



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

A RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANA SUPERFICIAL, OCUPAÇÃO DO SOLO E DESCONFORTO TÉRMICO: UM ESTUDO EM JOÃO PESSOA

ENG^a CIVIL MIRELA OLIVEIRA MEDEIROS

**Orientador: LUIZ BUENO DA SILVA
Professor Doutor-CT-UFPB**



DEFESA DISSERTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e relevância do tema:

1.2 Problema e Justificativa

1.3 Objetivos

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Contexto climático da cidade de João Pessoa

2.2. Delimitação da área de estudo

3. MATERIAL E MÉTODOS

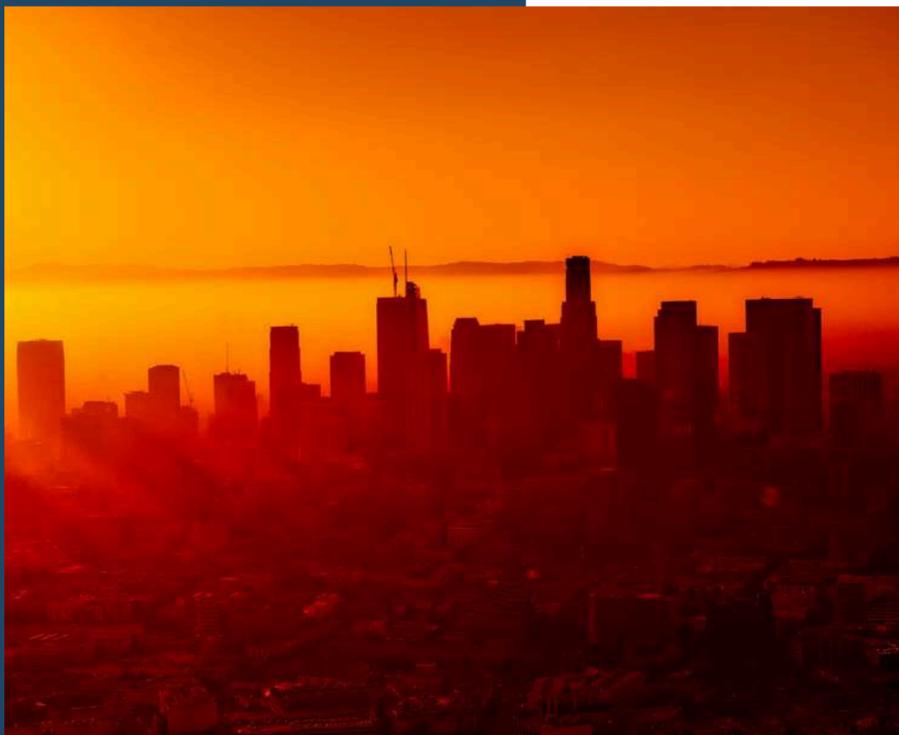
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

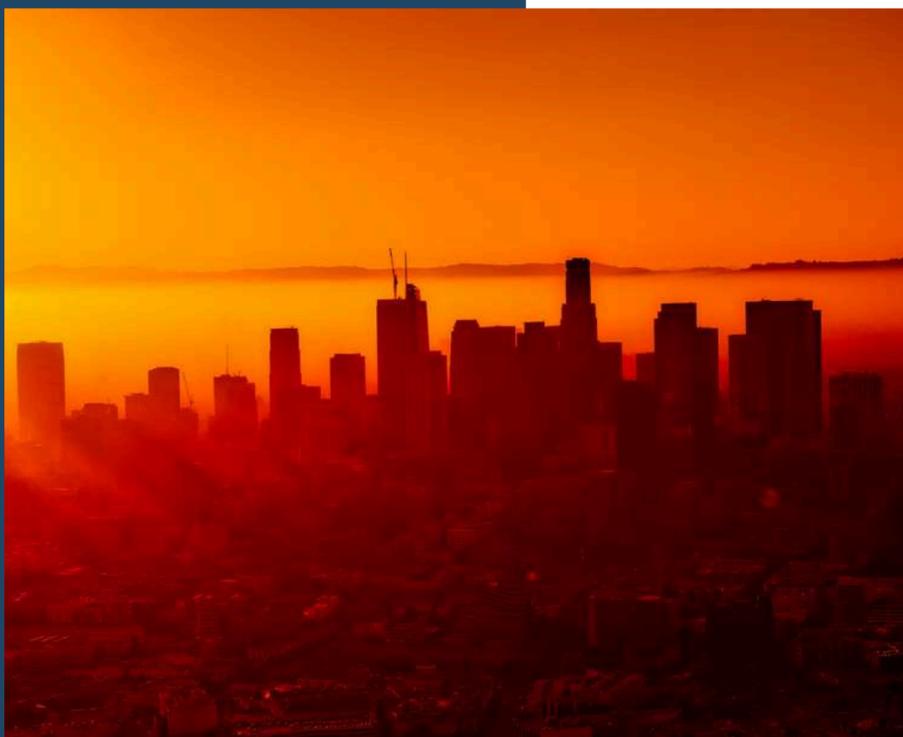
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTRODUÇÃO

CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TEMA:



- O tema sobre mudanças no uso e ocupação da terra, aumento das ilhas de calor urbanas e a variabilidade espaço-temporal do microclima urbano, não são novos, no entanto, os dados não se aplicam a cidades com clima, geografia ou padrão de urbanização diferentes (GARTLAND, 2011).
- Apesar dos esforços dos pesquisadores de países tropicais, cerca de 90% das pesquisas se concentram em países de latitude média com publicações em língua inglesa nos periódicos de referência sobre a temática (ARNFIELD, 2003; FIALHO, 2012).
- Portanto, o aumento da produção brasileira com novas pesquisas, é essencial para gerar informações relevantes para estudos urbanos voltados ao clima urbano e a análise de ilhas de calor urbanas de superfície.



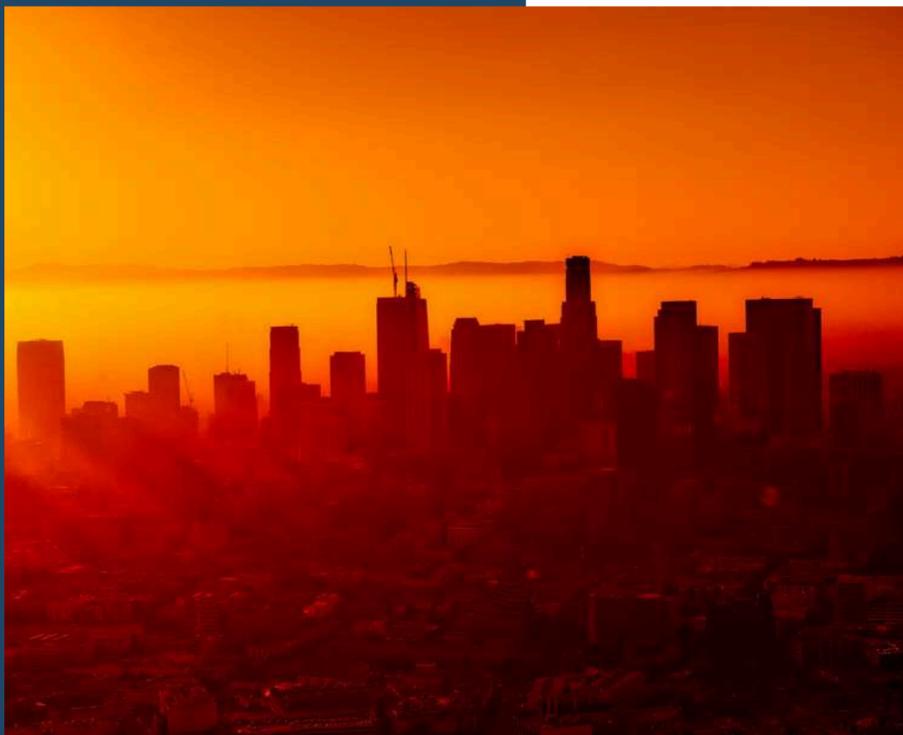
INTRODUÇÃO

CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TEMA:

- Entre 2010 e 2022, a população brasileira cresceu 6,5%, atingindo 203,1 milhões, com cidades médias liderando o crescimento;
- João Pessoa teve o maior aumento populacional no período. Na lista das 20 cidades com a maior população do Brasil, João Pessoa é a última colocada, mas foi a que teve o maior aumento em 12 anos (IBGE, 2022).
- Existem estudos que abordam os impactos da expansão urbana desordenada, como a influência do uso do solo na temperatura da superfície (Souza et al., 2016), e metodologias para avaliar a degradação do solo entre 1991 e 2018 em João Pessoa (De Sousa et al., 2023)

INTRODUÇÃO

O PROBLEMA



- Nesse sentido, observa-se que a maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre a João Pessoa tiveram como lócus de estudo que envolvem uma combinação de dados de sensoriamento remoto, tais como o: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), e a temperatura da superfície terrestre.
- O fenômeno de ilha de calor é complexo, influenciada por diversos fatores, Lopes *at al*, 2023 em seu estudo constata que as variáveis mais utilizadas nas pesquisas foram: (NDVI), áreas verdes, aspectos relacionados à geometria urbana, proporção de água e áreas construídas.
- Entretanto, qual é a relação entre ilhas de calor urbano superficial, ocupação do solo e o índice de desconforto térmico e o Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI) na cidade de João Pessoa?

Contribuição Técnica:

- **Atualização de Dados:** Este estudo fornece uma atualização dos dados sobre João Pessoa, integrando informações sobre as ilhas de calor urbana superficial, a ocupação do solo e o conforto térmico.
- **Suporte ao Planejamento Urbano:** Os dados atualizados oferecem novas perspectivas para o desenvolvimento de estratégias urbanas e políticas públicas voltadas à mitigação do aquecimento urbano.

Contribuição Científica:

- **Novas Abordagens:** A pesquisa destaca-se por explorar, de maneira nova, a relação entre NDVI, LST, NDBI e o Índice de Desconforto Térmico de Thom (IDT).
- **Interdisciplinar:** Ao integrar variáveis ainda não analisadas em conjunto, o estudo enriquece a compreensão dos impactos da urbanização sobre o clima urbano e o bem-estar da população.

INTRODUÇÃO

JUSTIFICATIVA

Ano	Autores	Título	Metodologia	Período de análise
2010	FREIRE; BEZERRA	Comportamento Microclimático Urbano: Estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa - PB	Análise do comportamento microclimático na Praça Silvio Porto, João Pessoa - PB.	2010
2012	SANTOS	Campo Térmico Urbano e sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida	Termo-higrômetro em nove pontos, questionários de avaliação de sensação térmica, teste de Mann-Kendall.	1963 a 2011
2013	BEZERRA; SANTOS; AGUIAR	Ilhas de Calor: Importância da Vegetação na Amenização Climática em João Pessoa, PB	Dados meteorológicos do INMET e termo-higrômetro na Mata do Buraquinho.	2012
2016	SOUZA; SILVA; SILVA	Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB	Imagens TM/Landsat 5, pré-processamento, classificação supervisionada do uso do solo.	1991 a 2010
2019	LIMA et al.	Conforto Térmico em Espaços Abertos no Clima Quente e Úmido: Estudo de Caso em um Parque Urbano no Bioma Mata Atlântica	Monitoramento microclimático e 900 questionários estruturados.	2015
2020	SILVA	As Mudanças no Uso e Cobertura da Terra e sua Influência na Geração de Ilhas de Calor Urbana da Superfície e Conforto Térmico em João Pessoa, Paraíba	NDVI e SAVI, dados de temperatura e umidade, índice IDT.	2011 a 2018
2021	FRANCISCO RESENDE DE ALBUQUERQUE et al.	Anomalias Térmicas e sua Relação com Desvios Térmicos Urbanos em Fragmentos Intraurbanos na Região Metropolitana de João Pessoa – PB	Dados micrometeorológicos em 10 estações, índice TDI, imagens Landsat para uso e cobertura do solo e SUHI.	Dia 13 de setembro e 29 de outubro de 2020
2022	DE SOUZA E SILVA et al.	Thermal Comfort Conditions at Microclimate Scale and Surface Urban Heat Island in a Tropical City: A Study on João Pessoa City, Brazil	Dados micrometeorológicos em 10 estações, índice TDI, imagens Landsat para uso e cobertura do solo e SUHI.	1991 a 2018

QUADRO 1 - SÍNTESE DOS PRINCIPAIS ESTUDOS APLICADOS PARA OBJETO DE ESTUDO: JOÃO PESSOA. (FONTE: AUTOR, 2024).

- A importância desta pesquisa está na necessidade de dados atualizados, visto que as pesquisas disponíveis cobrem até 2018. Este estudo preenche essa lacuna e aborda novos aspectos relacionados à urbanização, incluindo índices espectrais NDBI/BU, dados microclimáticos e conforto térmico em João Pessoa, a partir do Índice de Desconforto de Thom (IDT).
- A pesquisa busca auxiliar planejadores urbanos na análise do clima e das ilhas de calor em João Pessoa.
- A relevância é ampliada pela aplicabilidade regional, considerando os desafios climáticos do Nordeste, como altas temperaturas e umidade variável. Os resultados podem apoiar políticas locais e práticas, e a abordagem interdisciplinar, envolvendo climatologia, urbanismo e ergonomia.

OBJETIVO GERAL

Analisar a relação entre ilhas de calor urbana superficial, ocupação do solo e índice de desconforto térmico de Thom em áreas da cidade de João Pessoa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- **Analisar a dinâmica do uso e ocupação do solo (LULC) no período entre os anos de 2013, 2016, 2019 e 2022 para a área de estudo;**
- **Quantificar a vegetação através do índice (NDVI);**
- **Estimar a temperatura da superfície (LST).**
- **Identificar as áreas urbanizadas através do índice (NDBI) e (BU);**
- **Estimar e classificar o conforto térmico na cidade de João Pessoa a partir do Índice de Desconforto de Thom (IDT).**

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

JOÃO PESSOA



FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB

- João Pessoa, capital da Paraíba, tem 833.932 habitantes em uma área de 210,044 km², com densidade demográfica de 3.970,27 habitantes por km² e média de 2,8 moradores por residência (IBGE, 2022).
- Localizada no ponto mais oriental das Américas, a cidade está a 40 metros acima do nível do mar, com clima As-tropical seco durante o verão, segundo a classificação de Köppen-Geiger.
- O clima de João Pessoa é tropical e úmido, com temperatura média anual de 25°C e precipitação máxima em maio e julho, variando de 72,4 mm a 368,7 mm ao longo do ano.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

JOÃO PESSOA

- João Pessoa tem passado por profundas transformações urbanas, impulsionadas pela especulação imobiliária.
- A expansão da produção imobiliária no século XXI se direcionou especialmente para a Zona Sul e áreas rurais, intensificando a ocupação do solo e diversificando seus usos.
- O crescimento populacional, que triplicou nas últimas três décadas (de 221.052 habitantes em 1970 para 702.235 em 2009), justifica a expansão urbana.
- O crescimento urbano da cidade, especialmente durante o governo militar (1964-1984), mostrou uma descontinuidade visível entre a malha urbana da década de 1970 (marrom) e os conjuntos habitacionais implantados (verde), destacada pelos círculos C1 e C2 (Martins; Maia, 2019).

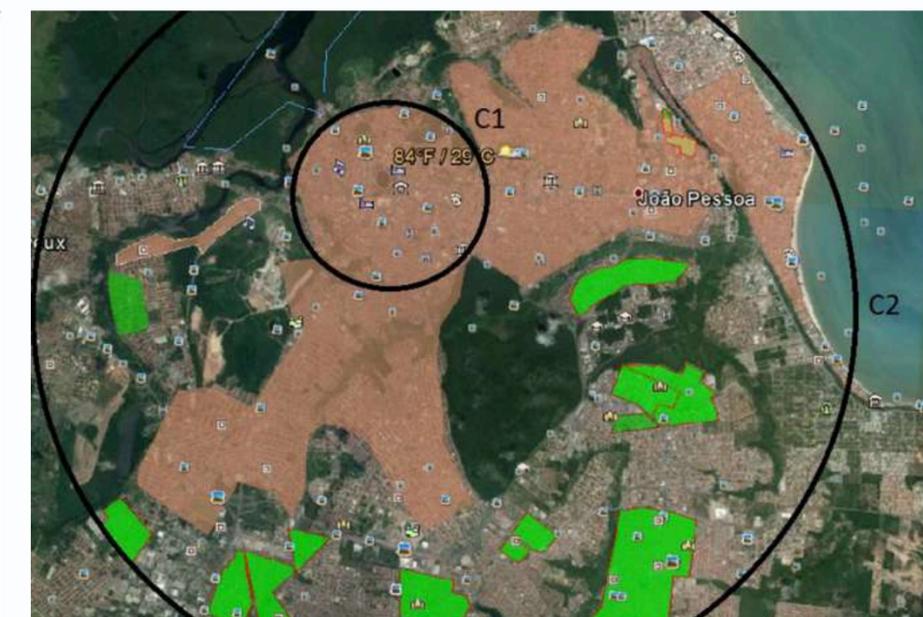
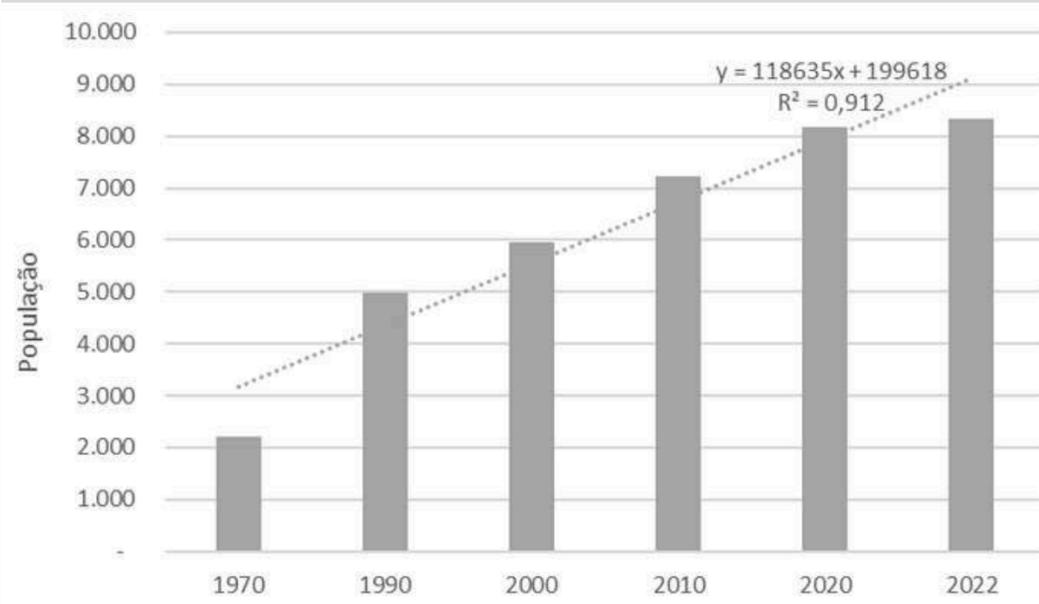
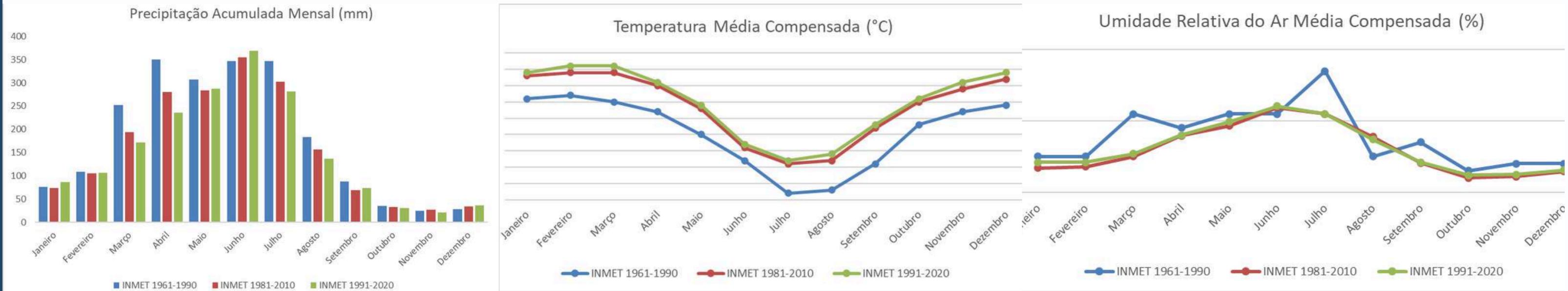


FIGURA 2 - DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO POR BAIRROS E LOCALIZAÇÃO REGIÕES ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS ZONA NORTE E ZONA SUL DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

CONTEXTO CLIMÁTICO



- Para a caracterização do clima da cidade, foram utilizados como referências os dados das normais climatológicas do INMET (2022), obtidas por meio de médias de parâmetros meteorológicos, para períodos padronizados de trinta anos.
- Em João Pessoa, os dados climáticos começaram a ser registrados em 1961 e estão organizados em três normais climatológicas: de 1961 – 1990, 1981-2010 e 1991-2020.
- Os meses de Março a Agosto compreendem os meses de estação climática “Chuvosa” e de Setembro a Janeiro estação climática “Seca”.

MATERIAL E MÉTODOS

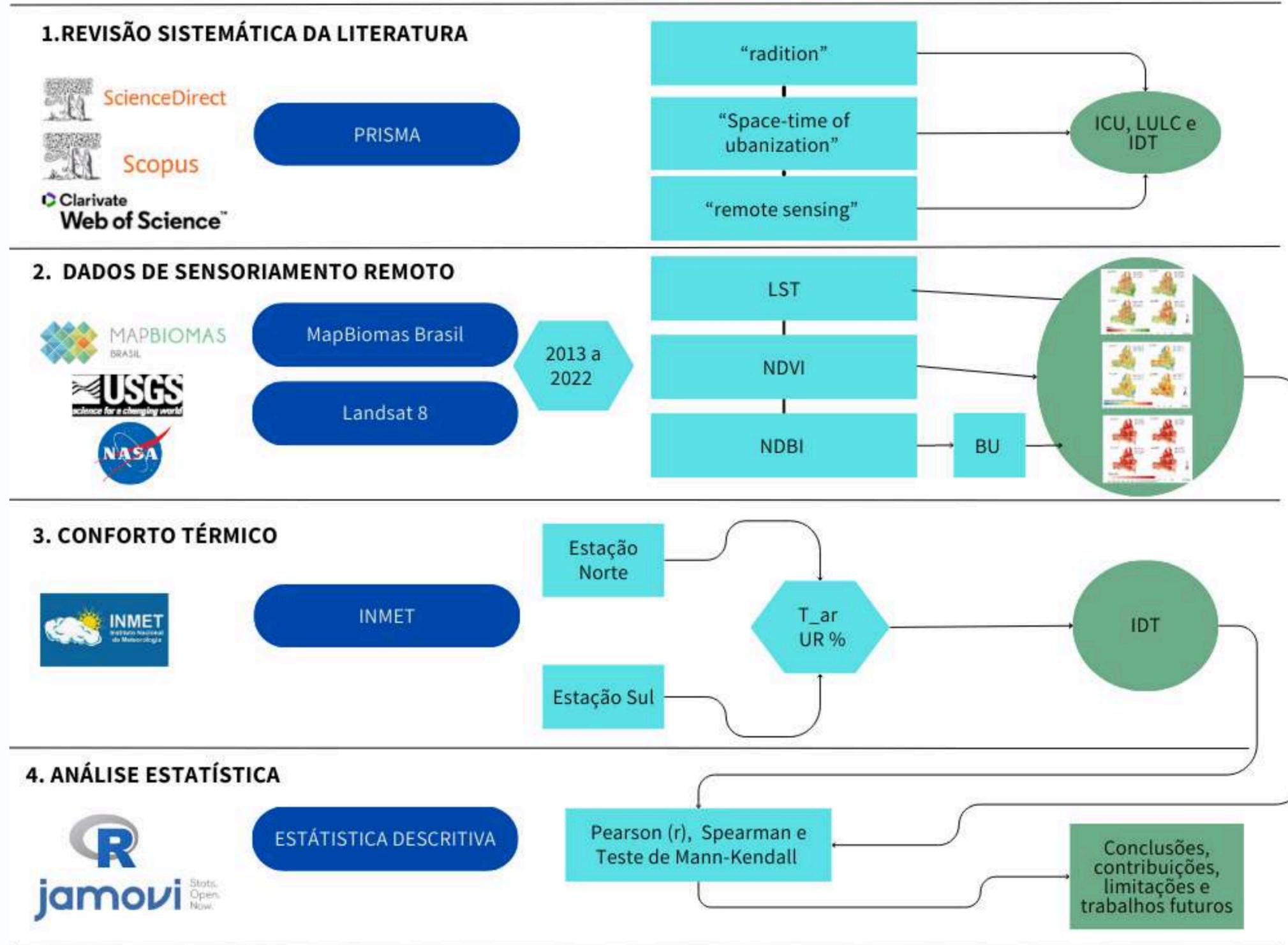


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.

MATERIAL E MÉTODOS

- A revisão sistemática utiliza métodos para identificar, avaliar e analisar dados, o PRISMA consiste em um checklist e fluxograma para auxiliar os autores em suas pesquisas (ITENS; REVIS; UMA, 2015).
- Foram usados termos amplos como “radiação”, “Espaço-tempo de urbanização” e “sensoriamento remoto” para buscas iniciais.
- Bases: Scopus, ScienceDirect e Web of Science, abrangeram estudos publicados até agosto de 2022
- A pesquisa inicial foi complementada com os termos: "ilhas de calor", "ocupação do solo" e "conforto térmico".
- As novas pesquisas embasaram teoricamente a análise das interações urbanas entre esses elementos.

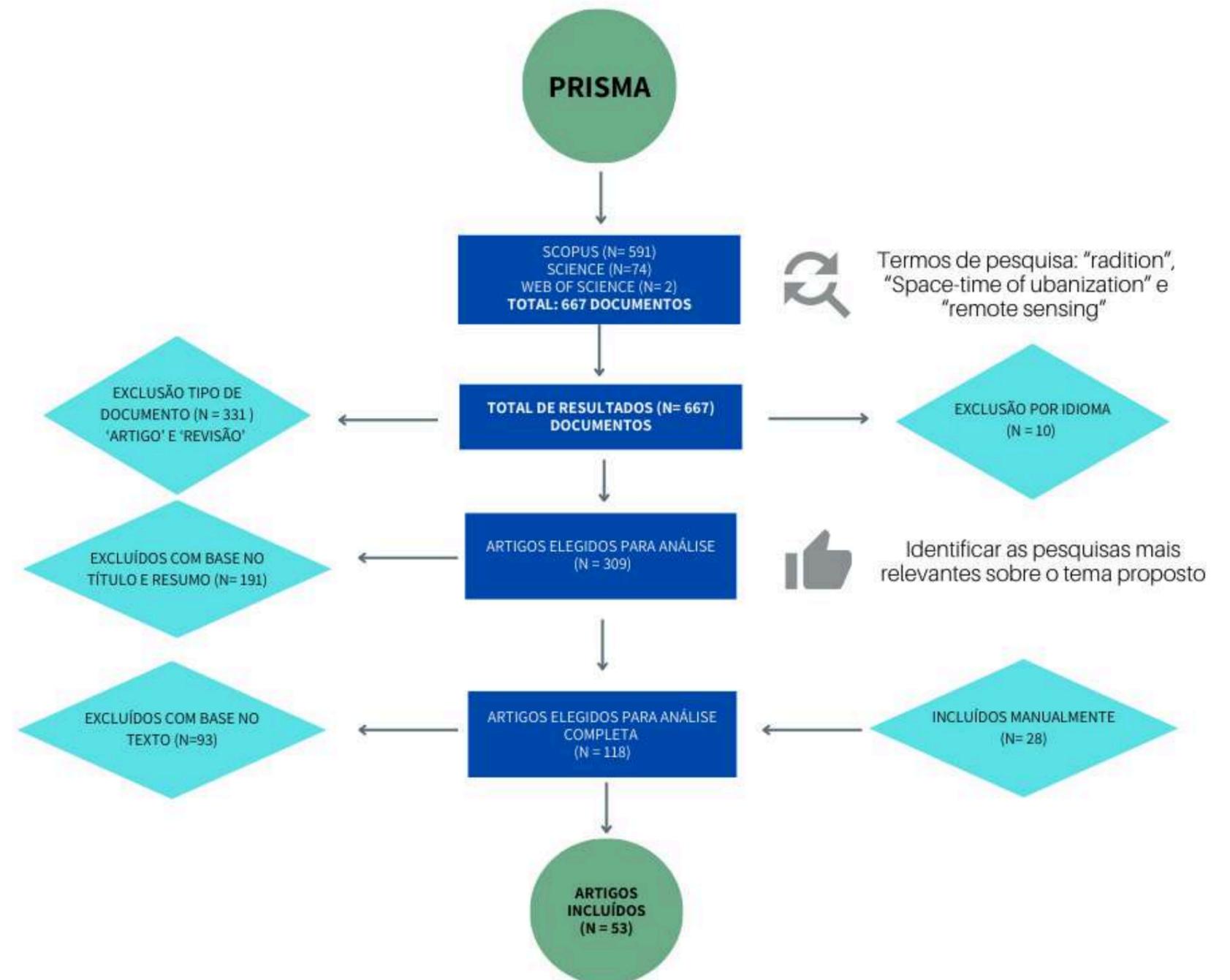


FIGURA 4 - DIAGRAMA DE FLUXO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

MATERIAL E MÉTODOS

DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

- O estudo utilizou 74 imagens de satélite do Landsat 8/OLI e TIRS, referentes aos anos de 2013, 2016, 2019 e 2022.
- O processamento dos dados foi realizado na plataforma Google Earth Engine (GEE) utilizando a linguagem JavaScript, com algoritmos criados para avaliar as ilhas de calor em João Pessoa.
- Para minimizar erros causados por nuvens, uma função de máscara de nuvens foi aplicada às imagens, ocultando pixels afetados e garantindo maior precisão na análise.

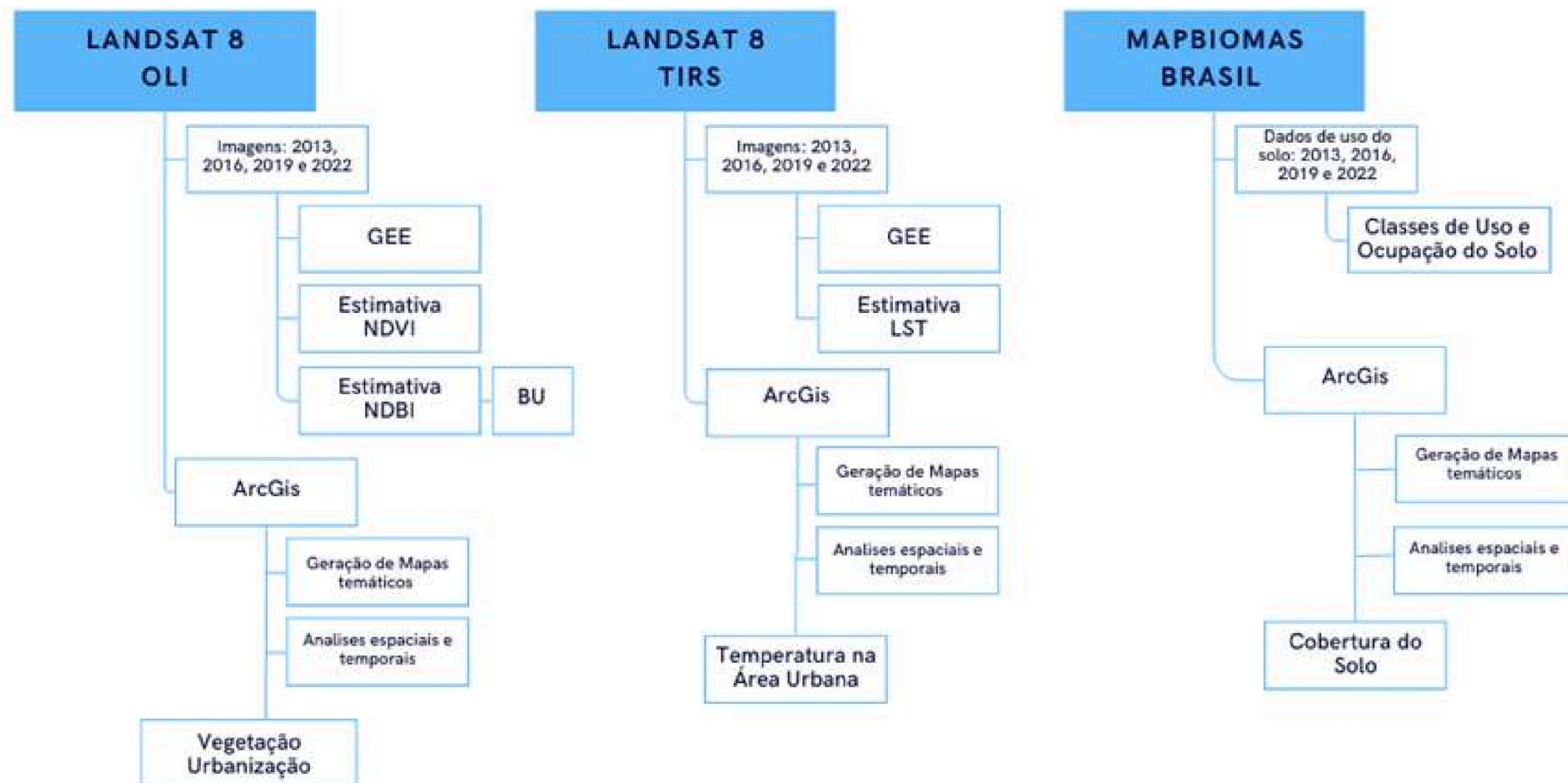


FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DE TRABALHO PARA O USO DE DADOS SENSORIAMENTO REMOTO. (FONTE: AUTOR, 2024).



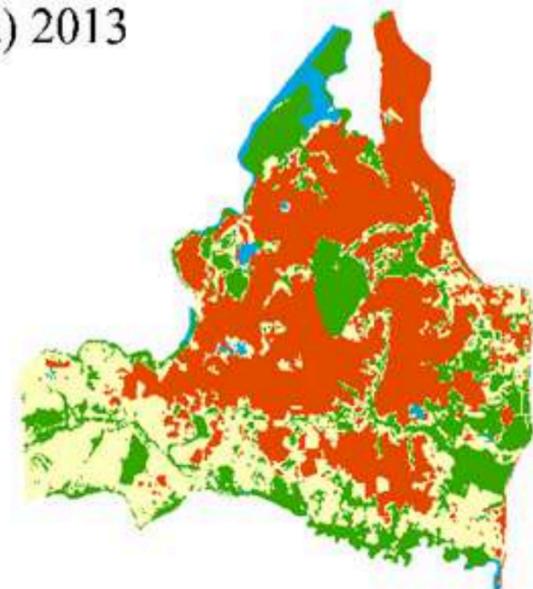
RESULTADOS E DISCUSSÕES

DISSERTAÇÃO

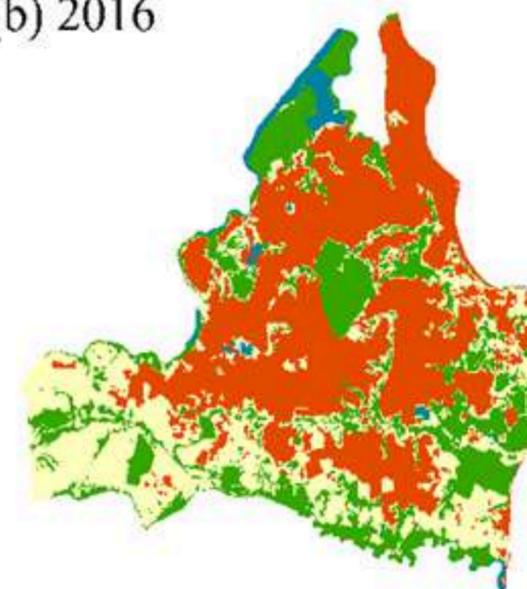
RESULTADOS:

VARIABILIDADE DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (LULC)

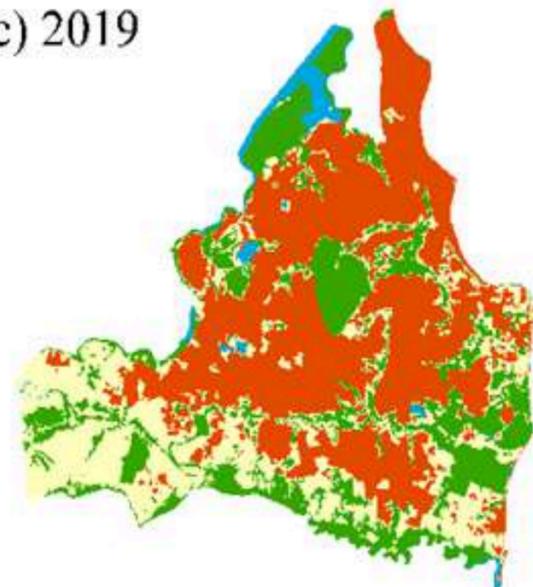
(a) 2013



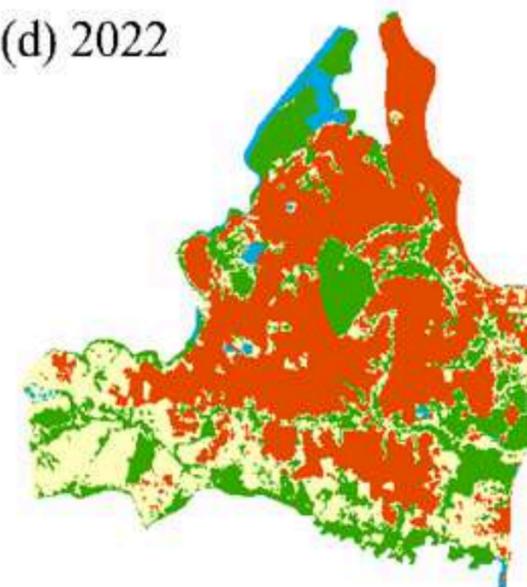
(b) 2016



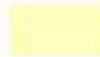
(c) 2019



(d) 2022



Classificação de uso e ocupação do solo (Coleção 8 - MapBiomas)

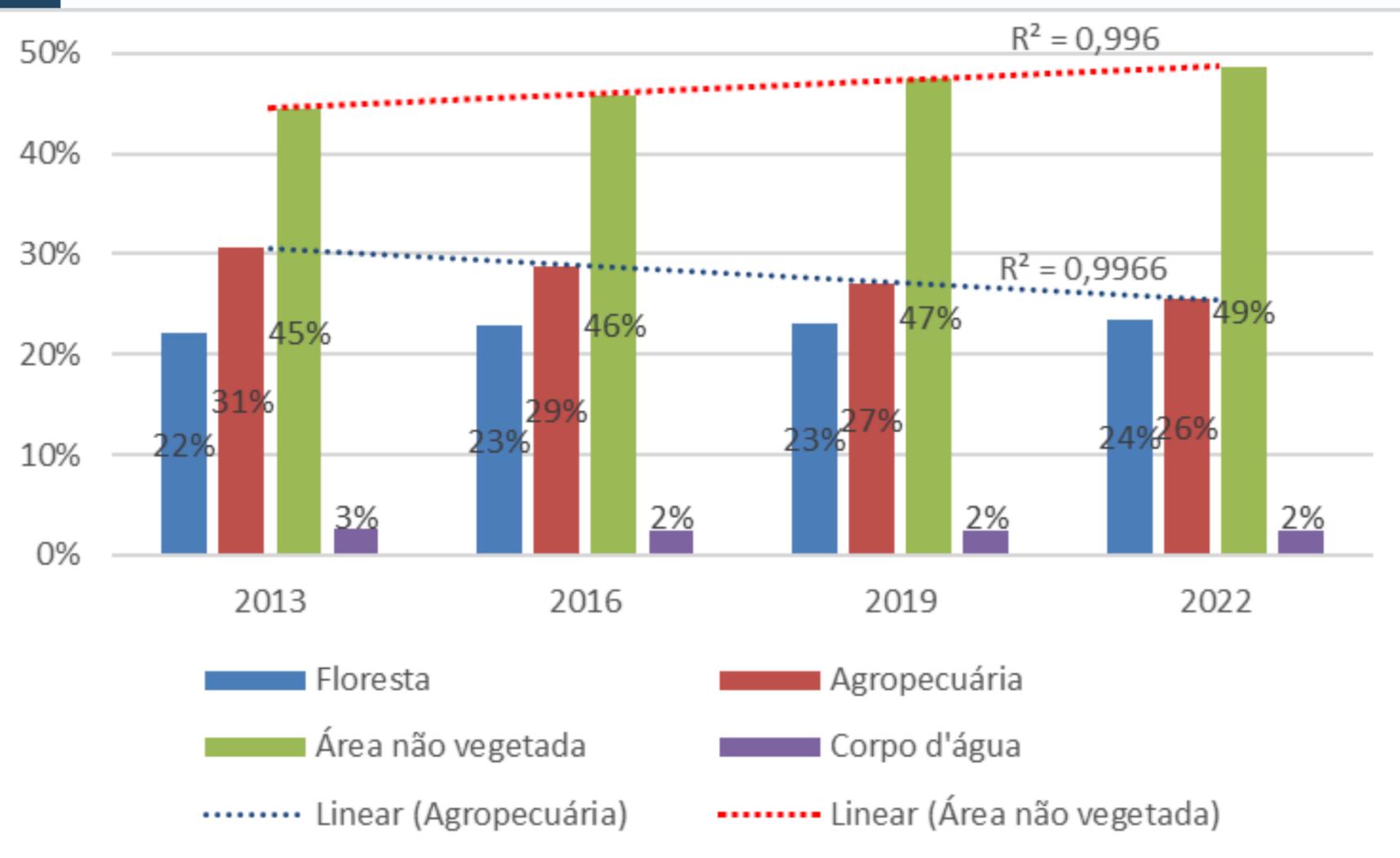
-  Floresta
-  Agropecuária
-  Área não vegetada
-  Corpo d'água

0 5 10 20 Km



RESULTADOS:

VARIABILIDADE DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (LULC)

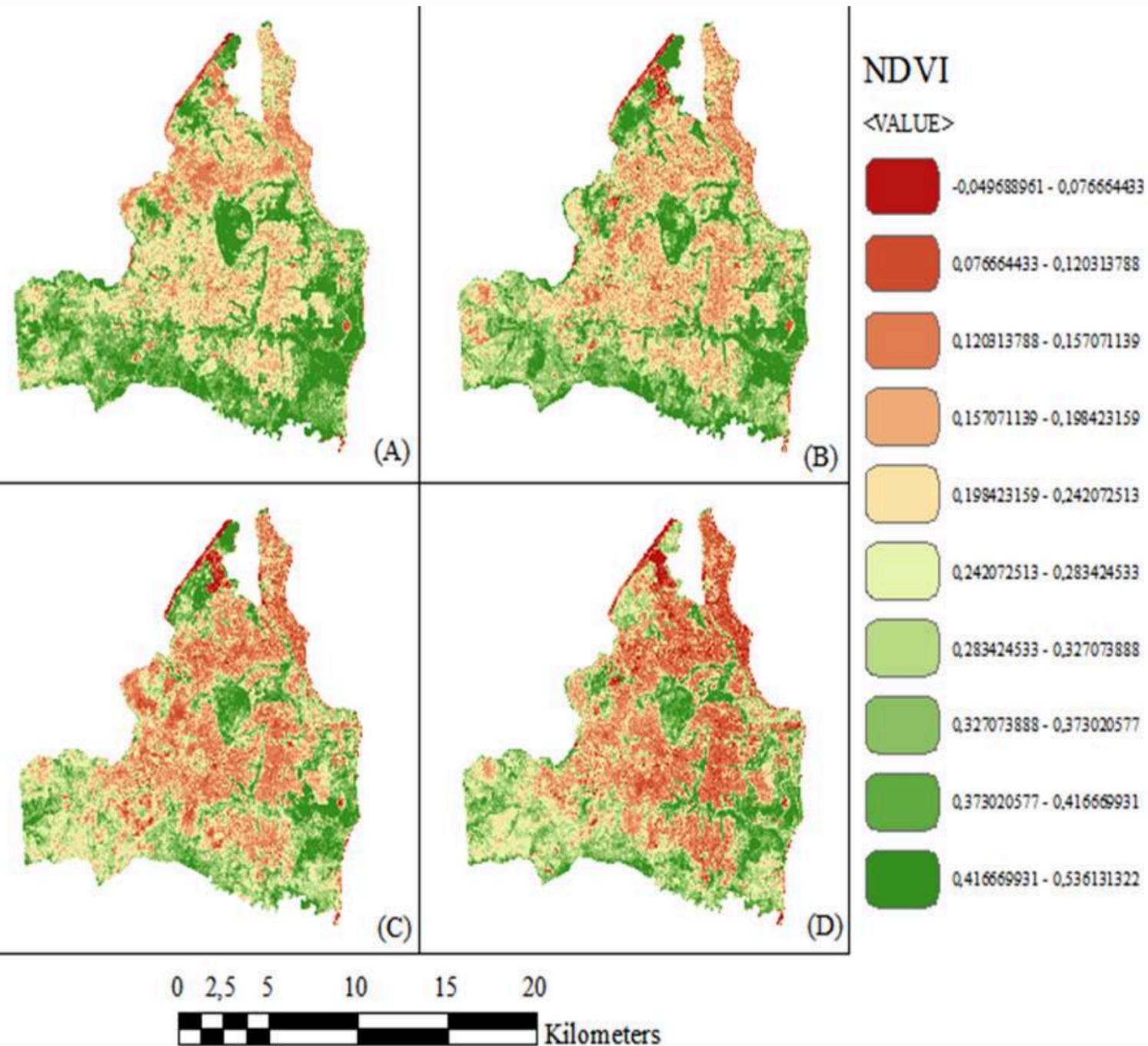


VARIAÇÃO DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ENTRE 2013 E 2021

- Entre 2013 e 2022, as áreas não vegetadas aumentaram de 45% para 49%, enquanto a agropecuária reduziu-se de 31% para 26%.
- Os coeficientes de determinação (R^2) de 0,9966 indicam um ajuste preciso nas tendências observadas, refletindo a clara diminuição das áreas destinadas à agropecuária e o aumento significativo das áreas não vegetadas ao longo do período analisado.
- A análise dos dados sugere uma redução contínua das áreas não vegetadas pode sinalizar expansão urbana.

RESULTADOS:

AValiação Espaço-Temporal (NDVI)

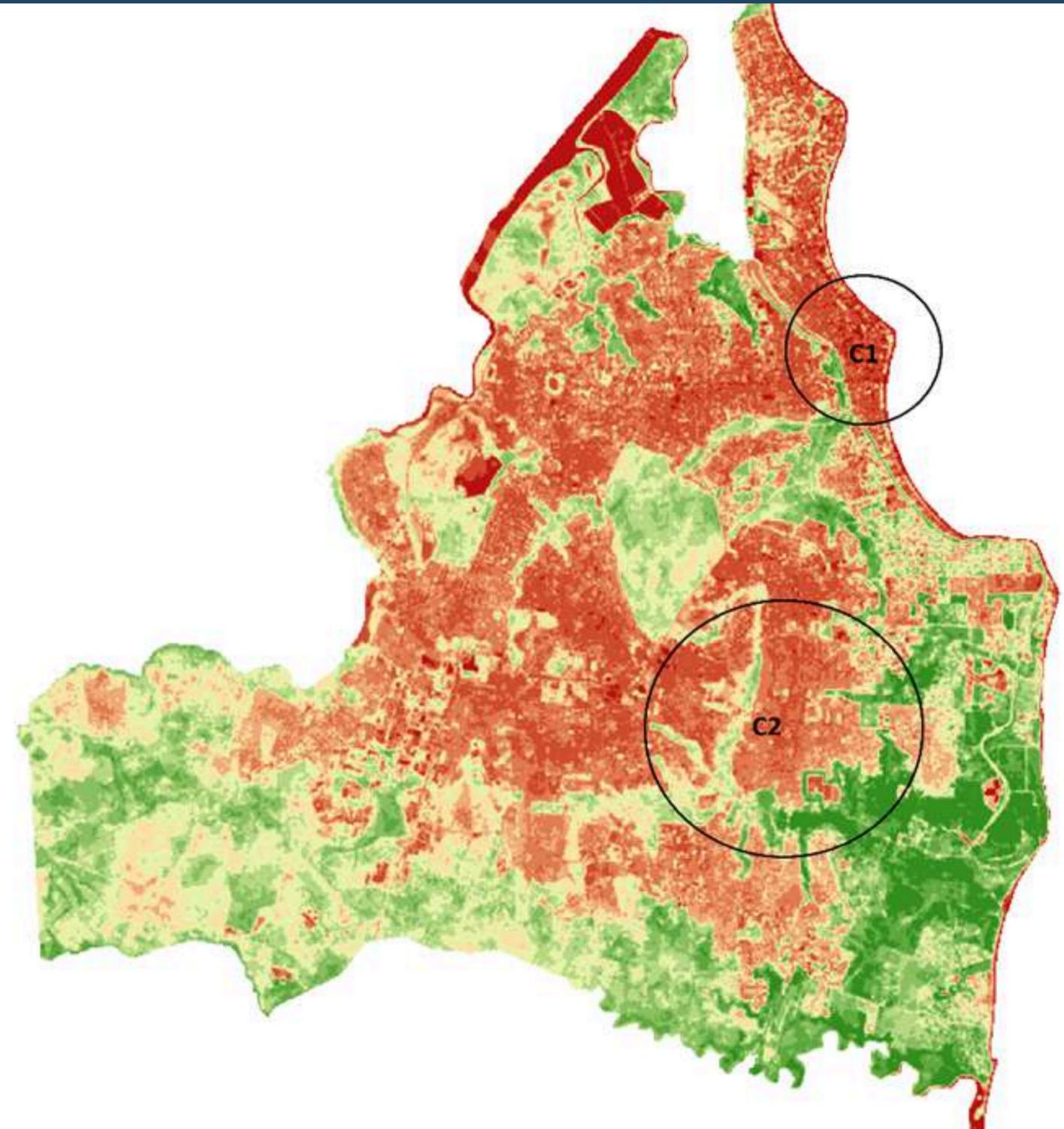


- O NDVI variou entre -0,0496 e 0,5361 nos anos de 2013, 2016, 2019 e 2022. Valores menores, próximos a 0, indicam pouca ou nenhuma vegetação, enquanto valores entre 0,2 e 0,5 estão associados a vegetação esparsa, arbustos e gramíneas.
- Em 2013, o NDVI atingiu um valor alto de 0,5361, indicando cobertura florestal densa, mas esse valor não foi observado nos anos seguintes (2016, 2019 e 2022).
- Nos últimos 10 anos, a proporção de valores NDVI acima de 0,3, que representam áreas de vegetação densa e florestas, diminuiu. Por outro lado, valores próximos de zero, que indicam áreas construídas e terra nua, aumentaram de 2016 a 2022, refletindo uma transformação das áreas de vegetação densa em áreas urbanizadas.

RESULTADOS:

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL(NDVI)

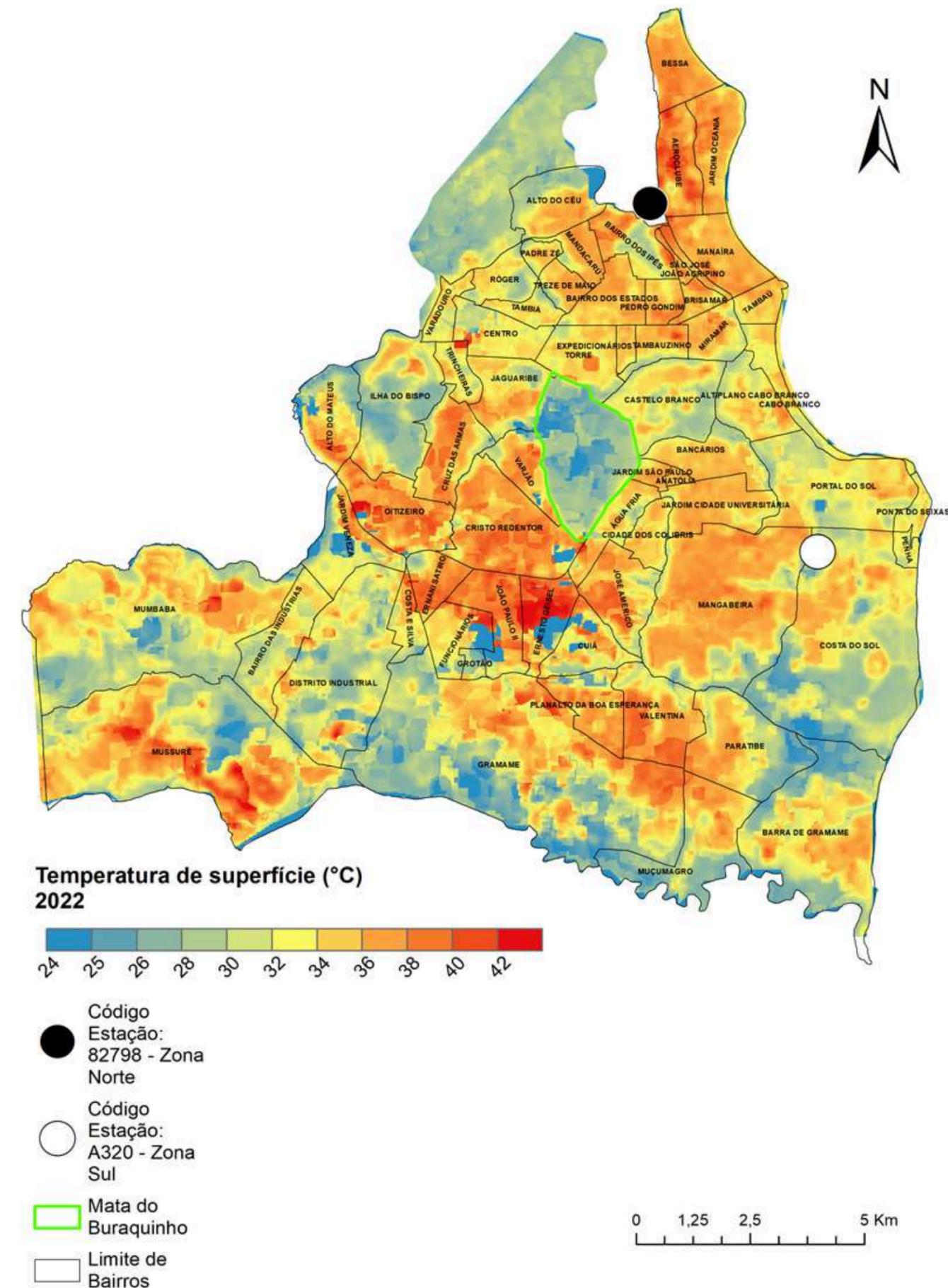
- Entre 2019 e 2022, os valores médios do índice NDVI caíram, com valores negativos e próximos a zero mais evidentes nas áreas Norte e Sul da cidade. Na parte Norte (C1), bairros litorâneos como Cabo Branco, Tambaú, Manaíra e Bessa apresentaram maiores perdas no NDVI, enquanto na parte Sul, bairros como Mangabeira, Paratibe, Valentina, Planalto da Boa Esperança e Gramame também foram impactados (C2).
- No entanto, áreas como a Mata do Buraquinho mantiveram valores de NDVI acima da média anual, com 0,88, funcionando como regulador térmico importantes devido à evapotranspiração, que contribui para o resfriamento das áreas vizinhas.



RESULTADOS:

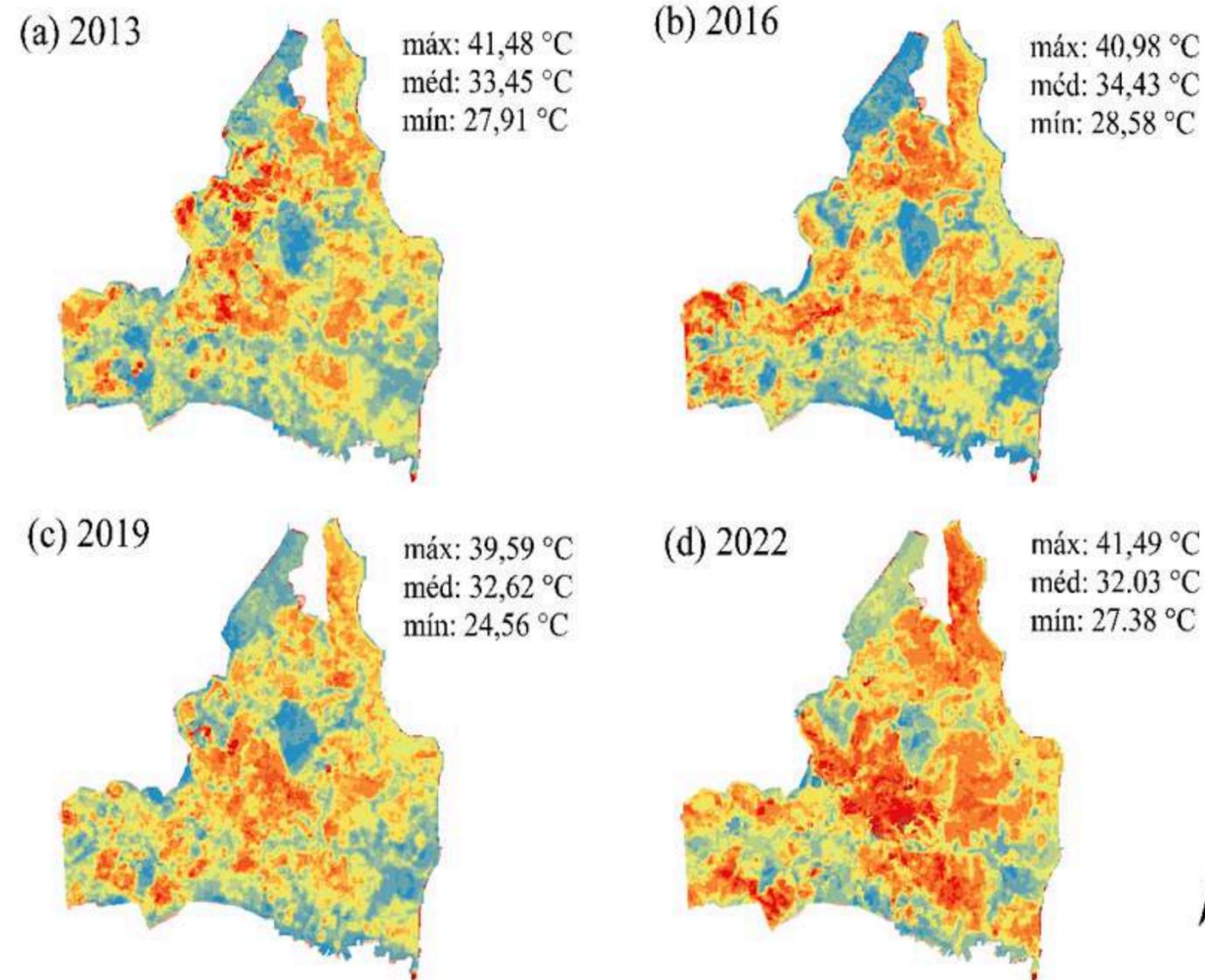
Avaliação espaço-temporal de índice espectral Temperatura de superfície (LST)

- A parte central da área, onde se localiza a reserva biológica Mata do Buraquinho, apresenta uma grande reserva de mata atlântica com condições semelhantes a um ambiente rural (Bezerra, Santos, Aguiar, 2013).
- As estimativas de LST mostram que a Mata do Buraquinho e seu entorno têm valores mais baixos, enquanto áreas não vegetadas ou urbanizadas têm valores mais altos.
- Isso confirma o impacto das coberturas do solo na LST, refletido também nas estimativas de NDVI.



RESULTADOS:

AValiação Espaço-Temporal de Índice Espectral Temperatura de Superfície (LST)



- Entre 2013 e 2022, a concentração de áreas com temperatura da superfície elevadas ($>38^{\circ}\text{C}$) aumentou em João Pessoa.
- Em 2013, mais da metade da cidade tinha temperaturas abaixo de 27°C , mas em 2022, a maioria das áreas mostrou temperaturas médias de 32°C , com algumas chegando próximo a 42°C .

RESULTADOS:

ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA PARA ÁREAS CONSTRUÍDAS (NDBI) E ÍNDICE DE CONSTRUÇÃO (BU)

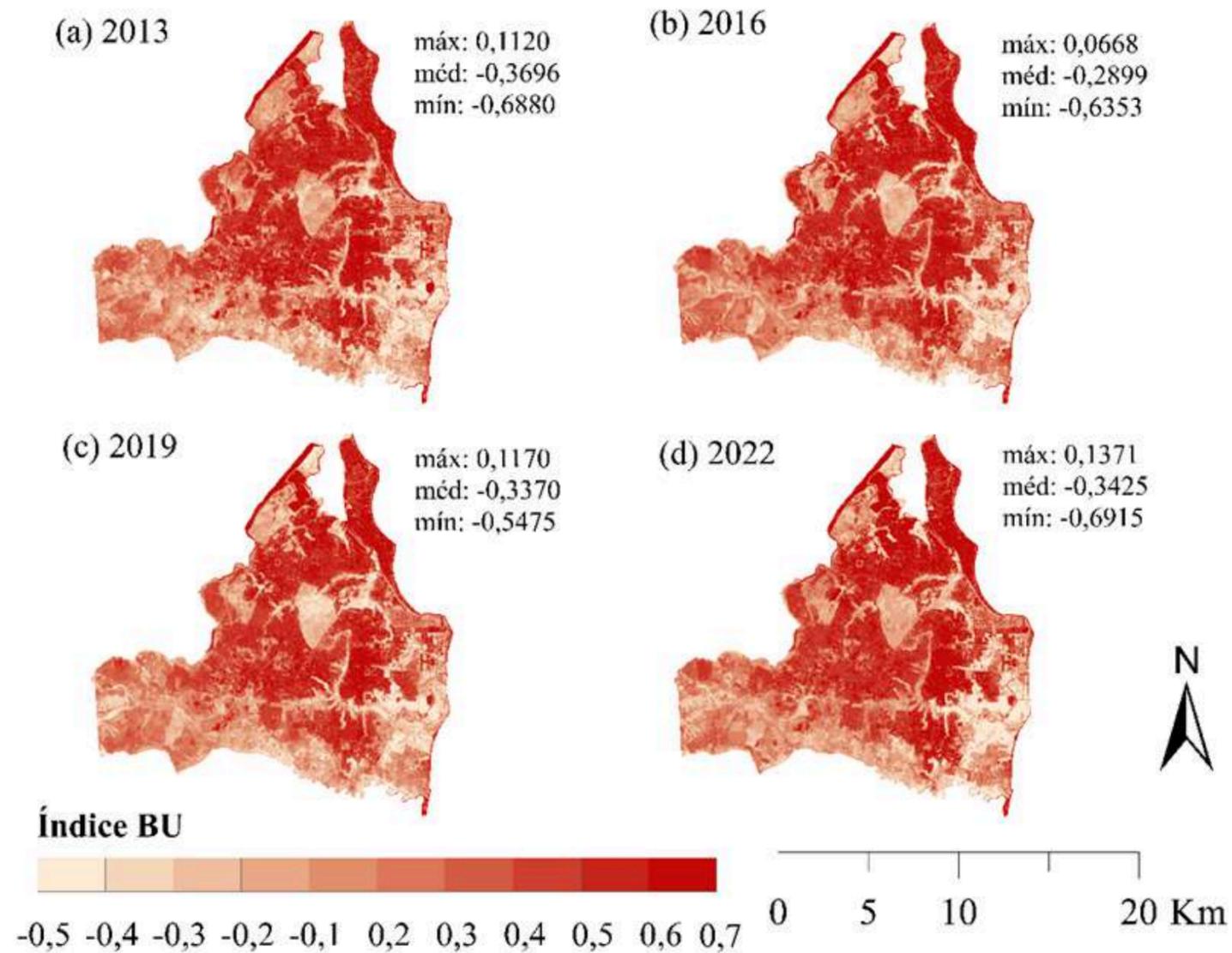


FIGURA - MAPAS REPRESENTAÇÃO DO ÍNDICE NDBI PARA OS ANOS DE 2013 (A), 2016 (B), 2019 (C) E 2022 (D).

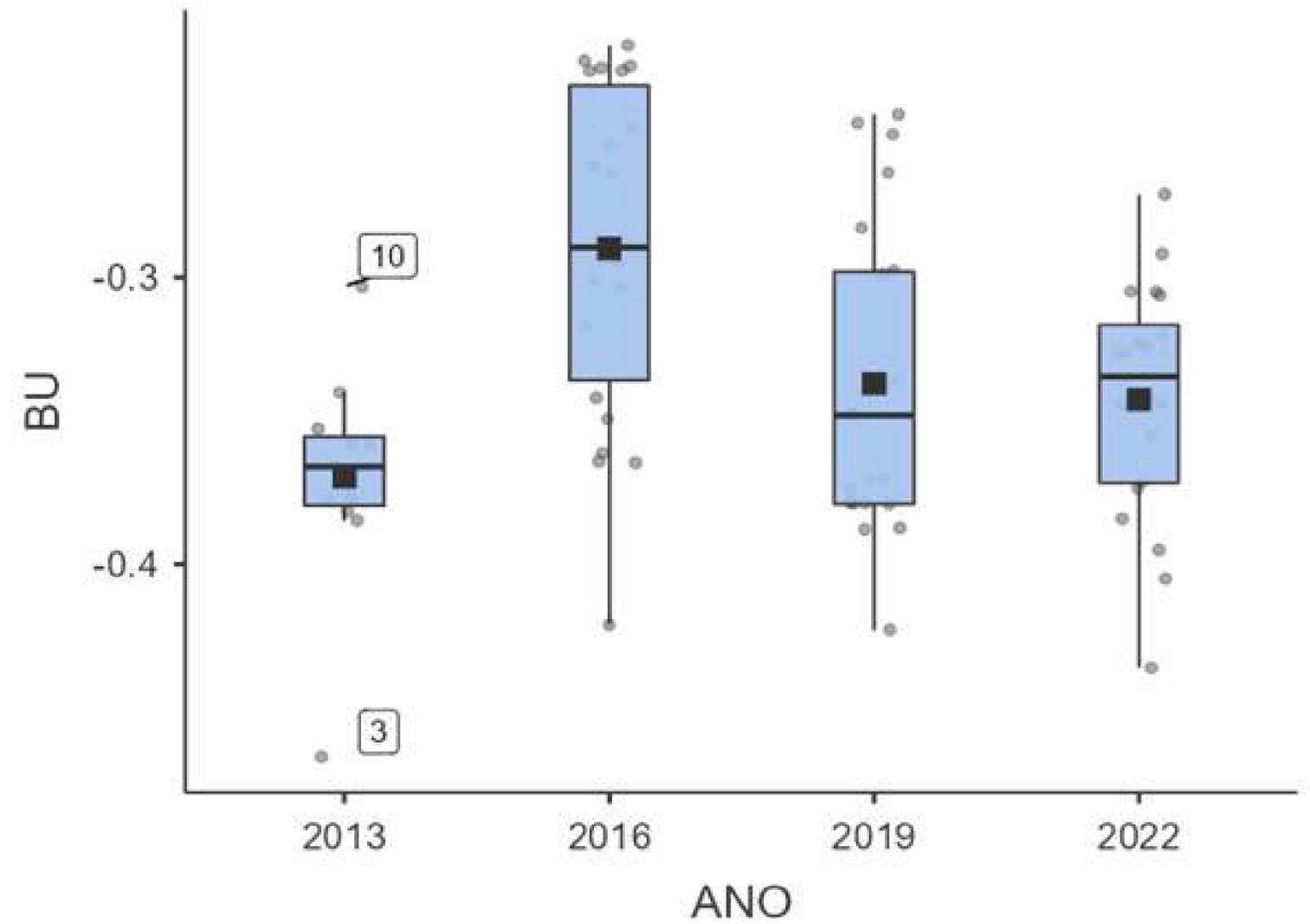


FIGURA - ÍNDICE BU PARA OS ANOS DE 2013, 2016, 2019 E 2022.

RESULTADOS:

ÍNDICE DE CONSTRUÇÃO (BU)

Valores das estimadas do índice BU medias anuais para os anos 2013, 2016, 2019 e 2022

ANO	BU média	Desvio-padrão	W (Shapiro-Wilk)	<i>p</i>
2013	-0.370	0.0398	0.869	0.075
2016	-0.290	0.0579	0.924	0.092
2019	-0.337	0.0544	0.896	0.029
2022	-0.342	0.0414	0.969	0.735

- Os resultados indicam que o índice BU, variando entre -0,3 e -0,4, diminuiu de 2016 para 2022. Esse índice, que reflete a presença de áreas vegetadas ou permeáveis, revela uma substituição dessas áreas por construções.
- Esse processo evidencia a expansão urbana, impulsionada pelo crescimento populacional e pelo aumento da produção imobiliária na última década (Gustavo, Fernandes, Israel, 2019).

RESULTADOS:

ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL

Temperatura média anual do ar e umidade relativa por estação INMET.

ANO	Períodos climáticos	T_ar °C SUL	UR % SUL	IDT SUL	T_ar °C NORTE	UR % NORTE	IDT NORTE
Média	CHUVOSO	25.8	76.2	24.3	26.2	79.4	24.9
Desvio - padrão	2013	0.728	5.51	0.906	0.741	7.75	0.582
Média	SECO	26.1	74.8	24.5	26.7	79.7	25.4
Desvio - padrão	2016	0.747	5.20	0.433	0.866	8.38	0.294
Média	CHUVOSO	26.0	80.1	24.7	26.3	81.0	25.1
Desvio - padrão	2019	1.13	7.25	0.982	1.11	6.93	1.06
Média	SECO	27.1	71.5	25.1	27.9	73.7	26.0
Desvio - padrão	2022	0.792	2.24	0.643	0.814	1.98	0.680
Média	CHUVOSO	26.5	78.2	25.0	27.3	78.3	25.8
Desvio - padrão	2022	1.78	3.93	1.41	1.64	3.79	1.35
Média	SECO	27.1	71.7	25.1	27.9	74.6	26.0
Desvio - padrão	2022	0.944	5.61	0.733	0.948	5.26	0.836
Média	CHUVOSO	27.0	77.1	25.4	26.8	79.4	25.4
Desvio - padrão	2022	1.15	4.58	0.947	0.818	5.54	0.690
Média	SECO	27.4	70.8	25.3	28.0	75.3	26.1
Desvio - padrão	2022	1.13	2.51	0.870	1.04	6.15	0.691

- Os valores de temperatura do ar em João Pessoa variam de aproximadamente de 26°C a 27°C na estação Sul e de 26°C a 28°C na estação Norte, refletindo o clima tropical úmido da cidade, com temperaturas elevadas durante todo o ano.
- A estação do INMET na Zona Norte apresenta temperaturas de ar mais altas e umidade relativa maior em comparação com a Zona Sul, tanto na estação seca quanto na chuvosa.

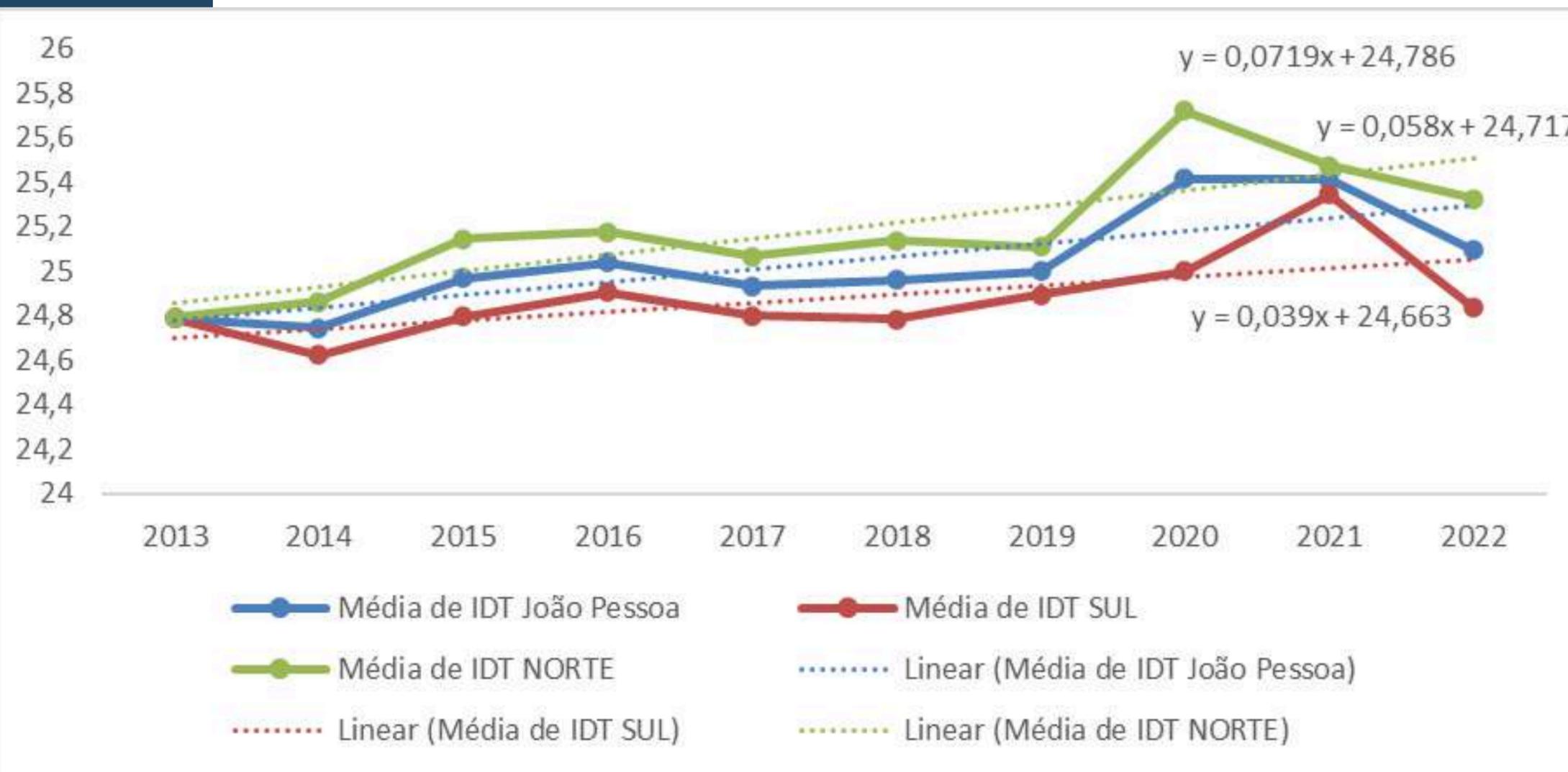
RESULTADOS:

ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL

- A umidade relativa média anual na estação INMET da Zona Norte é maior do que na da Zona Sul, com diferenças em todos os anos e períodos climáticos analisados.
- Em 2022, a umidade relativa média anual na Zona Norte foi de 79,4% no período chuvoso e 75,3% no período seco, enquanto na Zona Sul foi de 77,1% e 70,8%, respectivamente.
- A umidade relativa do ar acima de 74% em João Pessoa, superior ao nível recomendado de 30 a 50%, pode aumentar a incidência de doenças respiratórias e afetar o bem-estar e o consumo de energia, conforme Prüss-Üstün et al. (2016).

RESULTADOS:

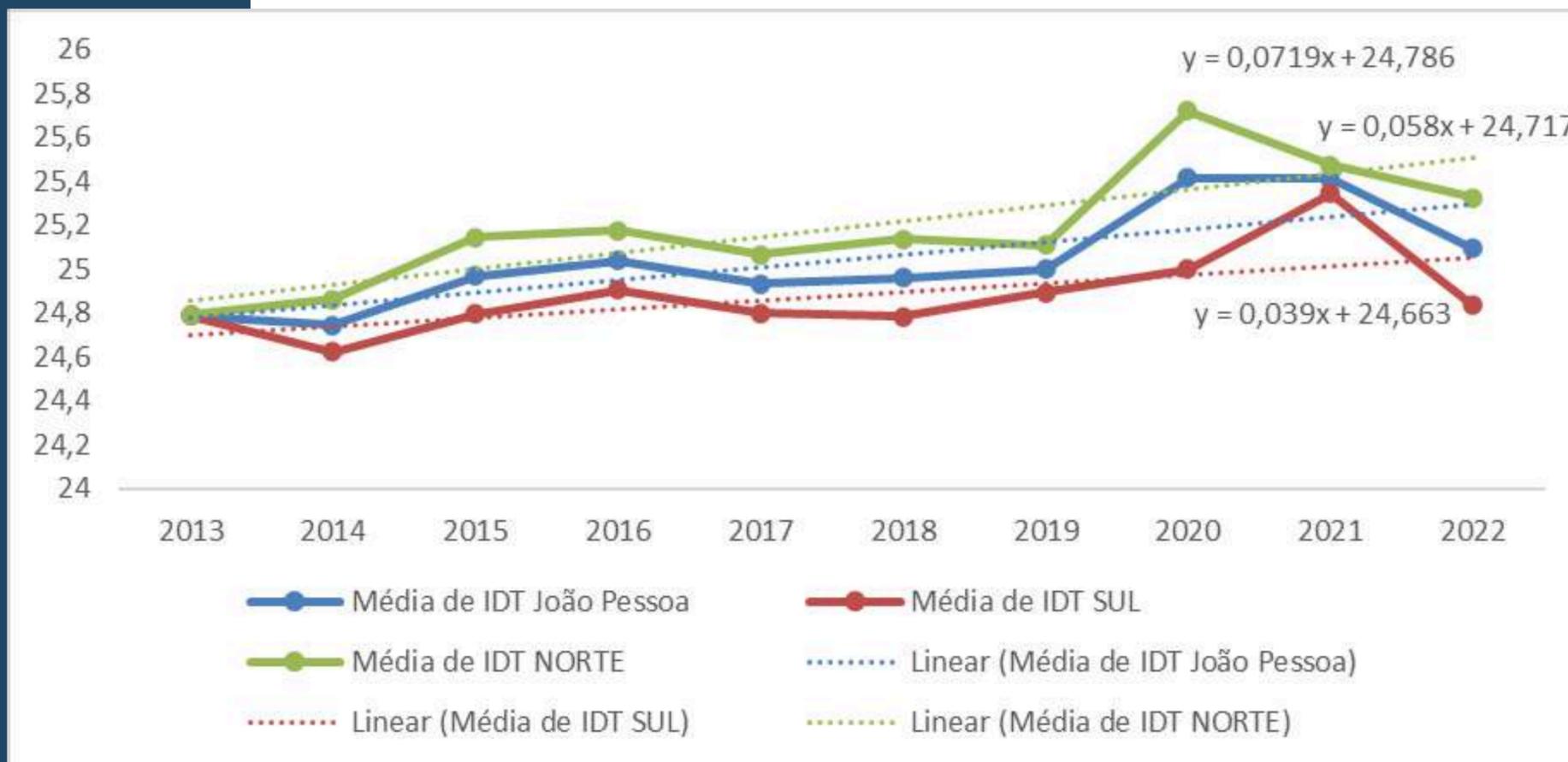
ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL



- Entre 2013 e 2022, demonstra uma tendência de aumento das condições de desconforto térmico ao longo dos anos.
- Os dados foram baseados nas estações do INMET localizadas nas regiões Norte e Sul, com o IDT médio sendo calculado a partir de dados de temperatura e umidade.

RESULTADOS:

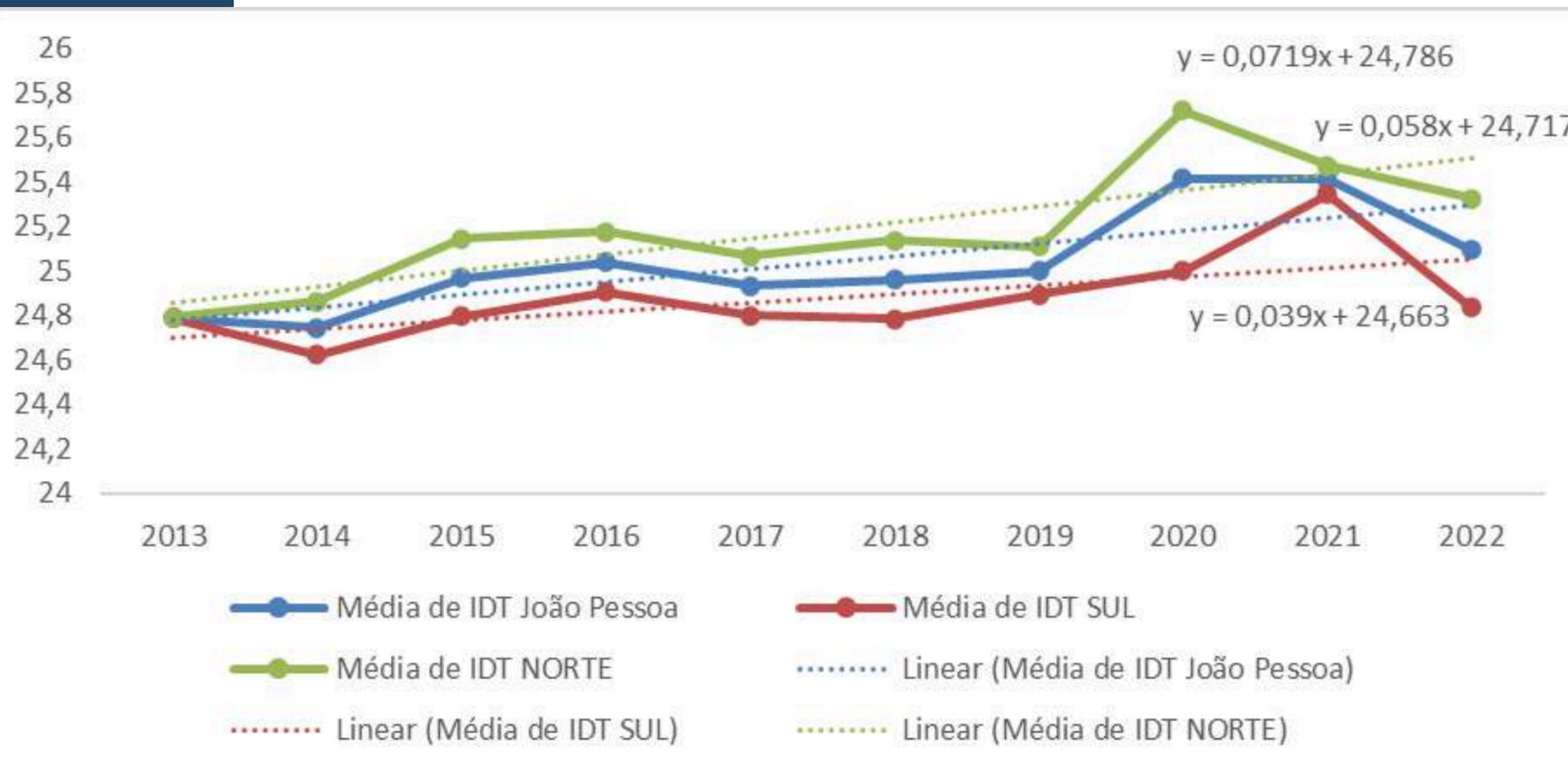
ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL



- As equações de regressão linear presentes no gráfico indicam a tendência de aumento do desconforto térmico, à medida que as variáveis climáticas responsáveis pelo cálculo do IDT, como a temperatura e a umidade, variam ao longo dos anos.
- A variável X, portanto, não é o ano em si, mas os dados meteorológicos representados ao longo do tempo. Na equação da estação Norte, $y=0,0719x+24,786$, o coeficiente 0,0719 indica que, para cada unidade de variação das condições climáticas medidas anualmente, o IDT aumenta em média 0,0719 unidades.

RESULTADOS:

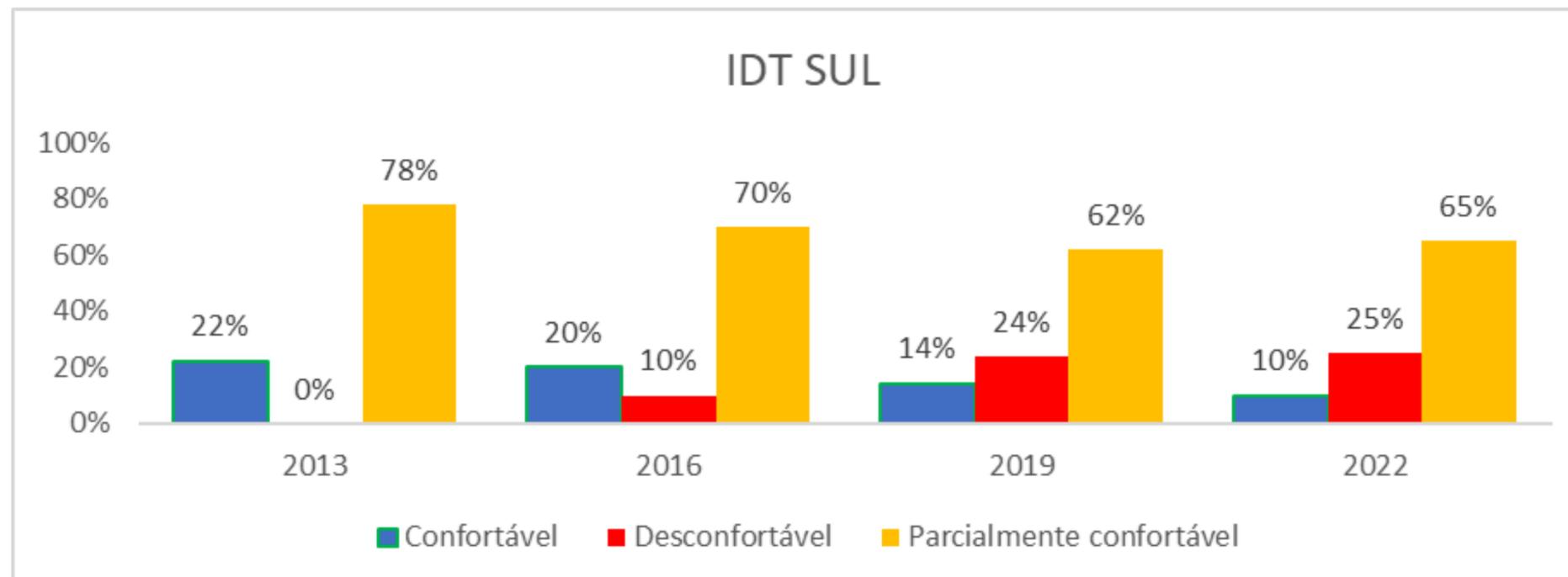
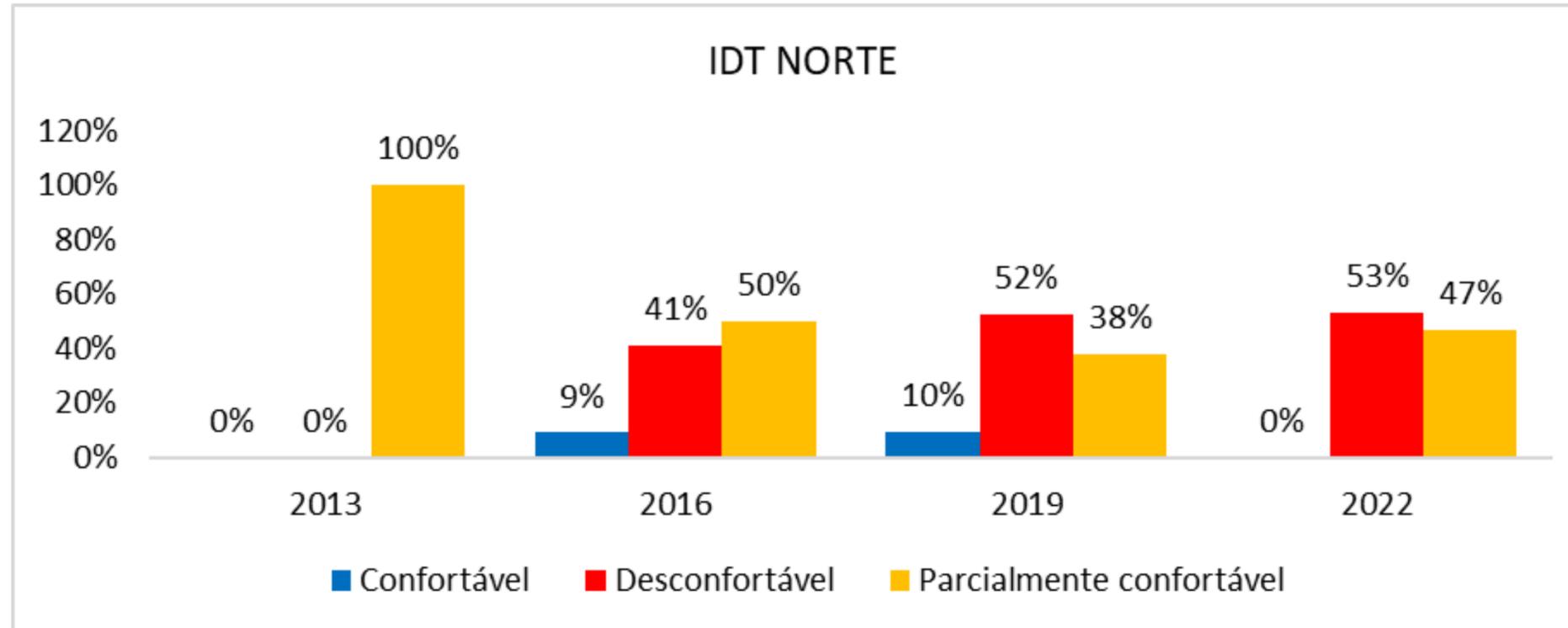
ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL



- O coeficiente de determinação $R^2=0,6306$ indica que 63,06% da variação no IDT pode ser explicada pelas condições meteorológicas observadas ao longo dos anos, reforçando a tendência de aquecimento e aumento do desconforto térmico durante o período analisado.
- Os valores do IDT ficaram acima do limite considerado parcialmente confortável ($24^{\circ}\text{C} \leq \text{IDT} \leq 26^{\circ}\text{C}$) em todos os anos analisados, indicando que a população da cidade tem enfrentado condições próximas ao desconforto térmico durante a maior parte do período estudado.

RESULTADOS:

ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL

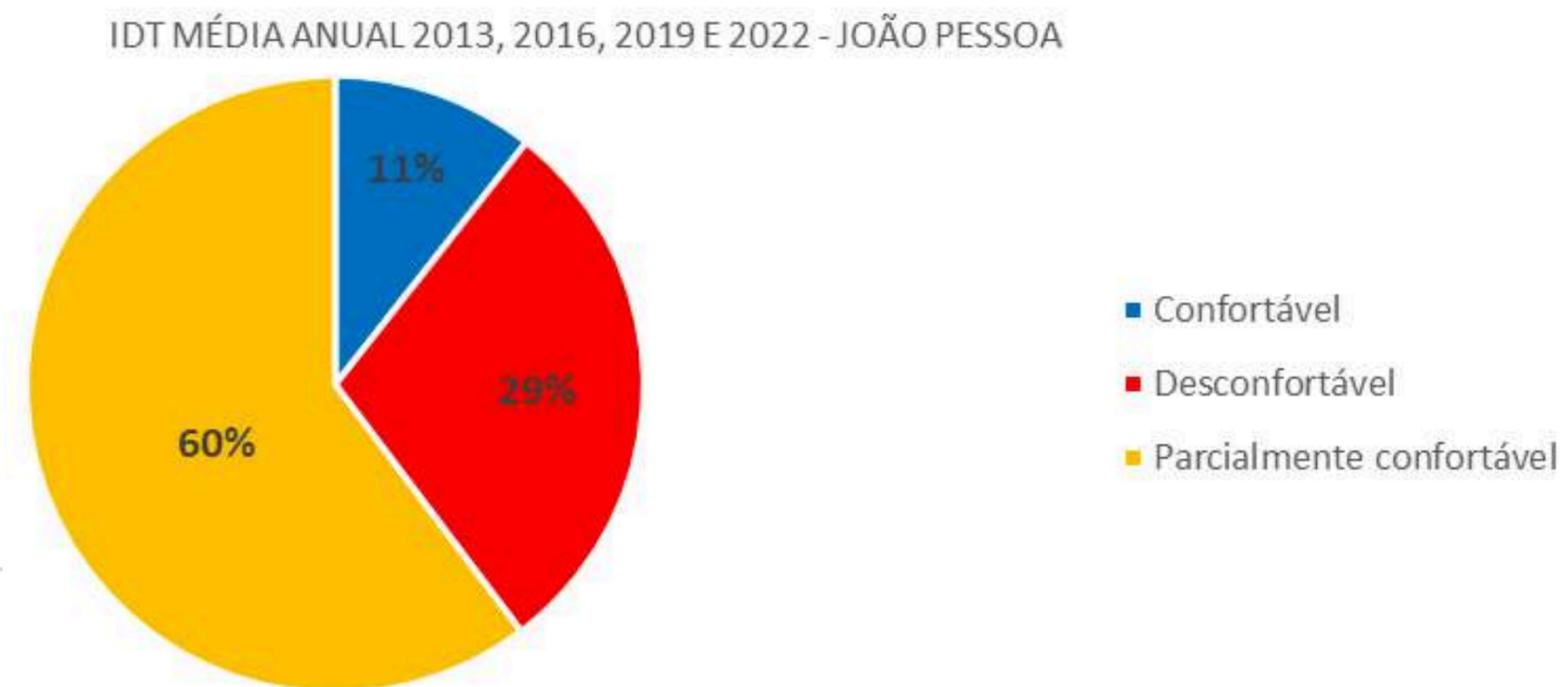
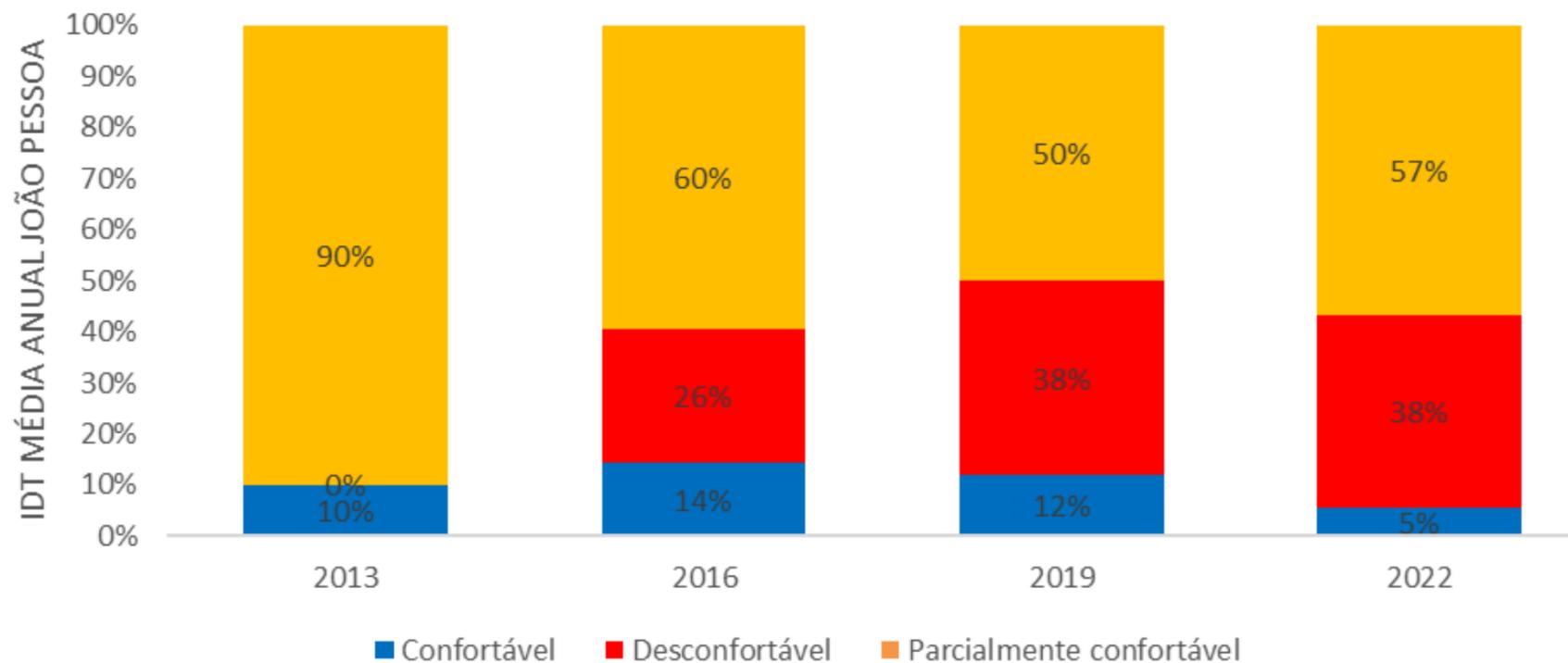


Faixas IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
IDT < 24,0	Confortável
24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
26 < IDT < 28,0	Desconfortável
IDT ≥ 28,0	Muito desconfortável



RESULTADOS:

ESTIMATIVA E CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO LOCAL



- A análise das médias do IDT em João Pessoa, nas regiões Sul e Norte, de 2013 a 2022, revela uma tendência crescente em todas as áreas, com a região Norte apresentando os maiores valores ao longo dos anos.
- As diferenças entre as regiões Norte e Sul sugerem a necessidade de abordagens específicas, como planejamento urbano adaptativo, políticas ambientais regionais e monitoramento contínuo.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI, LST E BU E OS DADOS DE DESCONFORTO TÉRMICO IDT

	Média	Desvio-padrão	W (Shapiro-Wilk)	<i>p</i>
NDVI	0.260	0.0288	0.979	0.259
LST	33.1	3.84	0.993	0.945
BU	-0.329	0.0567	0.969	0.067
IDT estação Sul	25.0	0.939	0.967	0.059
IDT estação Norte	25.6	0.946	0.962	0.032
T_ar °C Sul	26.8	1.22	0.953	0.010
UR % Sul	74.7	5.60	0.949	0.007
T_ar °C Norte	27.2	1.23	0.955	0.013
UR % Norte	77.3	6.02	0.944	0.003

- As variáveis utilizadas no estudo foram submetidas ao teste de normalidade Shapiro-Wilk para determinar o comportamento dos dados e auxiliar na escolha dos testes estatísticos mais apropriados. Os resultados indicaram que as variáveis LST, NDVI e BU seguem uma distribuição normal ($p\text{-valor} > 0,05$), o que permite o uso de métodos paramétricos para análise.
- No entanto, as variáveis IDT estação Norte, T_ar °C Norte, UR % Norte, T_ar °C Sul e UR % Sul não apresentaram distribuição normal ($p\text{-valor} < 0,05$), exigindo cautela na interpretação dos resultados e buscando analisá-las através de métodos não paramétricos.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI, LST E BU E OS DADOS DE DESCONFORTO TÉRMICO IDT

Períodos climáticos	LST, NDVI, BU E ANO (N)	(%)	IDT SUL (N)	IDT NORTE (N)	(%)
CHUVOSO	36	49%	32	34	46%
SECO	38	51%	39	37	50%

As variáveis LST e IDT são respostas térmicas, e considerando a necessidade de uma análise mais detalhada das variações climáticas, foi adotada uma abordagem adicional para analisar os dados ao longo do ano e também segmentá-los por períodos climáticos, especificamente as temporadas seca e chuvosa. A distribuição em percentual dos dados durante esses períodos climáticos, mostrando um equilíbrio entre os períodos seco e chuvoso.

ANÁLISES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

	BU	LST	NDVI	IDT estação Sul
BU	—			
LST	0.437 ***	—		
NDVI	-0.826 ***	0.307 **	—	
IDT estação Sul	0.141	0.238 *	-0.170	—

- A correlação positiva moderada entre BU e LST ($r = 0.437$, $p < 0.001$) sugere que áreas com maior densidade de construção tendem a registrar temperaturas de superfície mais elevadas, evidenciando a contribuição do desenvolvimento urbano para o efeito das ilhas de calor (Oliveira Borges et al., 2022).
- A forte correlação negativa entre BU e NDVI ($r = -0.826$, $p < 0.001$) confirma a expectativa de que o aumento do índice de construção está associado a uma redução significativa da cobertura vegetal, pois com menor cobertura vegetal implica na diminuição da capacidade das áreas urbanas de regular a temperatura através da evapotranspiração e sombreamento, o que é crucial para mitigar o desconforto térmico.

ANÁLISES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

	BU	LST	NDVI	IDT estação Sul
BU	—			
LST	0.437 ***	—		
NDVI	-0.826 ***	-0.307 **	—	
IDT estação Sul	0.141	0.238 *	-0.170	—

- A correlação negativa moderada entre LST e NDVI ($r = -0.307$, $p < 0.01$) apesar de moderada mostra reforça a importância das áreas verdes como reguladoras naturais de temperatura, indicando que a presença de vegetação poderá efetivamente reduzir as temperaturas de superfície. E Lopes; Emmanuela; Hora (2023) sublinha o papel essencial da vegetação urbana não apenas como uma ferramenta, mas como um componente chave na formulação de estratégias de adaptação climática.

ANÁLISES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

	NVDI	BU	LST	T_ar °C Sul	UR % Sul	IDT estação Sul	T_ar °C Norte	UR % Norte	IDT estação Norte
BU	- 0,78***	-	-	-	-	-	-	-	-
LST	-0,24*	0,42***	-	-	-	-	-	-	-
T_ar °C Sul	-0,2	0,12	0,28*	-	-	-	-	-	-
UR % Sul	0,31**	-0,27*	-0,4***	-0,44***	-	-	-	-	-
IDT estação Sul	-0,12	0,07	0,15	0,92***	-0,09	-	-	-	-
T_ar °C Norte	-0,24*	0,18	0,36**	0,9***	- 0,49***	0,79***	-	-	-
UR % Norte	0,13	-0,12	-0,32**	-0,31**	0,77***	-0,04	- 0,51***	-	-
IDT estação Norte	-0,23	0,17	0,24*	0,88***	-0,23	0,89***	0,91***	-0,14	-

A correlação negativa entre o NDVI e o Índice de Construção (BU) ($r = -0,78$, $p < 0,001$) indica que áreas mais urbanizadas têm menor cobertura vegetal, enquanto a correlação positiva entre LST e BU ($r = 0,42$, $p < 0,001$) sugere que regiões com maior densidade de construções tendem a ser mais quentes, contribuindo para a intensificação das ilhas de calor.

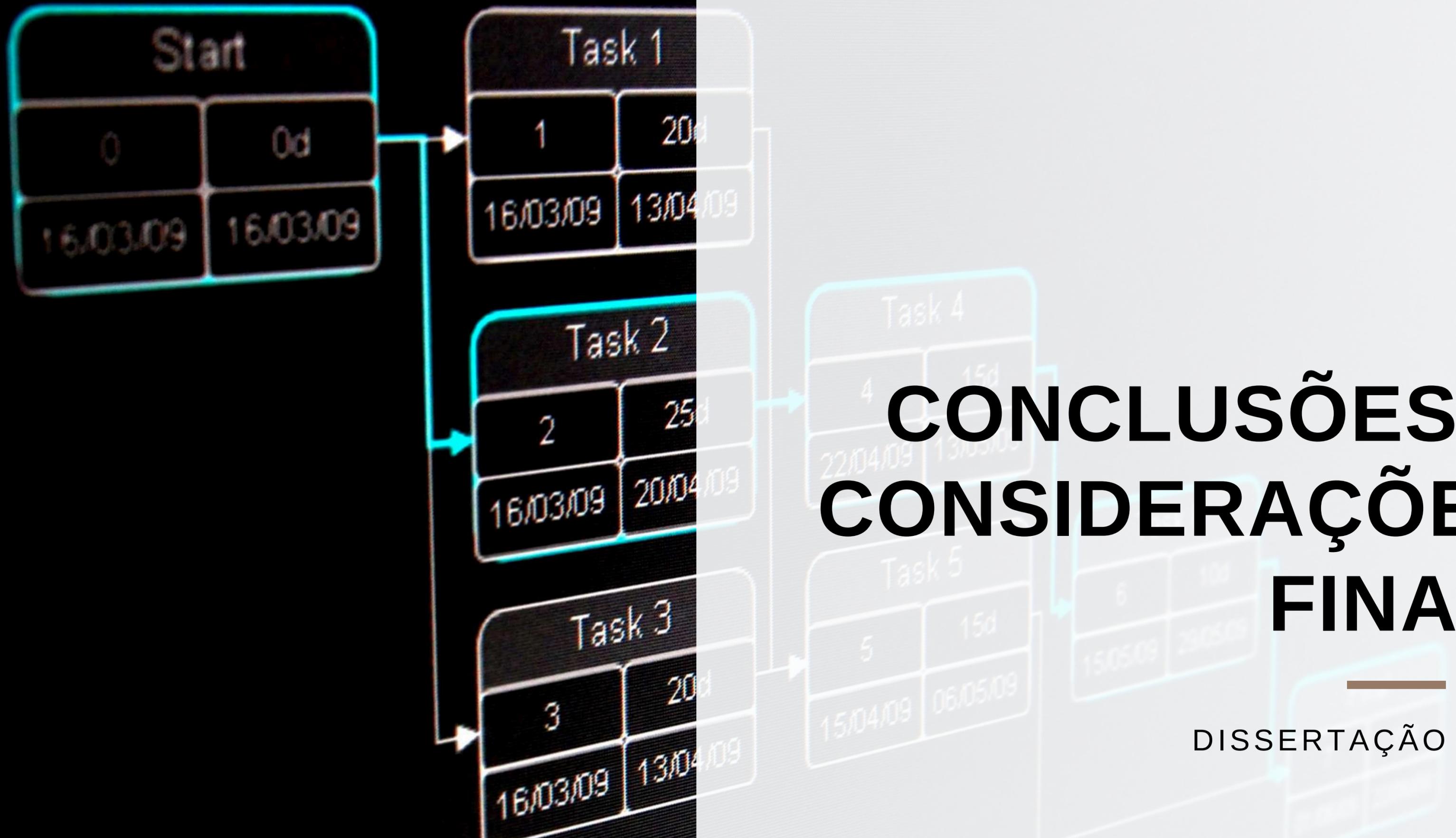
ANÁLISES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

- A correlação positiva entre NDVI e UR % Sul ($r = 0,31$, $p < 0,01$) sugere que áreas com maior cobertura vegetal são mais úmidas, o que pode mitigar o desconforto térmico, reforçando o papel da vegetação na modulação das temperaturas e da umidade relativa (Costa et al., 2024).
- Índice de Desconforto Térmico (IDT), a temperatura do ar, tanto na estação Sul quanto na estação Norte, apresenta uma forte correlação positiva com o IDT ($r = 0,91$, $p < 0,001$), indicando que temperaturas mais altas estão associadas a maior desconforto térmico.
- Embora essa relação seja previsível, dado que o IDT utiliza temperatura e umidade relativa em seu cálculo, a correlação com outras variáveis, como a LST, sugere que intervenções no ambiente construído podem influenciar o conforto térmico (Pioppi; Pigliautile; Pisello, 2020).

ANÁLISES TENDÊNCIAS ATRAVÉS DO TESTE DE MANN-KENDALL

Variáveis	S	valor p
NVDI	- 0,013	0,877
BU	0,013	0,874
LST	- 0,079	0,325
T_ar °C Sul	0,182	0,026*
UR % Sul	- 0,132	0,107
IDT estação Sul	0,134	0,102
T_ar °C Norte	0,196	0,0160*
UR % Norte	- 0,117	0,149
IDT estação Norte	0,176	0,031

- A temperatura do ar nas estações Sul ($S = 0,182$, $p = 0,026$) e Norte ($S = 0,196$, $p = 0,016$) apresenta tendências crescentes significativas, indicando um aumento na temperatura ao longo do tempo. Isso pode contribuir para a intensificação das ilhas de calor.
- O Índice de Desconforto Térmico (IDT) na estação Norte mostra uma tendência crescente significativa ($S = 0,176$, $p = 0,031$), sugerindo que o desconforto térmico tende a aumentar com o tempo, associado ao aumento da temperatura.



CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

DISSERTAÇÃO

RESULTADOS DA PESQUISA

- Este estudo explorou a relação entre ilhas de calor urbanas, uso do solo e o índice de desconforto térmico (IDT) em João Pessoa. A urbanização, com o aumento das áreas construídas (BU) e a redução da urbanização (NDVI), está diretamente ligada ao aumento da temperatura da superfície (LST) e ao desconforto térmico.
- As análises de correlação entre LST, NDVI e BU para diferentes anos e estações meteorológicas confirmam a conexão entre urbanização e o aumento das ilhas de calor. No entanto, ressaltam a necessidade de uma investigação mais detalhada das variabilidades locais e dos dados climáticos específicos. Essa investigação foi realizada utilizando dados de diferentes áreas dentro da cidade, obtidos das estações Inmet localizadas nas regiões Sul e Norte de João Pessoa.

RESULTADOS DA PESQUISA

Conclui-se que:

- BU e LST: Correlação positiva moderada ($r = 0,437$, $p < 0,001$), sugere que áreas com maior densidade de construção tendem a registrar temperaturas de superfície mais elevadas. Isso evidencia que o crescimento urbano sem planejamento adequado contribui para o efeito das ilhas de calor urbano, resultando em temperaturas locais mais altas.
- BU e NDVI: Correlação negativa forte ($r = -0,826$, $p < 0,001$), confirmando que o aumento das áreas construídas está associado à redução da vegetação. Essa diminuição da cobertura vegetal compromete a capacidade de regulação térmica das áreas urbanas, o que é essencial para mitigar os efeitos das ilhas de calor e melhorar o conforto térmico.
- Mann-Kendall: Tendências de aumento na temperatura do ar e no IDT nas estações Norte e Sul, sugerindo que o desconforto térmico tem intensificação leve com o aumento da temperatura.

LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

- **Resolução espaço-temporal limitada:**

Sensores com alta resolução temporal, como o MODIS, possui alta resolução temporal (1 a 2 dias), entretanto a resolução espacial para a banda termal é de 1 Km. Nesse sentido, foi mantida a utilização de imagens do Landsat 8 (resolução espacial de 30 m) para o estudo do ambiente térmico urbano na escala local. No entanto, sem dados noturnos e por um período de revisita de 16 dias, mostrando sempre um horário específico do dia.

- **Seleção de imagens com baixa cobertura de nuvens:**

Estabelecimento de maiores critérios para seleção das imagens com menor cobertura de nuvens para melhorar a precisão das informações, os pixels contaminados pela presença de nuvens podem ser removidos por algoritmos de triagem (Zhou et al., 2018).

- **Dados micrometeorológicos em campo:**

Aferições das variáveis em campo com dados micrometeorológicos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- **Complementação das Análises :** Incorporar dados espectrais adicionais e realizados em campo em novas zonas/pontos da cidade. Cálculo de novos índices de desconforto térmico, incluindo variáveis como velocidade do vento e temperatura média radiante.
- **Métodos e Abordagens:** Utilização de levantamento de parâmetros urbanísticos em escala compatível com essas análises para toda área urbana, como quantitativos de área impermeável, projeção de edificações, altura, fator de visão do céu, entre outros.
- **Esses resultados podem contribuir para a constituição de uma base de dados mais robusta para avaliação dos impactos das estratégias de mitigação do calor urbano, quando necessárias, e que também devem associar fatores socioeconômicos.**

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15220-3. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 16, 2005.
- DE SOUZA E SILVA, R. et al. 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, n. 6, p. 1079–1093, 2022.
- FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. *Revista ACTA Geográfica*, p. 61–76, 2012.
- IBGE. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. 3ª Edição. IBGE, 2013.
- ITENS, P.; REVIS, R.; UMA, P. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, n. 2, p. 335–342, 2015.
- JIANG, H. et al. Evaluation of the Total, Direct, and Diffuse Solar Radiations from the ERA5 Reanalysis Data in China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 17, n. 1, p. 47–51, 2020.
- KHAMCHIANGTA, D.; DHAKAL, S. Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok Metropolitan Area in Thailand. *Journal of Urban Management*, v. 9, n. 4, p. 383–395, 2020.
- KUANG, W. et al. Examining the impacts of urbanization on surface radiation using Landsat imagery. *GIScience and Remote Sensing*, v. 56, n. 3, p. 462–484, 2019.
- MA, J. et al. *Journal of Science of the Total Environment*, p. 150562, 2021.
- MARÇAL, N. A. et al. Analysis of the environmental thermal comfort conditions in public squares in the semiarid region of northeastern Brazil. *Building and Environment*, v. 152, n. January, p. 145–159, 2019.
- MENDES, T. G. DE L. et al. Journal of Environmental Scientific approach on heat islands in Recife-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 01, p. 1–13, 2019.
- OKE, T. R. The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. *Wind Climate in Cities*, p. 81–107, 1995.
- PRÜSS-ÜSTÜN, Annette et al. Prevenção de doenças por meio de ambientes saudáveis: uma avaliação global da carga de doenças dos riscos ambientais. *Organização Mundial da Saúde*, 2016.
- ROUSE, J. W., HAAS; R. H., SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317, 1973.
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, 2020.
- THOM, Earl Crabill. O índice de desconforto. *Weatherwise*, v. 12, n. 2, pág. 57-61, 1959.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Complete urban surface temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, v. 36, n. 9, p. 1117–1132, 1997.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.
- WULDER, M. A. et al. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, v. 280, n. July, p. 113195, 2022
- ZHAO, L. et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, v. 511, n. 7508, p. 216–219, 2014

Entre em contato

PARA PERGUNTAS E SUGESTÕES

E-MAIL

mirelajpa@gmail.com

TELEFONE

(83) 99624-5241

PPGECAM | Eng^a Mirela Oliveira
Medeiros