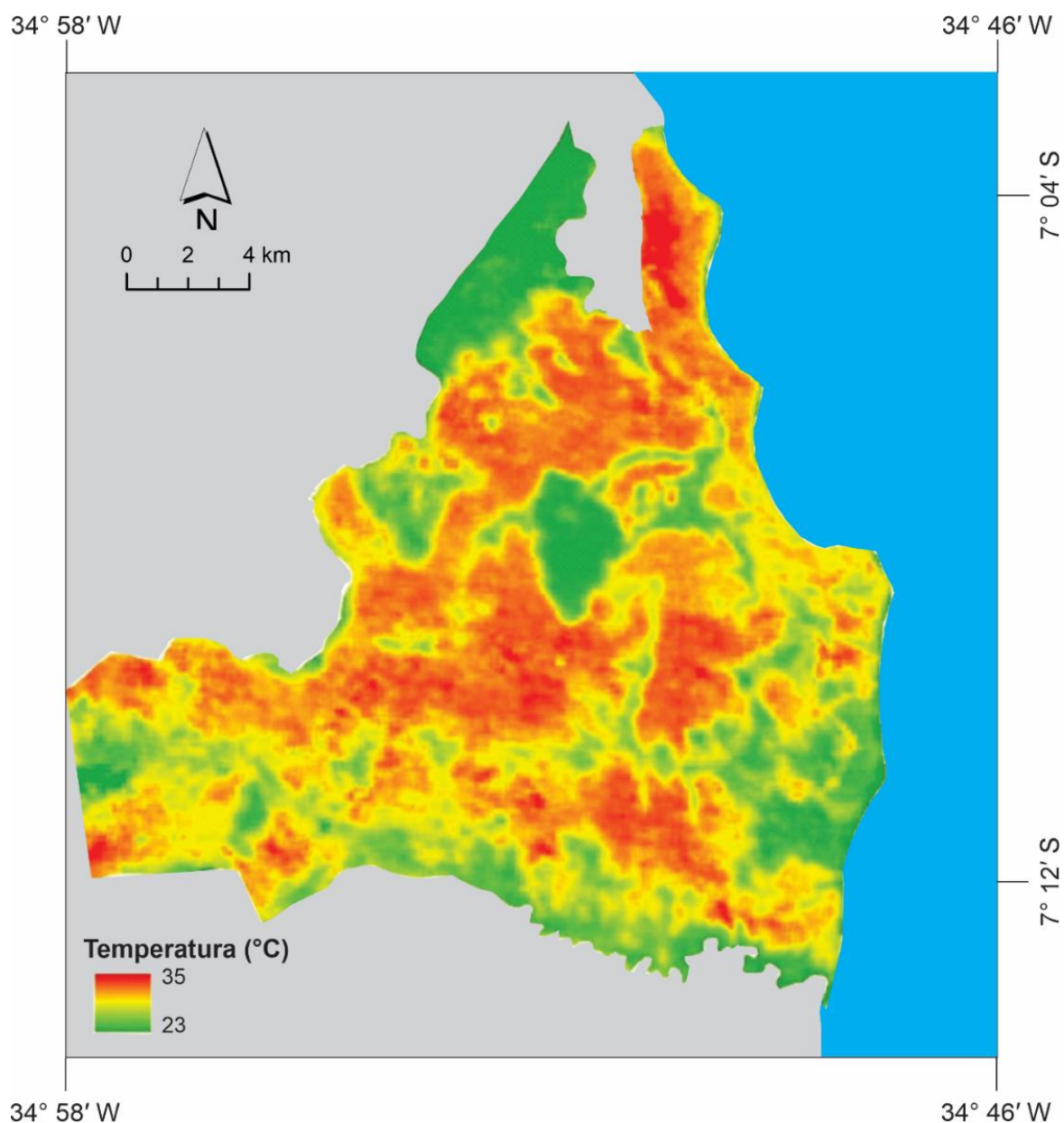


Figura 17 - Temperatura média de superfície para as imagens obtidas analisadas

4.3 Relação entre uso do solo e temperatura da superfície

A temperatura de superfície varia de acordo com o tipo de uso e cobertura do solo, na Figura 18 estão dispostos os resultados encontrados para as classes usadas nesses estudos. Através da análise do comportamento dos valores observar-se que o solo exposto e a área urbana apresentam os maiores valores de temperatura. Já as classes de água e vegetação, neste caso a arbórea, apresentam valores menores, ressaltando a importância

dessas classes no efeito de resfriamento nos centros urbanos. Na Tabela 11 estão dispostas as classes de uso do solo e as suas respectivas áreas e temperaturas de superfícies.

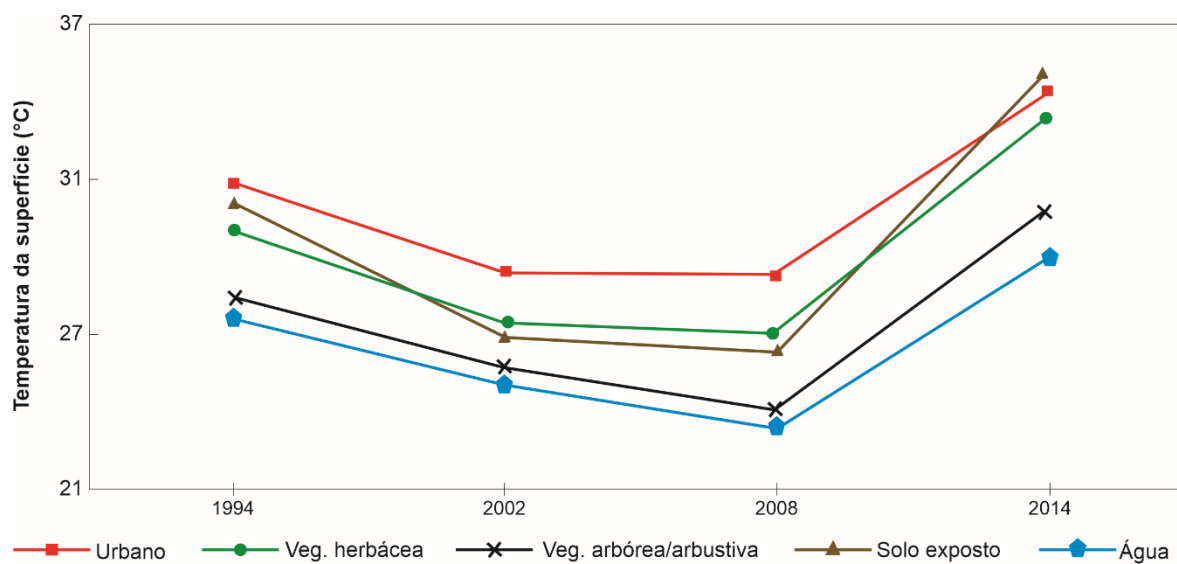


Figura 18 - Temperatura de superfície para diferentes usos e ocupação do solo.

Tabela 7. Classes de uso do solo e a temperatura de superfície

Classes de uso do solo	1991		2006		2010		2018	
	km ²	°C	km ²	°C	km ²	°C	km ²	°C
Urbano	80,5	31,7	82,96	28,43	91,62	28,3	95,57	35,45
Vegetação herbácea	84,86	30,05	76,21	26,05	64,57	26,11	51,79	34,48
Vegetação arbórea/arbustiva	23,98	27,4	33,25	24,72	35,11	23,11	50,49	30,85
Solo exposto	8,19	30,18	4,99	25,87	6,27	25,47	0,54	33,11
Água	2,65	27,03	2,82	24,3	2,66	23,06	1,86	29,11

4.4 Variabilidade temporal das condições bioclimáticas

A análise de variação temporal das condicionantes bioclimáticas está associada a obtenção de dados climatológicos da área de estudo, que corresponde a dez pontos do município de João Pessoa-PB. Utilizou-se a base de dados fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para esses pontos considerando um intervalo de sete anos, dos meses de janeiro a março de 2011 e janeiro a abril de 2018.

A Figura 19 a seguir fornece os valores médios para as variáveis de temperatura e umidade do ar para os dez pontos de coleta de dados durante os meses de janeiro a março

de 2011, e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta a localização de cada ponto dentro do município de João Pessoa-PB.

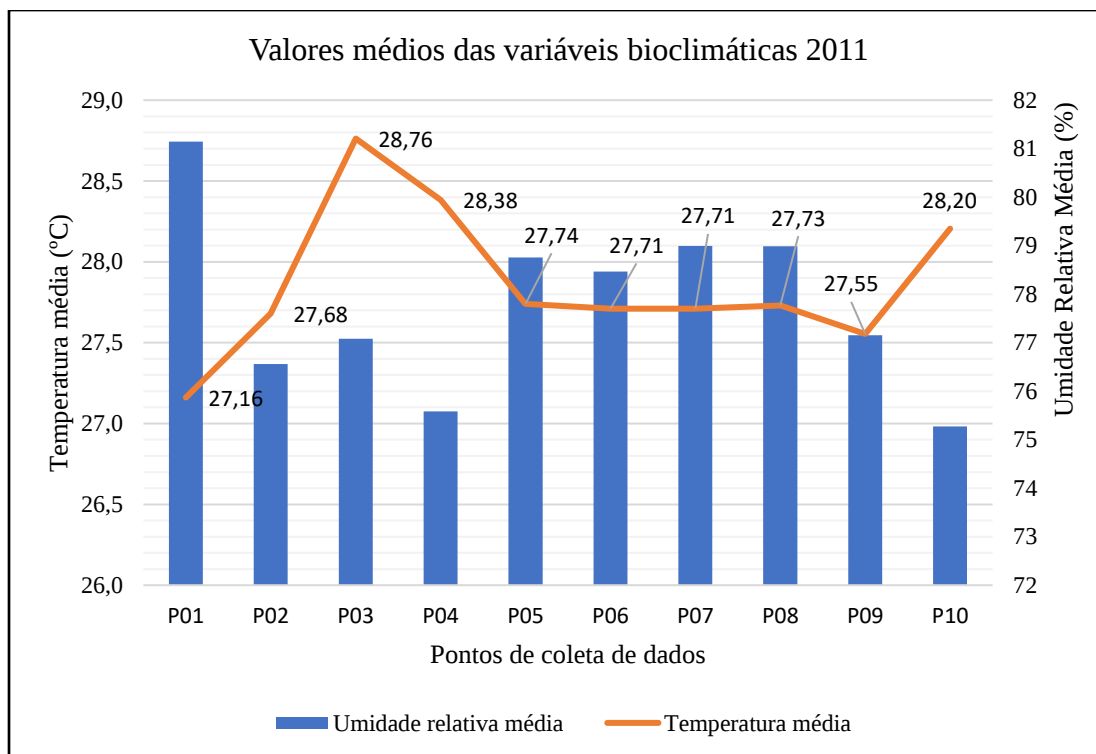


Figura 19 - Gráfico das variáveis bioclimáticas em dez pontos distintos do município de João Pessoa-PB de janeiro a março de 2011.

A temperatura média para o ano de 2011 considerando todos os pontos analisados foi de 27,9°C e a umidade relativa média próximo dos 78%. Entretanto, se observarmos os pontos isoladamente, o ponto P03, que corresponde ao Bairro de Manaíra, obteve o maior valor de temperatura média entre as localidades estudadas, inclusive se considerarmos o valor médio de temperatura para cada mês analisado. Azerêdo (2011), em medição realizada *in loco* obteve maior variação de temperatura se comparada aos dados obtidos pelas estações meteorológicas. O estudo realizado em bairros da orla de João Pessoa, apontou um aumento de até 2,55 °C para temperatura no bairro de Manaíra durante o solstício de verão (dezembro 2010), sendo a maior variação comparando-se a bairros adjacentes como Tambaú e Cabo Branco.

A umidade relativa média para o ano de 2011 variou entre 65,5% e 99,3%, considerando todos os pontos. O local que registrou maiores índices médios mensais e também para todo o período de janeiro a março foi o ponto P01, correspondente a Mata do Buraquinho, com variações acima de 80% entre os meses supracitados.

Na Figura 20, analisando os dados de 2018, nitidamente é observado maiores valores para temperatura média e grandes variações nos dados de umidade relativa. Em seis das dez localidades consideradas no estudo a média para os meses de janeiro a abril está acima dos 30°C, todos esses locais são bairros da região litorânea da cidade, como Manaíra (P03) e Cabo Branco (P04) ou são bairros densamente povoados como Mangabeira (P05) e Centro (P08).

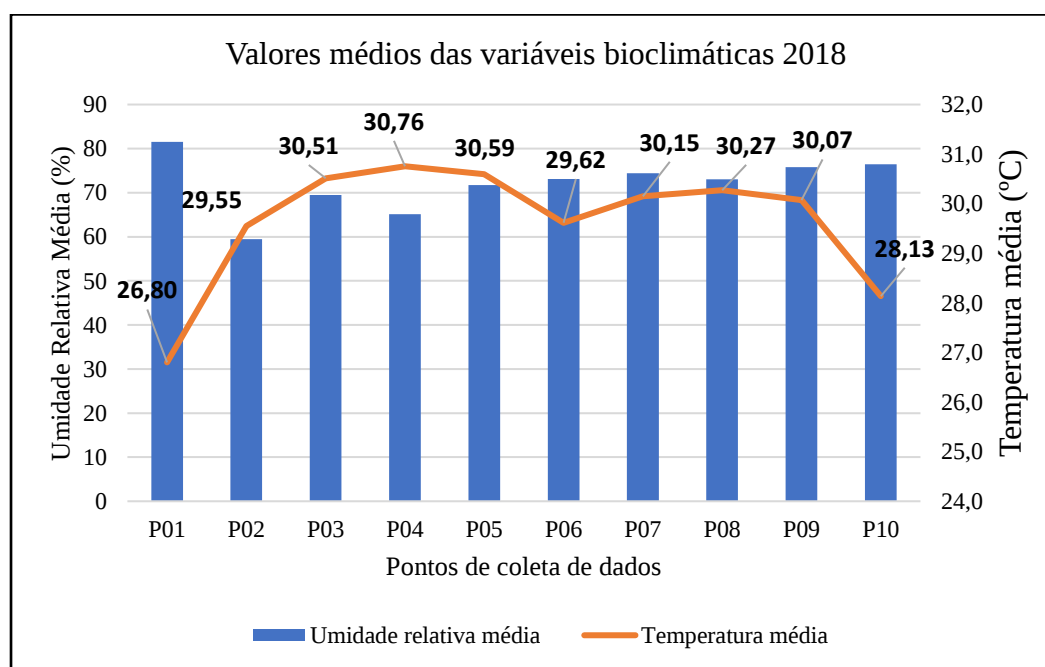


Figura 20 - Valores médios das variáveis bioclimáticas de temperatura e umidade do ar para o período de janeiro a abril de 2018.

O maior valor de temperatura média foi registrado no ponto P04, 30,76°C, que corresponde ao bairro do Cabo Branco, entretanto, as maiores médias mensais de janeiro a abril foram obtidas nos bairros de Mangabeira (P05), Cabo Branco (P04), Centro (P08) e Manaíra, respectivamente. Pimentel (2017), realizou um estudo sobre clima urbano

utilizando modelos geoespaciais para entender um pouco mais sobre o comportamento climático da cidade de Juiz de Fora – MG. Nesse estudo, constatou-se que a região central da cidade obteve maior suscetibilidade a formação de ilhas de calor urbano por consequência do grande adensamento e disposição das construções e verticalizações proporcionando o acúmulo do calor, formando uma espécie de cânion urbano, características semelhantes aos bairros supracitados da cidade de João Pessoa-PB.

O bairro de Mangabeira (P05) obteve uma variação considerável nos dados obtidos e também o valor máximo de temperatura dentre todos os locais analisados para o período de janeiro a abril de 2018. O valor registrado foi de 37,01°C, sua amplitude térmica, diferença entre o maior e o menor valor registrado foi superior a 12°C, podendo estar associado ao crescimento urbano considerável do bairro nos últimos anos.

A umidade relativa do ar teve variação significativa em seus valores sendo o menor valor registrado no bairro Expedicionários (P02) em torno de 38% e quatro localidades registraram umidade relativa em 100%, o que corresponde a saturação das nuvens e consequentemente a precipitação. A média geral da umidade relativa para o ano de 2018, considerando os dez pontos foi em torno de 72%, se comparado ao ano de 2011, houve uma pequena variação, já que naquele ano o valor médio foi de aproximadamente 78%.

4.5 Análise do desconforto térmico

Após coletar os dados fornecidos pelos dados dos termo-higrômetros para as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, foi calculado o ETv. De imediato foi percebido um aumento na média da temperatura considerando todos os dez pontos de coleta em mais de quase 1,8°C, para o mesmo período de 2018, em relação a 2011. Além disso, houve uma pequena variação na média da umidade relativa em quase 6% e o ETv, para 2011 obteve-se uma média de 26,11°C aumentou ligeiramente para 26,88°C, permanecendo na faixa desconfortável. A Tabela 6 a seguir possui os valores médios das variáveis consideradas para os dez pontos em 2011 e 2018.

Tabela 8. Valores médios das variáveis de temperatura, umidade e Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT) para os dez pontos de medição em 2011 e 2018.

Local	2011			2018		
	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)	IDT (°C)	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)	IDT (°C)
Mata do Buraquinho	27,16	81,15	25,83	26,80	81,52	25,50
Bairro Expedicionários	27,68	76,56	25,88	29,55	59,43	25,90
Bairro Manaíra	28,76	77,08	26,86	30,51	69,48	27,35
Bairro Cabo Branco	28,38	75,58	26,41	30,76	65,12	27,29
Bairro Mangabeira	27,74	78,76	26,08	30,59	71,76	27,59
Bairro Cruz das Armas	27,71	78,47	25,99	29,62	73,14	26,77
Bairro Alto do Mateus	27,71	79,00	26,00	30,15	74,40	27,21
Bairro Centro	27,73	78,99	26,09	30,27	73,01	27,34
Bairro dos Bancários	27,55	77,15	25,75	30,07	75,76	27,49
Estação do INMET	28,20	75,28	26,21	28,13	76,46	26,34
Média	27,86	77,80	26,11	29,65	72,01	26,88

Apesar de ser uma análise preliminar considerando todos os pontos, cada localidade possui uma característica ambiental peculiar e fatores que podem influenciar diretamente na temperatura e umidade relativa do ar, sendo necessária, portanto, uma análise individual dos pontos.

Verificou-se então que, durante o ano de 2011, entre os meses de janeiro e março o P03 possuía os maiores valores de temperatura absoluta durante os dias analisados, e, desta forma foi a localidade com maior valor médio de temperatura e índice de desconforto térmico com 28,76°C e 26,86°C, respectivamente, enquadrando-se na faixa desconfortável segundo o IDT. Esse valor permaneceu alto durante a mesma época no ano de 2018, aumentando a temperatura média em aproximadamente 1,8°C e 8% de redução na média da umidade relativa do ar, consequentemente aumentando o IDT médio. Os gráficos representados nas Figura 21 e Figura 22 seguem e explicam o IDT médio de cada ponto em 2011 e 2018.

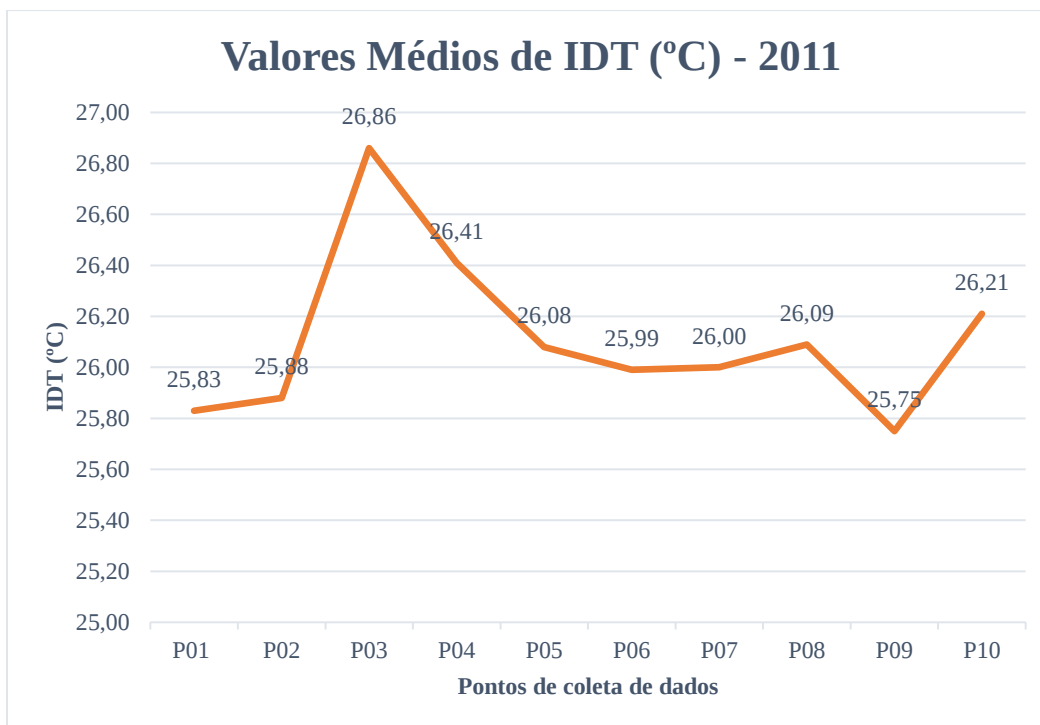


Figura 21 - Dados do Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT) para os dez pontos em 2011.

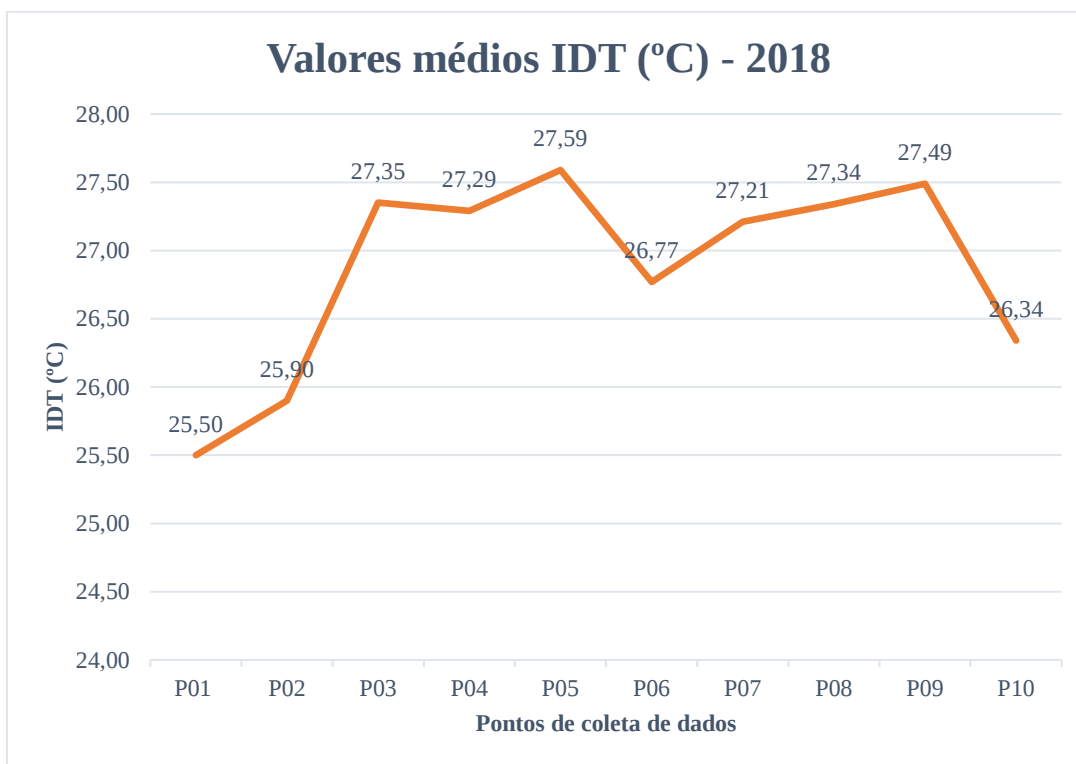


Figura 22 - Dados do Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT) para os dez pontos em 2018.

É possível perceber que os valores médios para o IDT médio para o ano de 2018 são maiores do que os obtidos em 2011, acompanhando o aumento dos valores de temperatura média entre os pontos para o período entre 2011 e 2018.

Em 2011, apenas quatro das dez localidades analisadas possuíam um IDT médio entre 24°C e 26°C, foram os pontos P01, P02, P06 e P09, correspondente aos Bairros de Manaíra, Expedicionários, Cruz das Armas e Bancários, enquadrando-se como ambientes parcialmente confortáveis. Os menores valores de IDT absoluto para os meses analisados foi de 23,72 °C, registrado no ponto P01 – Mata do Buraquinho – e 23,87°C correspondente ao P09 - Bairro Bancários, porém bem próximo ao intervalo correspondente à faixa de parcialmente confortável. Para os demais pontos, os valores mínimos registrados oscilam dentro dessa mesma faixa. Já os valores máximos registrados concentram-se todos no intervalo entre 26°C e 28°C, caracterizando um ambiente desconfortável.

Durante os meses analisados no ano de 2018, os valores de IDT médio em todos os pontos foram superiores a 25°C. O ponto P01 novamente foi a localidade com menor IDT médio 25,5°C, porém dentro da faixa de parcialmente confortável, bem como o ponto P02 correspondente ao Bairro Expedicionários, cujo IDT médio foi de 25,9°C. Os demais pontos tiveram IDT médio variando entre 26,3 °C e 27,6°C, enquadrando-se como ambientes desconfortáveis.

Analisando os valores máximos e mínimos para o ano de 2018, constatou-se que houve maior amplitude entre os dados, comparando-se aos dados coletados para o mesmo período em 2011. O valor mínimo registrado foi de 22,08°C no ponto P01 (Mata do Buraquinho) e o maior valor foi de 30,89°C, obtido no ponto P05 (Bairro de Mangabeira). Essa variação entre os dados em localidades diferentes da cidade, podem estar refletindo a característica de cada lugar, bem como a indicação da formação de microclimas urbanos dentro do município de João Pessoa-PB.

Em relação a variação horária dos dados, foram coletados dados de variáveis de temperatura, umidade relativa das 00:00 às 23:00 e, a partir dessas informações calculado o índice de Thom para os dez pontos nos anos de 2011 e 2018.

Para o ano de 2011, o horário com maior índice de desconforto térmico foi às 13:00 em todos os dez pontos. Isso acontece, pois, os dados de temperatura recorde em 24 horas de medição também foram registrados nesse horário em combinação com uma

umidade relativa mais baixa se comparado as outras horas do dia. A Figura 23 refere-se aos dados de temperatura, umidade relativa e índice de Thom para as 13h nos dez pontos de coleta.

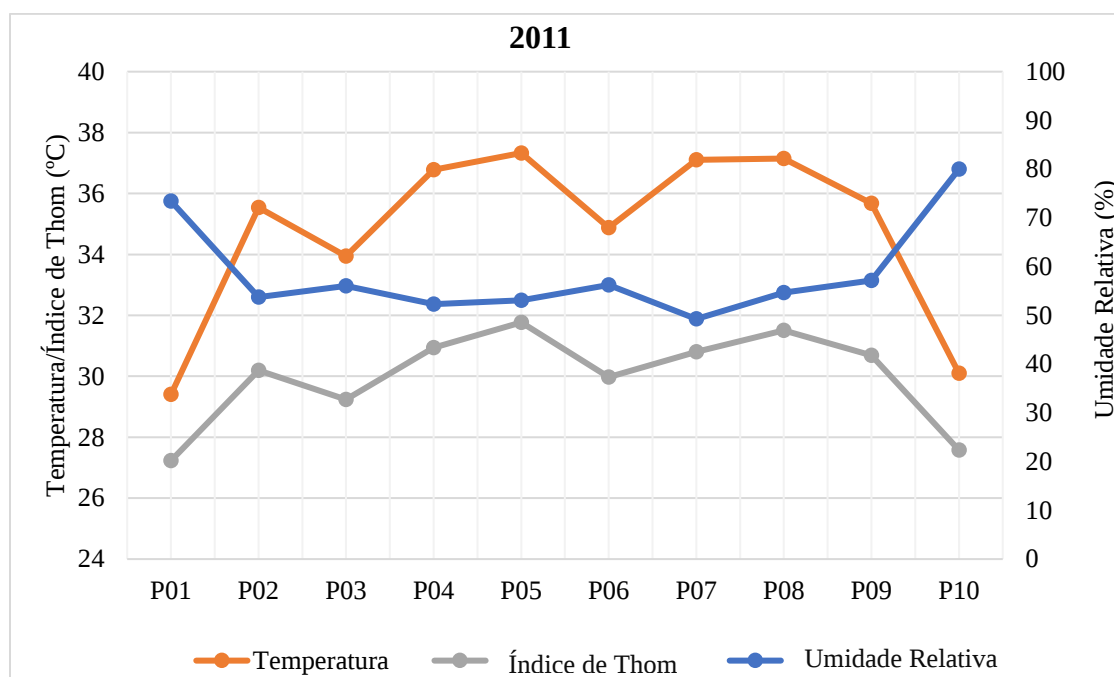


Figura 23 - Variáveis meteorológicas e IDT para às 13h nos dez pontos em 2011.

As temperaturas registradas nos pontos de medição facilmente ultrapassaram os 30°C às 13 horas, chegando até próximo dos 38°C, com exceção dos pontos P01 e P10 que ficaram em torno dos 30°C. Esse resultado pode ser explicado pelo fato do ponto P01 está próximo a Mata do Buraquinho, área florestal preservada no município de João Pessoa, o outro ponto de coleta P10 é a estação climatológica do INMET na cidade, que fica próximo a áreas de preservação ambiental e ao Rio Jaguaribe.

Shinzato e Duarte (2018) afirmam que em climas tropicais, o desconforto sentido durante o dia pode ser atenuado pela presença de vegetação, embora os efeitos na temperatura do ar sejam pouco perceptíveis, pois a sua influência é maior na temperatura radiante média, principalmente pelo dossel das árvores.

Para o ano de 2018, o horário com maior desconforto térmico foi registrado às 12:00 horas para quase todos os pontos, exceto o ponto P01 que obteve registro de maior

desconforto na faixa de horário das 13:00 às 14:00 horas. A Figura 24 a seguir indica as variações dos parâmetros analisados às 12h para os dez pontos de medição no ano de 2018.

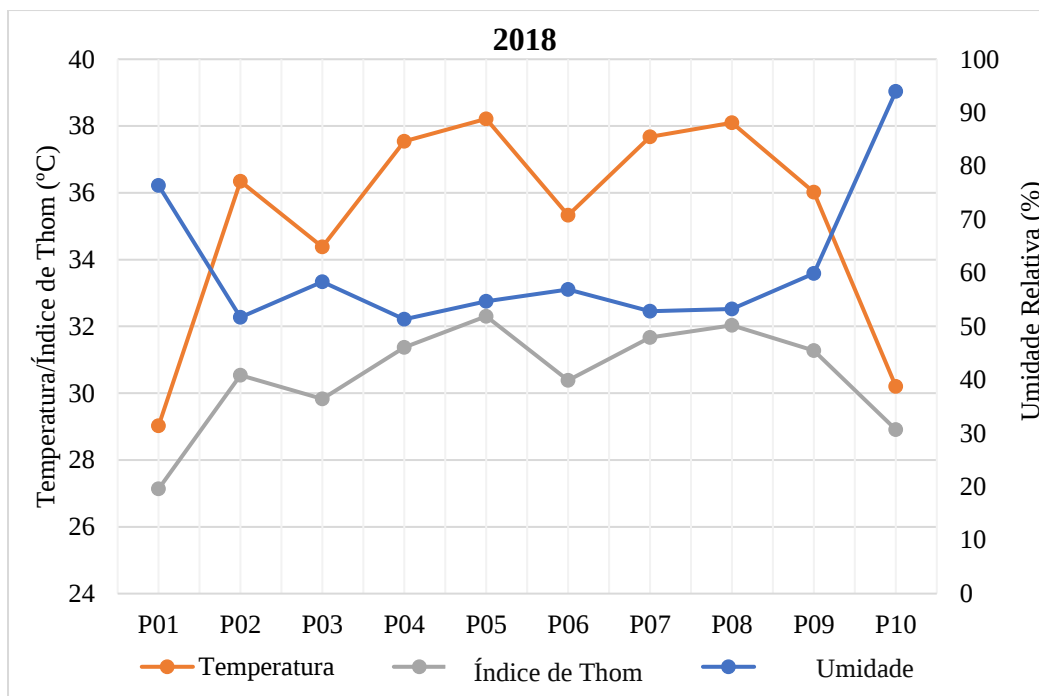


Figura 24 - Variáveis meteorológicas para às 12h nos dez pontos em 2018.

Durante o horário de maior desconforto térmico para o período entre janeiro e abril de 2018, registrado às 12h, as temperaturas oscilaram entre 29°C e 38°C. Assim como no ano de 2011, os pontos P01 e P10, estações da Mata do Buraquinho e INMET respectivamente, apresentaram as menores temperaturas se comparados as demais localidades. Por consequência também foram onde calculou-se o menor IDT entre os pontos.

Já em relação a umidade do ar, os pontos P02 ao P09 registraram dados na faixa entre 50% e 60%, o que pode aumentar a sensação de desconforto, e os pontos P01 e P10 registraram mais de 80% de umidade relativa para este horário.

Por fim, deve-se destacar que a necessidade de se conhecer as problemáticas desencadeadas pela apropriação do homem no espaço geográfico, pois, torna-se imprescindível que medidas mitigadoras, como a arborização, possam ser efetivadas para amenizar a sensação de desconforto térmico nos centros urbanos.

4.6 Estimativa da variabilidade espaço-temporal de cenários climáticos

O homem é um animal homeotérmico, pois o corpo do ser humano troca calor com o meio ambiente através de processos de convecção, radiação e condução, sendo que este último acontece em menor escala. Assim, entender as condições e a adaptabilidade de índices de conforto térmico para espaços urbanos úmidos tropicais é essencial para a qualidade de vida da população, principalmente para o futuro das zonas urbanas. As Figura 25 (a) e Figura 25 (b) mostram a variabilidade temporal dos índices bioclimáticos ETv e IDT, e a diferença entre esses índices para o período entre janeiro de 2031 e dezembro de 2080, respectivamente. Os resultados confirmam um aumento dos valores dos índices bioclimáticos no período estudado representado pela da linha de tendência. Os resultados apontam que o índice IDT apresenta valores superiores ao índice ETv. Isso pode ser atribuído ao fato de que o índice ETv possui como dados de entrada a velocidade do vento (Figura 26a). Nota-se ainda que há uma diminuição entre os valores de ETv em relação ao IDT ao passar dos anos.

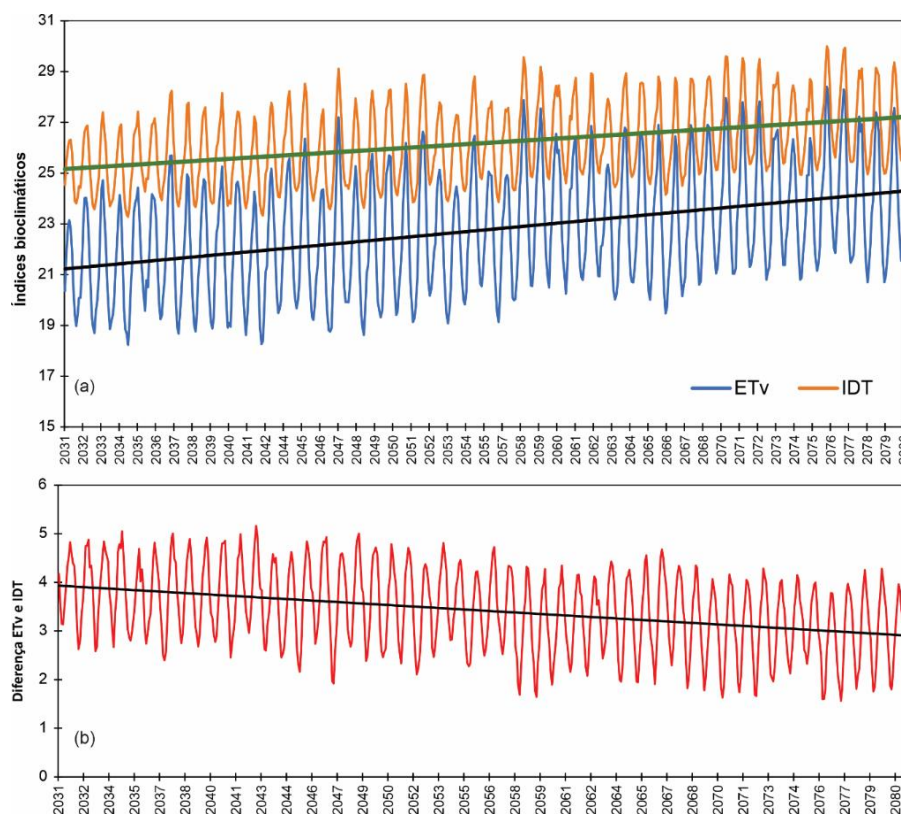


Figura 25 - (a) Variação temporal dos índices bioclimáticos ETv e IDT, e **(b)** diferença entre os índices ETv e IDT entre janeiro de 2031 e dezembro de 2080.

Eventos extremos climáticos são severas e incomuns que podem causar impactos devastadores sobre os seres humanos, a infraestrutura ou o meio ambiente. Tais eventos são normalmente definidos quando um valor de precipitação ou temperatura estão acima ou abaixo de um limite obtido pela aplicação de métodos estatísticos e pode ser de curta ou de longa duração. De acordo com De Medeiros et al. (2022), entre 1970 e 2019 ocorreram mais de 11 000 desastres atribuídos a perigos meteorológicos, climáticos e relacionados com a água, que representaram pouco mais de 2 milhões de mortes e perdas de US\$ 3,64 bilhões em todo o mundo. No Brasil, eventos climáticos e meteorológicos extremos têm sido um fenômeno recorrente com perdas econômicas e sociais consideráveis. Durante a última década (2011–2020), notáveis desastres naturais relacionados a episódios de chuvas extremas vêm afetando as mais diversas regiões do Brasil.

Na região Nordeste durante 2012–2017 (BRITO et al., 2017; MEDEIROS et al., 2020a); no Sudeste em 2014 (COELHO et al., 2016; NOBRE et al., 2016), e no Pantanal brasileiro em 2019 (LIBONATI et al., 2020; MARENGO et al., 2021). Da mesma forma, foram relatadas inundações extremas notáveis, como as inundações de 2012 e 2014 na Amazônia (Espinoza et al., 2013, 2022), e os deslizamentos de terra associados às enchentes no estado do Rio de Janeiro em 2011, que mataram quase 1.000 pessoas (BUSCH e AMORIM, 2012). Somente o evento de seca no Nordeste do Brasil (2012–2017) afetou quase 33,4 milhões de pessoas e causou uma perda estimada de US\$ 30,0 bilhões (MARENGO et al., 2017).

No que tange os valores futuros das variáveis meteorológicas e índices bioclimáticos usados neste estudo, nota-se com base na Tabela 9 que os meses de janeiro a julho são aqueles que apresentam as condições térmicas menos confortáveis para a população. Deve-se destacar que, as condições térmicas menos confortáveis para a população representam um desafio significativo para a qualidade de vida e o bem-estar humano. Essas condições podem resultar de extremos climáticos, como ondas de calor ou frio intenso, bem como da urbanização desordenada e da falta de planejamento urbano sustentável. Em ambientes urbanos, o aumento do concreto e do asfalto absorve calor, criando ilhas de calor, enquanto a poluição do ar agrava o desconforto térmico. Além disso, as mudanças climáticas estão exacerbando esses problemas, aumentando a frequência de eventos climáticos extremos. Portanto, é essencial adotar estratégias de adaptação, como o

aumento de áreas verdes urbanas e a promoção de edifícios eficientes em energia, para mitigar os impactos das condições térmicas adversas na saúde e no bem-estar das comunidades.

Tabela 9. Valores mensais das variáveis meteorológicas e índices bioclimáticos usados neste estudo.

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura do ar (°C)	28,0	28,9	29,9	30,4	30,3	29,3	27,9	26,9	26,3	26,1	26,4	27,2
Umidade relativa do ar (%)	74,6	74,5	74,3	75,1	75,8	72,6	71,8	71,5	72,6	74,5	75,3	75,6
Velocidade dos ventos (m/s)	4,3	4,0	3,8	4,4	5,7	6,1	5,9	5,7	5,7	5,3	4,8	4,6
ETv	22,9	24,1	25,4	26,0	25,5	23,9	22,1	20,8	20,1	20,0	20,7	21,8
IDT	26,1	26,9	27,7	28,3	28,2	27,0	25,8	24,9	24,5	24,5	24,8	25,5

As Figura 26 a Figura 28 mostram respectivamente as estimativas futura da temperatura do ar, ETv e IDT para a cidade de João Pessoa no período de 2031 a 2080. A projeção de aumento da temperatura futura em João Pessoa é preocupante, pois esses resultados apontam para um aumento significativo da temperatura do ar de 3°C no período analisado. Esse aumento pode desencadear sérias consequências para a população, como por exemplo ondas de calor mais frequentes e intensas. Essas consequências podem resultar em aumento das doenças relacionadas ao calor, colocando em risco a saúde pública, especialmente entre grupos vulneráveis. Além disso, pode agravar problemas de segurança alimentar, escassez de água e danos à infraestrutura, exigindo ações urgentes de mitigação e adaptação para enfrentar esses desafios crescentes das mudanças climáticas.

Com as mudanças climáticas, espera-se um aumento constante nas médias de temperatura na cidade. Isso pode resultar em mais ondas de calor, impactos na saúde pública e na infraestrutura, destacando a necessidade urgente de ações de mitigação e adaptação. Para evitar o aumento da temperatura do ar, é fundamental reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Isso inclui a transição para fontes de energia renovável, eficiência energética, conservação de recursos naturais e ações individuais, como reduzir o uso de veículos a combustão e adotar práticas sustentáveis. A Tabela 10 mostra os valores dos

testes não-paramétrico usados neste estudo e as tendências de ETv e IDT para o período de 2031 a 2080.

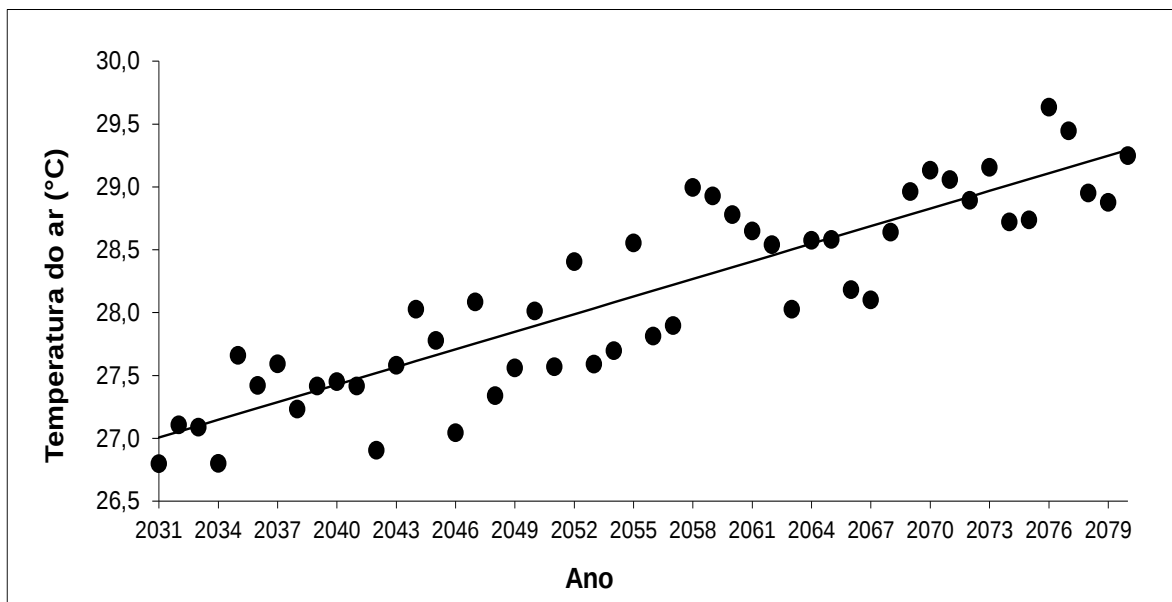


Figura 26 - Estimativa e tendência futura da temperatura do ar na cidade de João Pessoa-PB para o período de 2031 a 2080.

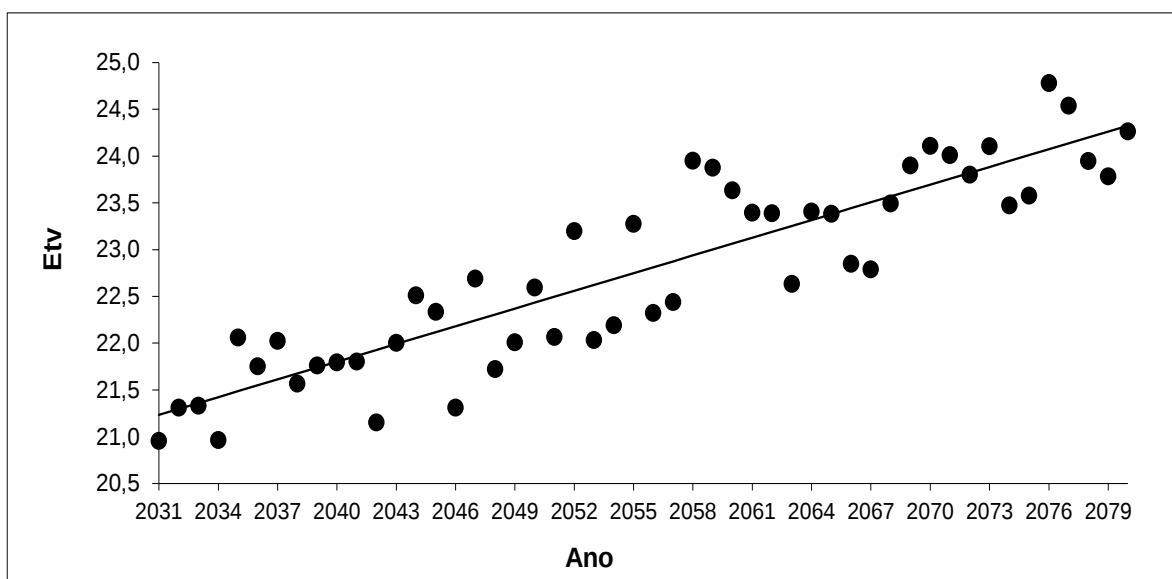


Figura 27 - Estimativa e tendência futura do índice bioclimático ETv para a cidade de João Pessoa-PB no período de 2031 a 2080.

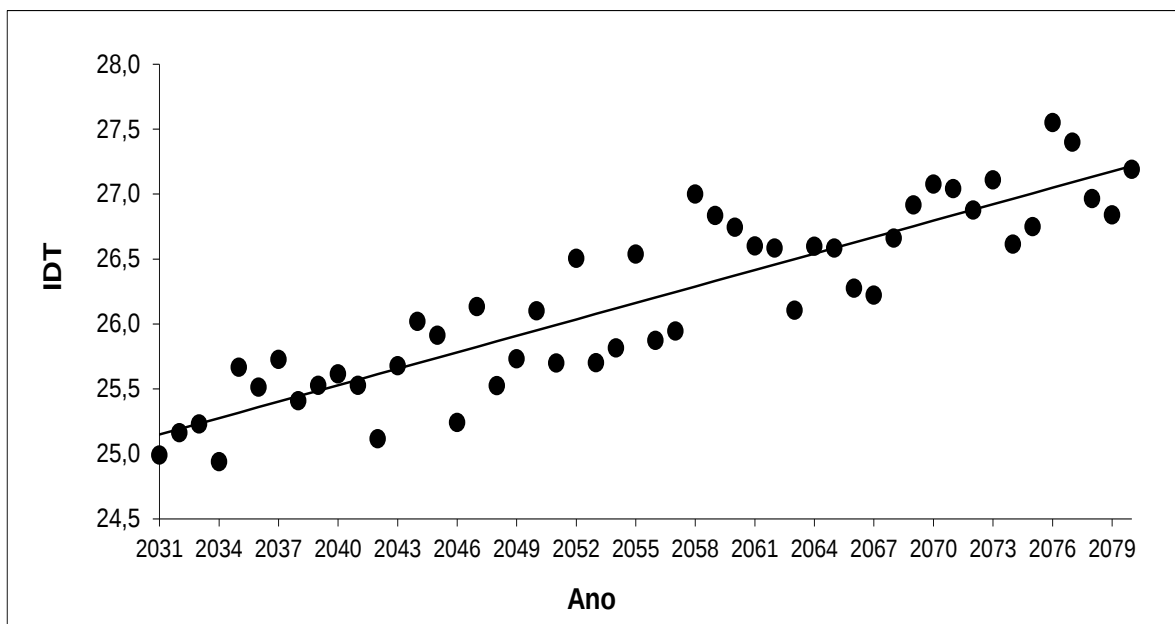


Figura 28 - Estimativa e tendência futura do índice bioclimático IDT para a cidade de João Pessoa-PB no período de 2031 a 2080.

Tabela 10. Resultados dos testes estatísticos anuais das séries temporais futuras de temperatura do ar, ETV, e IDT para o período de 2031 a 2080.

Séries temporais	Mann-Kendall	Estimador de Sen			Significância
	Valor de Z	Q	Q _{min}	Q _{max}	
Temperatura do ar (°C)	7,19	0,047	0,037	0,056	Sim
Etv	7,36	0,063	0,050	0,076	Sim
IDT	7,44	0,042	0,033	0,050	Sim

Os resultados indicam tendências significativas de aumento, conforme evidenciados pelos valores de Q (estimador de Sen). Especificamente:

- A temperatura do ar tem uma taxa de aumento de 0,047°C por ano;
- ETV mostra um aumento de 0,063 unidades por ano;
- IDT apresenta um aumento de 0,042 unidades por ano.

5. CONCLUSÕES

Este estudo investigou a expansão urbana, as tendências de temperatura da superfície e projeções bioclimáticas em João Pessoa até 2080. Os resultados apontaram para um aumento acelerado da expansão urbana e uma diminuição na cobertura vegetal. Esses resultados impactaram diretamente no aumento da temperatura da superfície durante o período analisado.

As variáveis meteorológicas de temperatura e umidade relativa na cidade de João Pessoa-PB, referente ao período de 2011 e 2018, mostraram uma forte influência no índice bioclimático IDT, enquanto a variável vento apresentou uma amenização na sensação térmica na cidade de João Pessoa-PB. Assim, pode-se concluir que o índice IDT apresentou condições bioclimáticas com pior sensação térmica, quando comparado ao índice ETv.

As projeções climáticas para 2031-2080 indicam um aumento no desconforto térmico em João Pessoa-PB, cujos valores obtidos neste estudo apontam que as condições bioclimáticas apresentam um cenário complexo e desafiador devido às mudanças climáticas globais. Os resultados discutidos aqui nesta pesquisa servem como um alerta para os gestores locais e tomadores de decisões sobre as condições bioclimáticas futuras em João Pessoa-PB.

As projeções apresentadas neste estudo indicam um aumento nas temperaturas médias, eventos climáticos extremos mais frequentes e consequentemente inevitável desconforto térmico para determinadas regiões da cidade. Estas mudanças impactarão a distribuição de espécies e a biodiversidade, afetando também a agricultura, recursos hídricos e a saúde pública, exigindo adaptações e políticas de mitigação para garantir a resiliência dos ecossistemas e da sociedade diante desses desafios.

Essas políticas podem ser moldadas através da implementação urgente de áreas verdes dentro do espaço urbano, principalmente àquelas com maior tendência à formação de ilhas de calor, além de fiscalizar, de maneira mais intensiva, se as áreas construídas respeitam as legislações urbanísticas ou elaborar projeto de leis que abordem uma melhor adaptabilidade das áreas construídas a um menor impacto ou maior compensação ambiental, transformando o espaço urbano em um lugar ambientalmente harmônico e melhor planejado, buscando evitar os cenários preocupantes de alterações de conforto bioclimático para as próximas décadas.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L.V.; LABAKI, L.C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate as a factor in urban and architectural planning in tropical climates—The case of Campinas, Brazil. *Urban Ecosystems*, 17, 489–500, 2014.

ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Contribuição aos estudos do clima urbano: variação térmica e higrotérmica em espaços intra-urbanos. *Mercator*, v. 8, n.17, p. 181-191, 2009.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas, *Confins* [Online], 46 | 2020, posto online no dia 30 junho 2020, consultado o 31 outubro 2023. URL: <http://journals.openedition.org/confins/31403>; DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.31403>.

ANDRADE, P.A.F. Metamorfose dos centros urbanos: uma análise das transformações na centralidade de João Pessoa-PB, 1970 - 2006. (Dissertação de Mestrado) UFPB/CT. João Pessoa, 2007.

ANDRADE, P. A. de. Verticalização em João Pessoa. Produção do espaço e transformações urbanas. *Arquitextos*, São Paulo, ano 17, n. 204.02, Vitruvius, maio 2017 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.204/6555>>.

ANDRADE, R. G. C (2022). A CONTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PARA MELHORIA DO MICROCLIMA URBANO: ESTUDO DE CASO EM SUPERQUADRAS DE BRASÍLIA. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107p.

ARAÚJO, L.M. A produção do espaço intra-urbano e as ocupações irregulares no conjunto Mangabeira – João Pessoa. João Pessoa-PB. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Pós-Graduação em Geografia, 2006. 180p.

ARAÚJO, R.R. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís – Maranhão. *Cad. Pesq.*, São Luís, v.19, n. 3, 2012.

ASHRAE. Handbook of fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Ventilating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE, 1981. 967 p.

BARBALHO, Luciana de Carvalho. Capitania de Itamaracá, poder local e conflito: Goiana e Nossa Senhora da Conceição (1685-1742). 2009. 138 f. Dissertação (Pós Graduação em História) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/6024>. Acesso em: 24 maio 2023.

BANDEIRA, R. N. Estudo de propagação de enchentes aplicado a obra de revitalização do Parque Solon de Lucena. 2016. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/estudo-de->

propagacao-de-enchentes-aplicado-a-obra-de-revitalizacao-do-parque-solon-de-lucena.pdf. Acesso em: 30 maio 2022.

BHATI, S.; MOHAN, M. WRF-urban canopy model evaluation for the assessment of heat island and thermal comfort over an urban airshed in India under varying land use/land cover conditions. *Geosci Lett* 5:27, 2018.

BINARTI, F.; KOERNIAWAN, D.M.; TRIYADI, S.; UTAMI, S.S; MATZARAKIS, A.A. review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot – humid regions. *Urban Climate* 31, 2020.

BORGES, V.C.A.L.; CALLEJAS, I.J.A.; DURANTE, L.C. Thermal sensation in outdoor urban spaces: a study in a Tropical Savannah climate, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 64, 533–545, 2020.

BRITO, S.S.B.; CUNHA, A.P.M.A.; CUNNINGHAM, C.C.; ALVALÁ, R.C.; MARENGO, J.A.; Carvalho, M.A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *Int. J. Climatol.*, 38 (2017), pp. 517-529.

CARVALHO, J. L. de. Formação Territorial da Mata Paraibana, 1750-1808. 2008. 261 p. Dissertação (Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/12505>. Acesso em: 26 maio 2023.

CELUPPI, M.C.; MEIRELLES, C.R.M.; CYMROT, R.; TEJAS, G.T.; DA SILVA DE SOUZA, R.M.; GOBO, J.P.A. The impact of green spaces on the perception and well-being of the academic population in face of the COVID-19 pandemic in the Amazon and Southeast Brazil. *CITIES*, v. 141, p. 104503, 2023.

CHEN, H.-C.; HAN, Q.; DE VRIES, B. Modeling the spatial relation between urban morphology, land surface temperature and urban energy demand. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102246, 2020.

COELHO, C.A.S.; OLIVEIRA, C.P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.S.; CARPENEDO, C.B.; CAMPOS, J.L.P.; TOMAZIELLO, A.C.N.; PAMPUCH, L.A.; CUSTÓDIO, M.S.; DUTRA, L.M.M.; ROCHA, R.P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dynam.*, 46, p. 3737-3752, 2016.

COUTINHO, M.A.F. *Evolução Urbana e Qualidade de Vida: O caso da Avenida Epitácio Pessoa – João Pessoa*. (Dissertação de Mestrado) UFPB/PRODEMA. João Pessoa, 2004.

COUTINHO, Marco Antônio Farias. *Evolução Urbana e Qualidade de Vida: O caso da Avenida Epitácio Pessoa – João Pessoa*. (Dissertação de Mestrado) UFPB/Prodema. João Pessoa, 2004.

DA SILVA, V.P.R., DE AZEVEDO, P.V., BRITO R.S., CAMPOS J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 45–59, 2010.

DA SILVA, V.P.R., SANTOS, J.S., DE LIMA, E.R.V., DE HOLANDA, R.M., SOUSA, E.P., DE ARAÚJO, L.E. Future scenarios of thermal bioclimatic conditions in a humid tropical city under urban development. *Ambiente e Água*, 13(5), e2092, 2018.

DE MEDEIROS, F.J.; DE OLIVEIRA, C.P.; AVILA-DIAZ, A. Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. *Weather and Climate Extremes*, v. 38, 100511, 2022.

DIHKAN, M., KARSLI, F., GUNEROGLU, A., GUNEROGLU, N. Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. *Ocean e Coastal Management*, 118, Part B, 309-316.

EGLER, C.A.G.; MOREIRA, E.R.F. Ocupação Territorial. In: PARAÍBA – Governo do Estado. Secretaria da Educação/Universidade Federal da Paraíba. Atlas Geográfico do Estado da Paraíba. João Pessoa: UFPB, 1985.

EL NESR, M.N.; ABU-ZREIG, M.M.; ALAZBA, A.A. Temperature trends and distribution in the Arabian Peninsula. *Am J Environ Sci.*, 6, 191–203, 2010.

FAHED, J.; KINAB, E.; GINESTET, S.; ADOLPHE, L. Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of Lebanon. *Sustainable Cities and Society*, 61, 2020

FARIA, Raila Mariz et al. Mapeamento do Conforto Térmico no estado do Rio Grande do Norte. *Climatologia geográfica: experiências com técnicas e pesquisa*, [S. l.], ano 2022, v. 12, n. 2, p. 112-138, 21 dez. 2022. DOI <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2022.v12.39223>. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/39223>. Acesso em: 22 fev. 2023.

GILBERT, R.O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Wiley, New York, 1987.

GILES, D.B., BALAFOUTS, C., MAHERAS, P. (1990). Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, 34, 98-104.

GOBO, J.P.A.; GALVANI, E. Análise do conforto térmico humano no outono-inverno em Santa Maria-RS: uma abordagem em escala local e regional / Analysis of human thermal comfort in the fall-winter in Santa Maria - RS: local to regional level approach. *Caderno de Geografia*, v. 26, p. 447, 2016.

GOBO, J.P.A.; GALVANI, E., WOLLMANN, C.A. Subjective Human Perception of Open Urban Spaces in the Brazilian Subtropical Climate: A First Approach. *Climate*, v.6, n. 2, 2018.

GOBO, J.P.A.; WOLLMANN, C.A.; CELUPPI, M.C.; GALVANI, E.; FARIA, M.R.; MENDES, D.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; MALHEIROS, T.S.; RIFFEL, E.S.; GONÇALVES, F.L.T. The bioclimate present and future in the state of São Paulo/Brazil: space-time analysis of human thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 78, 2022,

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann–Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in Serbia. *Glob Planet Change* 100:172–182, 2013.

GRIGORAS G, URITESCU B (2019). Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest, Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80(2), 115-126.

GUSSON, C.S.; DUARTE, D.H.S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 169, p.2-10, 2016.

HE, B.-J., DING, L., PRASAD, D. Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustain Cities Soc* 60:102289, 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2011). Censo Demográfico 2021.

KENDALL, M.G. Rank correlation methods. Griffin, London, 1975

KOURY, M.G.P. Viver a cidade: um estudo sobre pertença e medos. *RBSE*. V.4, n.11, p. 148-156, 2005.

KRUGER, E.L; GOMES, A.C.S; LUCIO, P.S; GOBO, J.P.A; NEDEL, A.S; GONÇALVES, F.L.T; PIACENTI-SILVA, C.; DI NAPOLI, C.; CHARLIE, L.A.M., Summary of the first Brazilian Symposium on Human Biometerology. *International Journal of Biometeology*, 1, 2022.

KUMAR, P.; SHARMA, A. Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort: A review. *Sustainable Cities and Society*, 61, Article 102297, 2020.

LACERDA, L.I.A.; DA SILVEIRA, J.A.R.; SANTOS, C.A.G.; DA SILVA, R.M.; SILVA, A.M.; DO NASCIMENTO, T.V.M.; RIBEIRO, E.L.; DE FREITAS, P.V.N. Urban forest loss using a GIS-based approach and instruments for integrated urban planning: A case study of João Pessoa, Brazil. *Journal of Geographical Sciences*, v. 31, p. 1529-1553, 2021.

LANDSAT (2011) Science Data Users Handbook. 2011–03–11. http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/inst_cal/prog_sect8_2.html. Accessed 18 June 2023.

LANDSAT (2015) Science Data Users Handbook. 2015-june. <http://landsat.usgs.gov/l8handbook.php>. Accessed 23 June 2023.

LEAL, J.S. Climatologia Urbana: um estudo sobre Ilha de Calor em João Pessoa. Monografia. Natal-RN, 1997.

LIBONATI, R.; DACAMARA, C.C.; PERES, L.F.; CARVALHO, L.A.S.; GARCIA, L.C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, 588, p. 217-219, 2020.

Lima, R. G. de ., e Bittencourt, L. S.. (2017). A influência de diferentes arranjos construtivos no comportamento da ventilação natural. *Urbe. Revista Brasileira De Gestão Urbana*, 9, 425–441. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO013>

LITARDO, J., PALME, M., BORBOR-CORDOVA, M., CAIZA, R., MACÍAS, J., HIDALGO-LEON, R., SORIANO, G. Urban Heat Island intensity and buildings' energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102387, 2020.

LIU, Z; ALEXANDER, M. Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections. *Rev. Geophys.*, 45(2), RG2005, doi:10.1029/2005RG000172.45.

LLARENA, M. A. A. O estudo do meio como alternativa metodológica para abordagem de problemas ambientais urbanos na educação básica. 2009. 174 p. Dissertação (Pós Graduação em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [S. l.], 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5873/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

MAIA, D.S. Campo, cidade rural, urbano: Conceituações e delimitações. In: _____. O campo na cidade: necessidade e desejo. Um estudo sobre os subespaços rurais na cidade de João Pessoa-PB. Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

MALLICK, F.H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. *Energy and Buildings*, v. 23, n. 3, p. 161-167, 1996.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245–259, 1945.

MARÇAL, N.A.; MARQUES DA SILVA, R.; SANTOS, C.A.G.; SILVA DOS SANTOS, J. Analysis of the environmental thermal comfort conditions in public squares in the semiarid region of northeastern Brazil. *Building and Environment*, v. 152, p. 145-159, 2019.

MARENGO, J.A.; CAMARINHA, P.I.; ALVES, L.M.; DINIZ, F.; BETTS, R. Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0 °C global warming scenarios: an analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, 3, Article 610433, 2021.

MAROPO, V.L.B.; SILVEIRA, J.A.R.; NEGRAO, A.G. Mobilidade nos centros urbanos: estudo para implantar ruas completas no centro de João Pessoa, Paraíba, Brasil. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12: 1–28, 2020.

MATZARKIS, A; CHEVAL, S; LIN T-P; POTCHTER, ODED. Challenges in Applied Human Biometeorology. *Atmosphere* 2021, 12(3), 296.

MEDEIROS, F.J.; OLIVEIRA, C.P.; TORRES, R.R. Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012-2016). *Clim. Dynam.*, 55, p. 2327-2341, 2020.

MELLO, J.O.A. Os Coretos no Cotidiano de uma Cidade: Lazer e Classes Sociais na capital da Paraíba. João Pessoa: Fundação Cultural do Estado da Paraíba, 1990.

MENEZES, J.L.M. Algumas notas a respeito da evolução urbana de João Pessoa. Ed. Pool, 1985.

MOHAN, M., PRABHAT, A., BHATI, S.S. Urban sprawl during five decadal period over National Capital Region of India: Impact on urban heat island and thermal comfort. *Urban Climate*, 33, 100647, 2020.

MOURA FILHA, M. B. Discurso, imagem e desenho de uma cidade no Brasil do século XVI: Filipéia de Nossa Senhora das Neves. In. IX Seminário de História da Cidade e do Urbanismo. Anais. São Paulo, 2006.

NEDEL, A.S., ALONSO, M.F., DE FREITAS, R.A.P. TRASSANTE, F.C., SILVA, H.N., DE BORTOLLI, E., DE MEDEIROS, M.A.F., HALLAL P.C., VIANNA, J.C.T. (2021). Analysis of indoor human thermal comfort in Pelotas municipality, extreme southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 65, 419-428. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02015-7>

NOBRE, C.A. Fundamentos científicos das mudanças climáticas / Carlos A. Nobre, Julia Reid, Ana Paula Soares Veiga. – São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

NOBRE, C.A.; MARENGO, J.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS, L.A.; ALVES, L.M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. *J. Water Resour. Protect.*, 8, p. 252-262, 2016.

OLIVEIRA, L. V. Guerras luso-holandesas na Capitania da Paraíba (1631 - 1634): estudo documental e historiográfico. 2016. 255 p. Dissertação (Pós Graduação em História) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8367/2/arquivo%20total.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. Aquecimento Global de 1,5°C. Versão em português publicada em julho 2019. Brasil. ONU, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em 03 de jul. 2021.

PERES, L.F., LUCENA, A.J., ROTUNNO FILHO, O.C., FRANÇA, J.R.A. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 104-116, 2018.

PEREIRA, L. S., e PEREIRA, I. S.. (2017). GEODIVERSIDADE DA PARAHYBA NO PERÍODO COLONIAL. *Mercator* (fortaleza), 16, e16016. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16016>.

RIBEIRO, E.; SILVEIRA, J.A.R. A produção habitacional do programa MCMV no município de São Paulo: critérios de localização adotados pelos produtores e impactos na estrutura urbana e na qualidade de vida dos moradores. *Journal of Urban Technology and Sustainability*, 3(1): 78–88. 2020.

RODRIGUEZ, J.L.; DROULERS, M. Aglomerados Subnormais dos municípios de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e Santa Rita. Relatório de Pesquisa. Fundação de Ação Comunitária. João Pessoa, 2002.

RODRIGUEZ, J.L.; DROULERS, M. Crescimento de uma capital. Fundação Casa de José Américo. SEC. João Pessoa, 1981.

RODRIGUEZ, W. Roteiro sentimental de uma cidade. Ed. A União, 1994.

ROHAN, H.B. Chorographia da Província da Parahyba do Norte. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Parahybano*, João Pessoa, ano 3, vol. 3, p. 165-365, 1911.

ROMERO, M. et al. Mudanças Climáticas e Ilhas de Calor Urbanas. 1 ed. Brasília, Distrito Federal: Editora: ETB, 2019.

ROSA, A. F. Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio-MG. 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19693>>. Acesso em 16 de jul. de 2023.

SALATA F, GOLASI I, PETITTI D, VOLLARO E DE L, COPPI M, VOLLARO A DE L (2017) Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: an analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. *Sustain Cities Soc* 30:79–96.

SANTOS, J.S. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade de clima tropical úmido. Ph.D. Thesis in Natural Resources, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brazil, 2012.

SETTE, D.M.; RIBEIRO, H. Interações entre o Clima e a Saúde Humana. *Revista Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade (INTERFACES)*. volume 6, nº 2, artigo, p. 37-51. agosto 2011.

SHINZATO, P.; DUARTE, D.H.S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera.

Ambiente Construído [online]. 2018, v. 18, n. 2 [Acessado 27 Agosto 2021] , pp. 197-215. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>>. ISSN 1678-8621. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>.

SILVA, E.M.A.S. Evolução Urbana e do setor de serviços do Bairro do Bessa (João Pessoa – PB): O caso da avenida Argemiro de Figueiredo. Monografia. João Pessoa-PB, 2008.

SILVA, J.S.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil. *Building and Environment*, v. 136, p. 279-292, 2018.

SILVA, L.M.T. Forma urbana e cotidiano na evolução de João Pessoa–PB. *Saeculum (UFPB)*, João Pessoa - PB, v. 1, n. 3, p. 161-186, 1997.

SILVA, R. S. E.; SILVA, R. M.; FREITAS, A. F.; SANTOS, J. S.; SANTOS, C.A.G.; LIMA, E.R.V. Thermal comfort conditions at microclimate scale and surface urban heat island in a tropical city: A study on João Pessoa city, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, v. 66, p. 654-672, 2022.

SOBREIRA, L. C. et al. Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa, PB. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 2, p. 125-138, 2011.

SOUSA, Thiago Aécio de. História da Paraíba: Conquista, lutas e povos. 1. ed. João Pessoa: [s. n.], 2022. 213 p. ISBN 978-65-00-52116-0.

SOUZA, D.M.; NERY, J.T. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. *Geografia*, v. 21, n. 2, p. 65-83, 2012.

SOUZA, J.F.; SILVA, R.M.; SILVA, A.M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. *Ambiente Construído*, v. 16, p. 21-37, 2016.

SUPING, Z., GUANGLIN, M., YANWEN, W., JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *International Journal of Biometeorology*, 36, 63-68, 1992.

TAYLOR, K.E.; STOUFFER, R.J.; MEEHL, G.A. An Overview of CMIP5 and the experiment design.” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012.

THOM, E.C. The Discomfort Index. *Weatherwise*, 2(1), 567-60, 1959.

TORRES, F.T.P.; MACHADO, P.J.O. Introdução à Climatologia. [Digite o Local da Editora]: Cengage Learning Brasil, 2012. E-book. ISBN 9788522112609. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522112609/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

VIDAL, W.C.L. Revitalização do Centro Histórico de João Pessoa: a experiência da Praça Anthenor Navarro. (Monografia de Especialização). João Pessoa: Unipê, 2002.

VIDAL, W.C.L. Transformações urbanas: a modernização da capital paraibana e o desenho da cidade, 1910 –1940. Dissertação de Mestrado. João Pessoa: UFPB, 2004.

WANG, R.; MURAYAMA, Y. Geo-simulation of land use/cover scenarios and impacts on land surface temperature in Sapporo, Japan. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102432, 2020.

XAVIER, A.A.P. Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis. 1999. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XU, H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 14, p. 4269-4276, 2008.

YANG, X., ZHAO, L., BRUSE, M., e MENG, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 60, 93-104.

YIN, Q; WANG, J; REN, Z; LI, J; GUO, Y. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the contexto of global climate change. *Nature Communications*, 2019.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 24:3, 583-594, 2003.

ZHAI, V.P.; PIRANI, A.; CONNORS, S.L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M.I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J.B.R.; MAYCOCK, T.K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇİ, O.; YU, R.; ZHOU, B. (Eds.). *Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, Cambridge University Press, 2021.

ZHOU, Y.; REN, G. Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961– 2008. *Climate Research*, 50, 125-139, 2011.