

ANÁLISE TEMPORAL DO MICROCLIMA EM ÁREAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ARBORIZAÇÃO EM BELÉM – PA

TEMPORAL ANALYSIS OF THE MICROCLIMATE IN AREAS WITH DIFFERENT LEVELS OF TREE COVER IN BELÉM, PARÁ

ANÁLISIS TEMPORAL DEL MICROCLIMA EN ZONAS CON DIFERENTES NIVELES DE ARBOLADO EN BELÉM (PA)

Nathalia Ingrid Gomes Machado¹, Seidel Ferreira dos Santos², Claudio Maciel de Souza Coutinho³, Josyane Brasil da Silva⁴, Elen Vanessa Costa da Silva⁵, Erik Cuellar Coutinho⁶, Luiza Santos Bentes⁷, Antonio Bentes da Silva Filho⁸, Ana Julia Soares da Silva Barbosa⁹, Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez¹⁰, Iedo Souza Santos¹¹, Eliane de Castro Coutinho¹²

DOI: 10.54899/dcs.v23i94.6777

Recibido: 24/07/2026 | **Aceptado:** 18/08/2026 | **Publicación en línea:** 25/08/2026.

RESUMO

Nos últimos anos, o crescimento urbano tem desencadeado um desafio significativo: o surgimento de ilhas de calor. Este fenômeno está diretamente relacionado à extensa impermeabilização do solo e à escassez de espaços verdes nas áreas urbanas. Uma abordagem eficaz para estudar o microclima é o uso de sensoriamento remoto, uma técnica cada vez mais empregada em pesquisas ambientais. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise temporal do microclima em áreas com diferentes níveis de arborização na cidade de Belém- Pará. Para alcançar esse propósito, foram elaboradas estimativas da Temperatura da Superfície

¹ Mestranda em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: nathaliaingrid@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8701-9868>

² Pós-doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: seidelsantos@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6049-1188>

³ Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: claudio.coutinho@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9623-8897>

⁴ Pós-doutora em Saúde Animal na Amazônia pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: josybrasil@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2382-2552>

⁵ Pós-doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: elen.vanessa@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4754-0915>

⁶ Mestrando em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: erik.coutinho@uepa.aluno.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6176-5879>

⁷ MBA em Gestão de Escritórios de Arquitetura e Design de Interiores, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: luizabentes2000@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3266-1636>

⁸ Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: bentesbm@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4179-1622>

⁹ Doutora em Engenharia dos Recursos Naturais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: anajulia.barbosa@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8701-9868>

¹⁰ Doutora em Geociências pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: lucyanegutierrez@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4199-1977>

¹¹ Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: iedo@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2563-3245>

¹² Pós-doutora em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: elianecoutinho@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3152-7828>

Terrestre (TST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizando dados das bandas vermelha e infravermelha térmica do satélite Landsat-8 e Landsat-9. A obtenção dos mapas de NDVI e TST envolveu a aplicação de técnicas matemáticas de combinação de refletância em diversas faixas, utilizadas para calibração e correção atmosférica. O processamento das imagens digitais foi realizado no software Qgis 3.22. Os resultados indicaram que as ilhas de calor surgiram principalmente no centro urbano, onde as temperaturas atingiram valores maiores que 42°C. A elevada densidade populacional e a escassez de vegetação contribuíram para a capacidade do centro urbano em gerar desconforto térmico, resultante das altas temperaturas e baixa umidade do ar nessas áreas.

Palavras chaves: Clima. Ilhas de Calor. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

In recent years, urban growth has posed a significant challenge: the emergence of heat islands. This characteristic is directly related to the extensive soil sealing and the scarcity of green spaces in urban areas. An effective approach to studying microclimate is the use of remote sensing, a technique increasingly used in environmental research. This study aimed to carry out a temporal analysis of the microclimate in areas with different levels of afforestation in the city of Belém-Pará. To achieve this purpose, estimates of the Earth's Surface Temperature (TST) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were prepared using data from the red and thermal infrared bands of the Landsat-8 and Landsat-9 satellite. Obtaining the NDVI and TST maps involved the application of mathematical techniques for combining reflectance in different ranges, used for specific restriction and correction. Digital image processing was carried out using Qgis 3.22 software. The results indicated that heat islands appeared mainly in the urban center, where temperatures reached values greater than 42°C. The high population density and scarcity of development contribute to the urban center's ability to generate thermal discomfort, resulting in high temperatures and low humidity in these areas.

Keywords: Climate. Heat Islands. Remote Sensing.

RESUMEN

En los últimos años, el crecimiento urbano ha planteado un reto importante: la aparición de islas de calor. Este fenómeno está directamente relacionado con la impermeabilización generalizada del suelo y la escasez de espacios verdes en las zonas urbanas. Un enfoque eficaz para estudiar el microclima es el uso de la teledetección, una técnica cada vez más utilizada en la investigación medioambiental. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis temporal del microclima en zonas con diferentes niveles de arbolado en la ciudad de Belém, en el estado de Pará. Para alcanzar este objetivo, se elaboraron estimaciones de la temperatura de la superficie terrestre (TST) y del índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI), utilizando datos de las bandas roja e infrarroja térmica de los satélites Landsat-8 y Landsat-9. La obtención de los mapas de NDVI y TST implicó la aplicación de técnicas matemáticas de combinación de reflectancia en diversas bandas, utilizadas para la calibración y la corrección atmosférica. El procesamiento de las imágenes digitales se llevó a cabo con el software QGIS 3.22. Los resultados indicaron que las islas de calor surgieron principalmente en el centro urbano, donde las temperaturas alcanzaron valores superiores a los 42 °C. La elevada densidad de población y la escasa vegetación

contribuyeron a que el centro urbano generara incomodidad térmica, como consecuencia de las altas temperaturas y la baja humedad del aire en esas zonas.

Palabras clave: Clima. Islas de Calor. Teledetección.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado e a expansão das cidades modernas, juntamente com a redução das áreas verdes e a intensificação de técnicas de produção na construção civil, impactam na vida urbana e natural. Isso inclui danos consideráveis ao microclima urbano, com ações diretas e indiretas decorrentes da emissão de poluentes, aumento da temperatura ambiente e alterações na atmosfera (De Campos, 2021, p. 220).

A presente pesquisa aborda o 13º objetivo dos 17 objetivos da ONU para o desenvolvimento sustentável no Brasil "Ação contra a mudança global do clima" apresentada na Agenda 2030. Estes objetivos preveem medidas para combater as mudanças climáticas e seus impactos. De acordo com a Agenda 2030, o objetivo 13 classifica a mudança climática como um evento transnacional que afeta não só a vida da população, mas também a economia nacional (Artaxo, 2020, p. 57).

A Agenda 2030 destaca que o objetivo 13º é de extrema importância, pois até o final do século XXI, a temperatura da Terra pode aumentar mais de 3°C. Isso enfatiza a importância de combater as mudanças climáticas (Espíndola; Ribeiro, 2020, p. 367).

As Ilhas de Calor Urbanas apresentam problemas relacionado a saúde humana e conforto térmico, além de reduzir a qualidade do ar devido à emissão de poluentes nos centros urbanos e ao aumento das temperaturas. Isso resulta em uma menor ventilação natural das habitações, aumentando a dependência de sistemas artificiais de condicionamento e elevando os gastos energéticos (Melo, 2020, p.106).

Observa-se atualmente evidências claras do aumento da temperatura nos centros urbanos e dos efeitos negativos que esse aquecimento causa, como períodos de seca e o fenômeno da ilha de calor urbano. Com isso, é necessário compreender melhor o microclima urbano e sua relação com a arborização, devido aos efeitos que o aquecimento causa no ambiente e no conforto térmico

humano (Melo, 2020, p. 109).

O crescimento urbano desordenado, com a interferência no crescimento da infraestrutura viária e o adensamento construtivo, tem contribuído para a redução de áreas permeáveis e diminuição dos espaços arborizados de uso público. Esses prejuízos ao meio construído e natural geram a alteração do microclima local e a minimização do conforto térmico (Mendes, 2020, p. 351).

Nas últimas duas décadas, os desafios decorrentes da urbanização do século XX - tais como migração para as cidades, fragmentação e segregação espacial - têm sido reinterpretados por causa das mudanças climáticas globais e da necessidade de estabelecer novos planejamentos urbanos, isso se deve ao fato de que as cidades estão sofrendo os impactos das mudanças climáticas. Nesse contexto, torna-se necessário adotar boas práticas para enfrentar os desafios entre cidade e meio ambiente. (Espíndola; Ribeiro, 2020, p. 369).

O século XXI tem sido caracterizado como o século das cidades urbanizadas, e o Brasil faz parte de uma das regiões mais urbanizadas do mundo - a América Latina, onde mais de 80% da população vive em áreas urbanas. Essa urbanização intensa tem impactado significativamente a configuração socioeconômica e ambiental da região, trazendo desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida nas cidades (Mendes, 2020, p. 351).

A urbanização tem causado mudanças na superfície terrestre, como a substituição de áreas naturais por construções e vias urbanas, bem como a redução da cobertura vegetal nas cidades. Essas transformações geraram alterações no microclima, tais como modificações no fluxo de vento, diminuição da umidade relativa, redução da capacidade de infiltração da água das chuvas e aumento da irradiação de calor para a atmosfera (Melo, 2020, p. 108).

Ao longo das últimas décadas, a cidade de Belém vem apresentando um intenso crescimento urbano, marcado pela expansão vertical e horizontal desordenada. Esse processo tem levado à rápida substituição das superfícies naturais por construções e outras formas de superfícies artificiais, sem a avaliação de sua viabilidade ambiental, essas transformações descontroladas do espaço urbano torna-se uma questão crítica para a cidade (Costa, 2010, p. 977).

Diante da busca pela melhoria da qualidade de vida da população e por soluções que reparam os impactos gerados, este estudo justifica-se pelo cenário atual de crescimento constante das cidades sem a arborização correta e preservação dos espaços arborizados, logo, a importância socioambiental desses espaços está diretamente relacionada ao conforto térmico nas cidades (De

Campos, 2021, p. 224).

Diante o exposto, esse estudo torna-se fundamental e de suma importância, visto que muito se tem falado sobre microclima urbano, entretanto, sem evidenciar de fato os benefícios da arborização com espécies nativas nas cidades para a qualidade térmica de contextos urbanos adensados e que sofrem com as altas temperaturas.

Sendo assim, o objetivo geral desse trabalho é realizar uma análise temporal do microclima em áreas com diferentes níveis de arborização na cidade de Belém- Pará, no período de 2003, 2013 e 2023, e como objetivos específicos tem-se: (a) Discutir a correlação entre a temperatura superficial e vegetação entre o período de 2003,2013,2023; (b) Identificar a existência de fenômenos de variabilidade térmica durante o período monitorado; (c) Propor espécies vegetais que poderão contribuir para a ambientação das áreas, conforme necessário.

MATERIAIS E MÉTODOS

Histórico do Clima Urbano

Dentre os principais fatores morfológicos que dão origem a formação do clima urbano, destacam-se: a localização da cidade na região, o tamanho das áreas urbanas, a densidade de construções, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e largura das ruas, a subdivisão dos lotes, a presença de parques e áreas verdes, além de detalhes específicos no desenho das edificações. Todos esses elementos combinados são responsáveis para o desenvolvimento de microclimas urbanos únicos, que podem ter liderança importante para a saúde e bem-estar da população, tendo uma abordagem cuidadosa e consciente no planejamento e desenvolvimento urbano (Givoni,1998, p. 315).

É verídico que o clima de uma região está diretamente ligado ao tipo de cobertura de sua superfície, já que essa cobertura desempenha um papel crucial na regulação da quantidade de energia disponível para os processos de aquecimento da atmosfera e evapotranspiração. (Pavão *et al.*, 2015, p. 176).

Segundo (Duarte, 2015, p. 85) o crescimento urbano desordenado tem como consequência a diminuição das áreas vegetadas e dificulta a introdução de novas espécies, pois grande parte do solo é compactado, limitando o espaço para as raízes das plantas e também devido à gestão motivada da vegetação arbórea. A redução da vegetação e de solos permeáveis

leva a um aumento natural do fluxo de calor sensível em detrimento do calor latente, o que agrava o efeito das ilhas de calor urbanas. Esses processos podem causar efeitos negativos na qualidade do ar, na saúde pública e no bem-estar dos habitantes das cidades, além de contribuir para a degradação do meio ambiente.

Ilhas de Calor

A ilha de calor é uma característica extremamente reconhecida que desempenha um papel significativo na definição do clima urbano (Rizwan *et al.*, 2008, p. 124). Isto refere-se ao aumento das temperaturas em áreas urbanas em comparação com as áreas circundantes rurais devido à absorção e retenção de calor pelos materiais urbanos e à atividade humana intensa. Para (Oke, 1982, p. 18), as ilhas de calor representam uma influência local influenciada pelas características da morfologia urbana. Isso inclui a diminuição da taxa de albedo, o aumento da inércia térmica, a presença limitada de áreas verdes e a elevada densidade construtiva.

O termo em pauta teve sua origem na comparação entre as curvas de nível presentes nas ilhas costeiras e o padrão de distribuição de calor em grandes áreas urbanas. Nas cidades, as curvas de nível se afastam do centro, criando marcos topográficos que formam curvas fechadas (Araújo, 201, p. 34). Essa analogia entre o relevo costeiro e a topografia urbana proporcionou a concepção do termo em discussão, destacando as características distintivas das paisagens térmicas em ambientes urbanos extensos.

As mudanças na paisagem urbana têm direções diretas no conforto térmico das cidades, sendo caracterizado pela elevação da temperatura em áreas urbanizadas em relação às suas bordas, esse fenômeno é conhecido como Ilhas de Calor (Leal, 2012, p. 142). Segundo (Salvati; Coch; Cecere, 2016, p. 723) os efeitos das ilhas de calor urbano são agravados pelas mudanças climáticas, representando uma ameaça significativa à saúde e ao bem-estar dos moradores das áreas urbanas.

A ocorrência da ilha de calor é resultado do crescimento das áreas urbanas e da diminuição das zonas verdes nas cidades. Essas mudanças alteraram o equilíbrio energético, ampliando a emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas. Essas manifestações estão intrinsecamente ligadas às transformações na paisagem urbana, exacerbando os efeitos térmicos devido à menor presença de áreas naturais e ao aumento da expansão urbana. (Pereira, 2018, p. 62).

Arborização Urbana e Melhoria Climática

A presença de elementos distintos nos núcleos urbanos, como pavimentos impermeáveis e construções, combinados com a urbanização caótica, tem prejudicado a qualidade de vida dos habitantes das cidades (Cadorin, 2011, p. 4). Nesse contexto, a presença de árvores tem um impacto significativo no potencial ecológico, recreativo, produtivo, estético e paisagístico de uma região, além de exercer uma influência considerável sobre as condições ambientais urbanas. As árvores também são responsáveis por fatores ambientais, biológicos e socioeconômicos. (Da Silva *et al*, 2019, p. 234).

Além de melhorar o microclima e o conforto térmico, a vegetação traz uma série de outros benefícios ambientais, sociais e psicológicos. Entre os benefícios ambientais, destacam-se a capacidade de interceptar a chuva e reduzir o volume de escoamento superficial, o que contribui para o ciclo hidrológico e a redistribuição da umidade. (McPherson; Simpson, 2002, p. 68). Além disso, a vegetação traz vantagens competitivas, como a diminuição do consumo de energia para resfriar ambientes construídos. (Pandit; Laband, 2010, p. 1327).

Dessa forma, o planejamento urbano e a arborização de ruas são medidas eficazes para melhorar o microclima em áreas urbanizadas, especialmente aquelas mais apoiadas por seus impactos. Isso também ajuda a maximizar os serviços ecossistêmicos oferecidos pelas florestas urbanas. (Leal, 2012, p. 148).

Espécies Nativas e seus Benefícios

Segundo (Diefenbac; Viero, 2019, p. 9) as árvores nativas são aquelas que ocorrem naturalmente em uma região específica. São espécies que evoluíram e se desenvolveram em um determinado ecossistema e, portanto, são essenciais para o equilíbrio ambiental dessas áreas. As espécies nativas do bioma local estão adaptadas às condições de clima e solo, podendo ser mais resistentes a pragas e doenças, isso contribui para a preservação do patrimônio genético e da biodiversidade dos ecossistemas. As espécies nativas apresentam diversas vantagens em relação às exóticas, como a adaptabilidade garantida ao clima e solo, um melhor desenvolvimento metabólico e maiores possibilidades de produção de flores e frutos saudáveis. Além disso, elas fornecem alimento para animais nativos, conservando a fauna local, e promovem a exclusividade da espécie, evitando sua extinção.

As espécies nativas também impedem o aumento de espécies invasoras exóticas e as doenças e pragas que podem ser causadas por elas. É consenso que as espécies nativas locais atraem turistas que buscam características únicas das cidades, com isso, aumentando a geração de renda e o desenvolvimento econômico, cultural e social. Isso cria uma identidade própria para a cidade, diferenciando-a de locais sem características distintas (Cecchetto *et al.*, 2014, p. 16).

A Importância do Sensoriamento Remoto nos Estudos Climáticos

Conforme (Silva, 2001, p. 27), o objetivo principal do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é fornecer recursos para facilitar a identificação e transmissão de informações contidas nas imagens, a fim de permitir sua interpretação posterior. Para atingir esse objetivo, são utilizados sistemas de computação especializados em atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. Como resultado desse processo, outras imagens são produzidas, já contendo informações específicas, extraídas e realizadas a partir das imagens originais.

De acordo com (Coltri, 2006, p. 5134), a superfície terrestre recebe radiação eletromagnética proveniente do Sol, e parte dessa energia é refletida ou observada, dependendo da composição, cor, forma e propriedades do alvo. Satélites com sensores de infravermelho termal medem a radiação interna pelo topo da atmosfera, que pode ser transmitida em temperatura aparente da superfície terrestre.

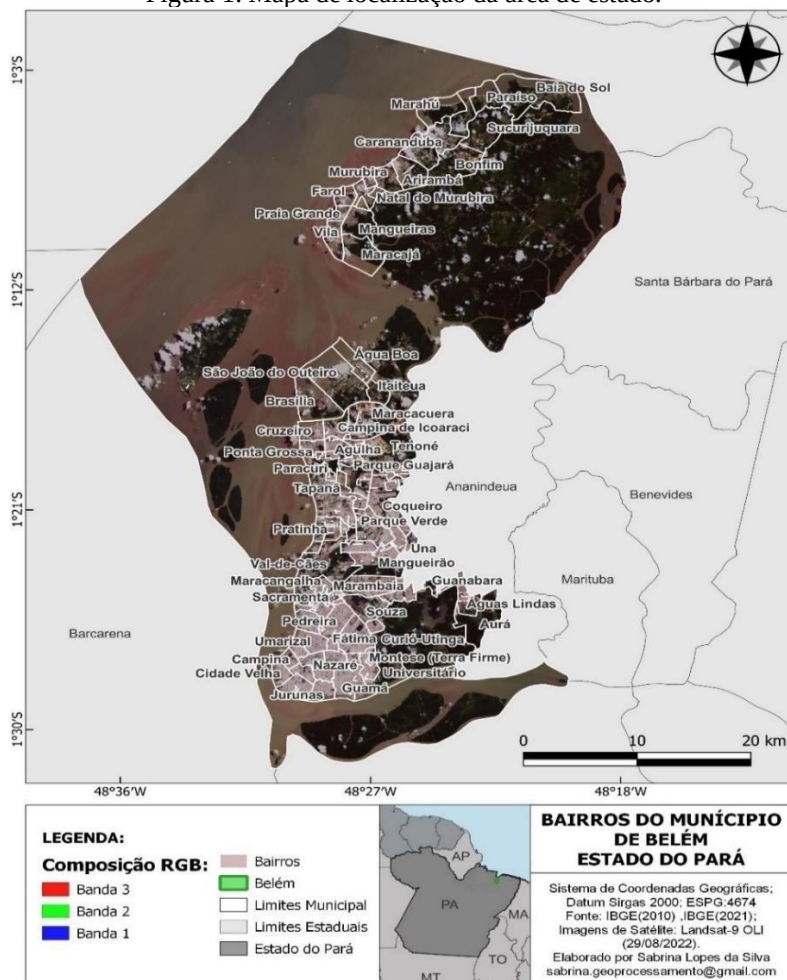
A temperatura da superfície é suportada pelas propriedades termodinâmicas dos materiais presentes nas cidades e pela radiação que eles absorvem e refletem (Weng, 2009, p. 339). Pode-se compreender que a refletividade da superfície, também conhecida como albedo, está relacionada com a cobertura terrestre. Assim, é evidente a forte relação entre a temperatura superficial, a vegetação urbana e o uso e a cobertura do solo.

Descrição da Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Belém-Pará com latitude de 1°27'22"S, longitude de 48°29'03"O e altitude de 4 m. A área urbana da cidade de Belém é composta por 48 bairros (Belém, 2020). Segundo o IBGE a população da capital paraense foi estimada em 1.506.420 em 2021 (IBGE, 2020). A cidade apresenta chuvas regulares com duas estações

definidas: estação chuvosa (dezembro a maio) e a estação menos chuvosa (junho a novembro), com precipitação média anual de 3.158 mm, maior que a média nacional que é de 1.760 mm (Belém, 2020). A Figura 1 mostra a localização da cidade de Belém, e seus respectivos bairros.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autores, 2023.

Procedimentos Metodológicos

Foi realizado o mapeamento espacial das imagens de satélite e elaborado uma análise temporal no período de 20 anos, para os dias dos respectivos anos (2003, 2013, 2023).

Para o ano de 2003 foram utilizadas as imagens do Landsat-5 sensor TM do mês agosto. Já para os anos de 2013 e 2023 foram usadas imagens do Landsat-8 e Landsat-9, sensores OLI e TIRS, dos meses de julho e agosto, respectivamente. Todas as imagens foram obtidas do United States Geological Survey (USGS) – órbita 223 e ponto 61. (USGS, 2014). Para obter a

temperatura de superfície foi utilizada a banda 6 do Landsat-5 (sensor TM) e banda 10 do Landsat-8 e Landsat-9 (sensor TIRS) as quais apresentam sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos. O processamento das imagens digitais foi realizado no software Qgis 3.22.

A conversão de números digitais para radiância espectral no topo da atmosfera (LTOA) das bandas foi obtida pela Equação 1. (Barsi, 2003).

$$LTOA = MB \cdot Qcal + AB \quad (1)$$

onde,

LTOA é a radiância espectral ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$),

MB é o fator multiplicativo da radiância para a banda 6 do Landsat-5 (0.055375), banda 10 do Landsat-8 (0,00033420) ou banda 10 do Landsat-9 (0,00038000),

Qcal é o número digital referente a cada pixel da banda e

AB é um fator aditivo da radiância para a banda 6 (1.18243) ou 10 (0,10000), para o sensor TM e TIRS, respectivamente.

O cálculo da radiância de superfície (LT) foi obtido pela Equação 2. (Barsi, 2003).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - (1 - \epsilon)L_d}{r\epsilon} \quad (2)$$

onde,

LT é a radiância corrigida a ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$),

LTOA é a Radiância radiância espectral no topo da atmosfera ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$),

L_u é a Transmissividade da atmosfera, ϵ é a Emissividade da superfície, L_u é a Radiância emitida pela superfície ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) e L_d é a Radiância recebida pela superfície ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$).

Os dados de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície foram obtidos do site da NASA (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>) em função das coordenadas geográficas, data e hora da obtenção das imagens Landsat-5, 8 e 9, Tabela 1. (Nasa, 2014)

Tabela 1. Transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície na hora de aquisição das imagens.

Coord.1 (Lat/Long)	ANO	Data2 (Ano/mês/dia)	Hora3 (GMT)	Satélite		Lu	Ld
-1.25465/-48.49438	2003	2003-08-01	12:59	Lansat 5	0.43	4.50	6.48
-1.25465/-48.49438	2013	2013-07-27	13:25	Lansat 8	0.54	3.85	5.77
-1.25465/-48.49438	2023	2023-08-29	13:23	Lansat 9	0.60	3.44	5.26

Fonte: Autores, 2023.

A emissividade (ε) foi estimada pela Equação 3, sendo P_v a proporção de vegetação. (Nichol, 1994).

$$\varepsilon = 0,004 \cdot P_v + 0,986 \quad (3)$$

onde,

P_v é a proporção de vegetação.

A proporção de vegetação (P_v) foi estimada pela equação 4, proposto por (Rouse, Haas, Schell, Deering, 1973)

$$P_v = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad (4)$$

onde,

NDVI, (NDVI_{max}) e (NDVI_{min}) é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e seus extremos mínimos e máximos, obtidos na área de estudo.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada NDVI foi obtido de acordo com a equação Equação 5. (Rouse, Haas, Schell, Deering, 1973)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_V}{\rho_{NIR} + \rho_V} \quad (5)$$

onde,

ρ_{NIR} são as refletâncias nas bandas do infravermelho próximo (B4 ou B5) e

ρ_V são as refletâncias nas bandas do vermelho (B3 ou B4) respectivos para cada sensor TM e OLI (Landsat 5, 8 e 9).

A temperatura de Superfície Terrestre (TST) foi estimada pela Equação 6. (Barsi, 2003).

$$TST (^{\circ}C) = \left[\frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_T} \right) + 1} \right] - 273 \quad (6)$$

onde,

TST (°C) é a temperatura de Superfície terrestre,

K2 (1260.56, 1321.0789 e 1329.2405) e K1 (607.76, 774.8853 e 799.0284) são

constantes termais das bandas 6 e 10 dos sensores TM e TIRS, respectivamente,

L_T é a radiância espectral no topo da atmosfera medido em W/m².sr.adµm, adquirido na etapa anterior (Equação 1).

Eventos de El Niño e La Niña

A Oscilação Sul-El Niño (ENOS) é um fenômeno intrincado que abrange uma ampla variedade de padrões, amplitudes e evoluções temporais distintas (Capotondi *et al.*, 2015, p. 927).

A complexidade do ENSO se manifesta, em parte, na maneira como um evento transita para outro. Um episódio El Niño (La Niña) pode ser antecedido por um episódio La Niña (El Niño), dando origem a uma transição cíclica. Alternativamente, pode resultar de um evento El Niño (La Niña) precedido por um período de La Niña (El Niño), formando uma transição plurianual. Também é possível que uma condição neutra (não- ENSO) anteceda um evento El Niño (La Niña) para criar uma transição episódica (Yu & Fang, 2017, p. 12). A Tabela 02 apresenta os anos de ocorrência de El Niño e La Niña, para subsidiar as comparações nessa pesquisa

Tabela 2. Ocorrência do El Niño e da La Niña

<u>El Niño</u>	<u>La Niña</u>
2002-2003	1999-2000
2006-2007	2007-2008
2009-2010	2010-2011
<u>2015-2016</u>	<u>2017-2018</u>

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration, (2023).

Fenômeno Ilha de Calor

A fim de compreender o comportamento da temperatura de superfície na cidade de Belém, as ilhas de calor serão identificadas, onde apresentarem as maiores temperaturas e manchas vermelhas no mapa (figura 2), por conta do adensamento demográfico e construções. SOUZA (2004) afirma que as cidades mal planejadas sofrem graves problemas com o fenômeno denominado ilha de calor, que ocorre em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes onde a temperatura é mais elevada que áreas vizinhas não urbanizadas.

$$TST (^{\circ}C) = \left[\frac{K2}{\text{---}} \right] - 273 \quad (7)$$

As propriedades cruciais que afetam a formação da ilha de calor são a capacidade térmica e a condutividade térmica dos materiais. Materiais de construção diversos, como aço e pedra, apresentam uma capacidade térmica superior em comparação aos materiais naturais encontrados em áreas rurais, como solo exposto e areia. Como resultado, as zonas urbanas têm a capacidade de armazenar de forma mais eficiente a energia solar, na forma de calor, em suas infraestruturas, podendo absorver e reter até o dobro do calor em comparação com as áreas rurais adjacentes. (Christen; Vogt, 2004, p.1398).

RESULTADOS E DISCURSÕES

Análise dos Resultados da Temperatura de Superfície

Foi observada uma variação elevada na temperatura ao longo dos anos (2003, 2013, 2023), visto que essa temperatura variou entre 26°C a 42°C. Os menores valores obtidos pelo TST (Figura 2) foi de 26°C a 29°C, que são os valores que correspondem aos corpos hídricos. Enquanto os valores obtidos pelo TST que foram maiores que 42°C, são evidenciadas em áreas de solo exposto e na área urbana da cidade no ano de 2023.

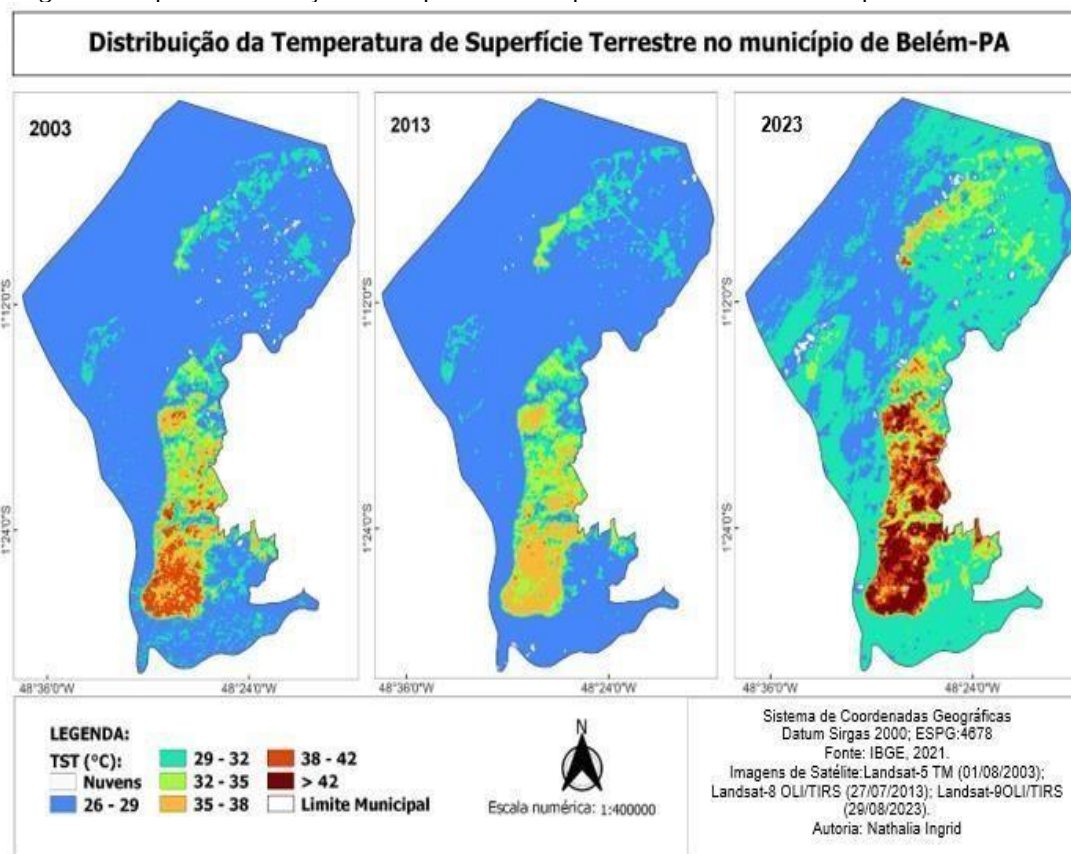
Na figura 2, a oscilação elevada nas temperaturas de superfície ao longo dos anos está intrinsecamente ligada às respostas de radiação provenientes de diferentes materiais e usos do solo na região. Um exemplo notável é observado no município de Belém, onde transformações

significativas ocorreram, desde a remoção dos terrenos para a criação de vias para facilitar o transporte, até o aterramento de partes do rio Guamá para as construções. Essas mudanças refletem-se em valores extremos, tanto máximos quanto mínimos, nas temperaturas registradas. Segundo Feitosa e Wilkinson (2015, p. 60), a preservação da cobertura vegetal emerge como um fator crucial para fomentar conforto e qualidade de vida, especialmente em áreas urbanas, onde as edificações tendem a impactar as paisagens, alterando o clima da cidade.

No ano de 2003, foi possível observar que a temperatura variou de 32°C a 38°C, e os maiores valores obtidos pelo TST são evidenciados em áreas de solo exposto e na área urbana da cidade. O contínuo desenvolvimento da construção civil, o crescimento urbano da cidade e o aumento expressivo da população tornam o município suscetível à formação de ilhas de calor urbano (Barboza, 2020, p. 14).

No ano de 2013 a temperatura diminuiu comparada aos outros anos, isso é explicado por ser um ano influenciado pelo evento climático La Niña (tabela 02), o qual afeta diretamente a distribuição da precipitação na região da Amazônia oriental, pois a variação dos eventos La Niña e El Niño resultam em alterações na circulação atmosférica, o que, por sua vez, provoca fortes chuvas, inundações e mudanças climáticas globais devido ao aumento de eventos extremos e à alteração na frequência das chuvas (Pedreira, 2020, p. 3). Diante disso, registra-se excesso de chuvas com transbordamento dos rios e, conseqüentemente, diminuição da temperatura.

Figura 2. Mapa da distribuição da temperatura de superfície terrestre no município de Belém – PA.



Fonte: Autores, 2023.

A tabela 02 mostra a ocorrência do El Niño e da La Niña, logo, o acontecimento da La Niña nos anos de 2010-2011 influencia na baixa temperatura mostrada na figura 2, no ano de 2013. De acordo com Moreira *et al.* (2018), as elevadas taxas de precipitação durante o fenômeno La Niña são atribuídas às tendências de precipitação que ele manifesta acima da média. Isso contrasta com os períodos de El Niño, nos quais pode ocorrer uma redução significativa, entre 60% e 65%, no índice de pluviosidade.

Na figura 4, no ano de 2023, é possível observar o aumento de solo exposto, um dos fatores essenciais para o aumento dessas áreas foi o processo de verticalização e urbanização em determinados bairros da sede municipal, como Marco, Umarizal e Reduto, de acordo com (Cardoso *et al*, 2020, p. 8) essa manifestação de expansão urbana caracteriza-se como uma periferização improvisada das cidades, originada por processos incrementais que envolvem o fracionamento de antigas áreas rurais, ocupação informal e até mesmo a implantação de conjuntos habitacionais em regiões distantes das áreas urbanas consolidadas. Esse crescimento ocorre sem consideração às características ambientais e ecossistêmicas locais.

No ano de 2023, ainda na figura 2, foi possível observar que a cidade de Belém apresentou temperaturas absolutas acima de 38°C, a elevação dessa temperatura, pode ser atribuída, em grande parte, a processos relacionados à urbanização acelerada e desordenada e à consequente retirada de vegetação para dar lugar às construções, concordando com os estudos de Bezerra (2018) que afirma que o rápido crescimento urbano e as transformações na paisagem têm impactos diretos no clima local, manifestando-se por meio de fenômenos conhecidos como ilhas de calor urbanas.

As altas temperaturas registradas em 2023 estão associadas às zonas urbanizadas com baixos índices de vegetação normalizada, mostrado na Figura 4, resultado que vai ao encontro com os de Santos (2019), pois observou que à medida que a proporção de cobertura vegetal diminui, há uma tendência de aumento na temperatura da superfície. Conforme destacado pelo autor, esse resultado impacta diretamente a qualidade térmica da cidade, especialmente em áreas onde a vegetação é mais escassa.

Foi possível detectar, no ano de 2023, através da Figura 2, a formação de uma ilha de calor no distrito da Ilha de Mosqueiro, com uma diferença de temperatura com a vizinhança entre 6 e 10°C, estando assim associada a fatores específicos relacionados à urbanização e à modificação do ambiente natural, concordando com os estudos realizados por Jesus (2023, p. 12), observando que a construção da Ponte Sebastião de Oliveira facilitou significativamente o acesso à ilha, resultando em uma maior acessibilidade para um contingente populacional ampliado. Essa mudança promoveu um aumento no processo de ocupação da área.

Observa-se na figura 2 que, à medida que a área urbana se expande, o gradiente térmico também aumenta. Vale ressaltar que em áreas vegetadas, mesmo com vegetação secundária, a temperatura superficial é significativamente reduzida. Conforme Mahmoud (2011), a influência das árvores no microclima ao longo do dia decorre da diminuição da incidência direta dos raios solares no solo, resultante do sombreamento proporcionado pela vegetação. Ele destaca que, entre 60% e 75% da energia solar recebida nas áreas arborizadas é utilizada nos processos fisiológicos das plantas. Dessa forma, enfatizando a importância da arborização para o conforto térmico

As áreas que apresentam o maior campo térmico de altas temperaturas englobam os bairros Jurunas, Nazaré, São Brás, Fátima e Pedreira, que se destacam como as áreas mais quentes da cidade, devido à escassez de vegetação. Em termos gerais, mais da metade (51,05%)

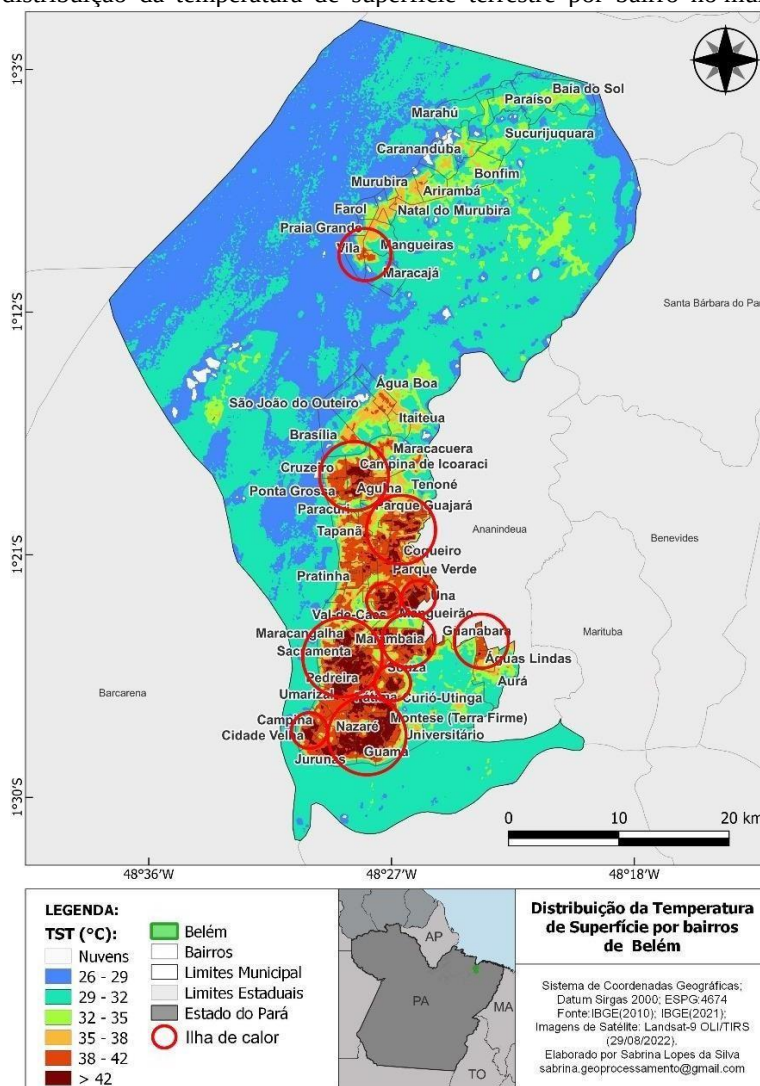
da população na área urbana não tem acesso a uma área verde com mais de 0,5 hectare a uma distância de 300 metros de suas residências (Brito, 2021, p. 51).

Ao analisar os dados do bairro Cúrio Utinga, onde está localizado o Parque Estadual do Utinga, foi possível observar que a temperatura varia de 32°C a 35°C. Logo, a existência de vegetação ao longo das vias, ruas e avenidas do bairro respalda as conclusões de Naeem (2018) sobre a importância de implementar o plantio de árvores como uma estratégia eficaz na redução do efeito de ilha de calor em grandes metrópoles. A presença de árvores contribui para evitar o aquecimento de materiais como asfalto e concreto, além de mitigar a liberação da radiação de onda longa acumulada durante a noite.

Ao observar a Figura 3, pode-se constatar a existência de ilhas de calor urbanas, representadas por tons vermelhos, que exibem temperaturas variando de 38°C a acima de 42°C, correlacionando-se diretamente com a presença de solo exposto por conta da urbanização descontrolada e, conseqüentemente, a retirada de vegetação. Estes pontos de ilhas de calor possuem índices de vegetação correspondentes a uma variação de 0,100 a 0,250 e, segundo Ferrini *et al.* (2020), é importante ressaltar que a existência de vegetação nas áreas urbanas é crucial para aprimorar a estrutura e dinâmica da paisagem urbana. Devido às suas características, contribui para a melhoria da qualidade de vida da população e das condições ambientais das cidades, concordando com os resultados encontrados neste estudo.

A disparidade de temperaturas constatada, pode ser atribuída à urbanização do local, evidenciada pela presença de asfalto, calçadas e telhados, que contribuem para um aumento significativo na refletividade da radiação eletromagnética.

Figura 3: Mapa da distribuição da temperatura de superfície terrestre por bairro no município de Belém – PA.



Fonte: Autores, 2023.

No que diz respeito ao posicionamento das espécies, Belém é uma cidade que experimenta temperaturas elevadas durante a maior parte do ano, tornando preferível a escolha de espécies arbóreas que proporcionem sombra generosa. Nesse contexto, o uso de espécies de palmeiras, por exemplo, não é apropriado, uma vez que não oferecem um sombreamento amplo, indo ao encontro dos estudos de (De carvalho *et al.*, 2019, p. 59).

Na figura 3, observa-se que as altas temperaturas na cidade estão relacionada com a falta de vegetação na área urbana de Belém, que está tomada pelas construções desordenadas, como mencionado anteriores, sendo assim, é valido destacar que, o bairro Cúrio-Utinga, não apresenta ilhas de calor, por conta da unidade de conservação Parque Estadual do Utinga, que abriga várias espécies florestais, destacando-se que, quando as áreas verdes contam com espécies nativas e

uma diversidade de plantas, o espaço se converte em corredores ecológicos, promovendo o desenvolvimento e a preservação da biodiversidade. Conforme Paiva *et al.*, (2022, p. 165), é recomendável o emprego de espécies nativas para reduzir os riscos de desequilíbrio ambiental, incentivando assim a minimização do uso de espécies exóticas.

Do ponto de vista ambiental e econômico, a arborização urbana e a existência de espaços verdes favorecem a maior absorção de água pelo solo, resultando na redução dos riscos de enchentes, erosão e assoreamento dos rios, reforçando a necessidade de arborização com espécies nativas no centro urbano de Belém, conforme mostra a Tabela 3, concordando com o estudo de Brito (2021, p. 22), que destaca que cidades com uma cobertura vegetal robusta têm probabilidade menor de enfrentar os impactos de chuvas torrenciais cada vez mais frequentes. Com isso, contribuem de forma positiva na absorção de água e regulação do clima no município de Belém, que apresenta alto índice pluviométrico durante o ano todo.

Tabela 3. Espécies nativas para arborização da cidade de Belém -PA

Nome popular	Nome científico	Origem
Pau-preto	<i>Cenostigma tocatinum</i>	Nativa
Goiaba de anta	<i>Bellucia grossularioides.</i>	Nativa
Ingá-canela	<i>Inga nobilis</i>	Nativa
Cacauí	<i>Theobroma speciosum</i>	Nativa
Pau-sangue	<i>Pterocarpus rohrii</i>	Nativa

Fonte: Autores, 2023.

Análise dos Resultados de NDVI

Na figura 4, os dados extraídos dos mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) revelam que à medida que nos aproximamos do valor 1, a densidade da cobertura vegetal aumenta. Por outro lado, valores negativos indicam ausência ou escassez de vegetação. Para corpos d'água e nuvens, o NDVI normalmente assume valores inferiores a 0. Quando o NDVI é inferior a 0,3, isso caracteriza áreas consideravelmente desertificadas, conforme relatado por Araujo *et al.*, (2021, p. 35) e tais índices são notados na área onde se encontra a maior urbanização de Belém.

longo do período de estudo apresentaram mudanças significativas. Apesar de ser visível uma extensa área de solo exposto, resultante principalmente de vários usos e ocupações do solo, é possível identificar alguns fragmentos significativos de vegetação.

Os valores mais baixos de NDVI (figura 4) identificados em Belém são valores menores que -0,200, indicando predominantemente áreas de água como a baía do Marajó, baía do Guajará,

rio Guamá e cobertura de nuvens. Já os valores na faixa de 0,100 a 0,250 são associados à presença de solo exposto, cobertura vegetal reduzida ou à área urbana do município, segundo (Santos, 2019, p.47), a vegetação desempenha um papel crucial na regulação térmica, pois as árvores e plantas transpiram água, um processo que ajuda a refrescar o ambiente. Quando a cobertura vegetal é reduzida, há menos transpiração, menos sombra e menos capacidade de regulação térmica, contribuindo para o aumento da temperatura local.

Os valores médios registrados nos anos de 2013 e 2023, estão situados na faixa de 0,550 a 0,750, indicando uma vegetação em estágio de crescimento. Por outro lado, valores a partir de 0,750 são associados a áreas com adensamento florestal mais significativo, como os parques ecológicos na cidade de Belém.

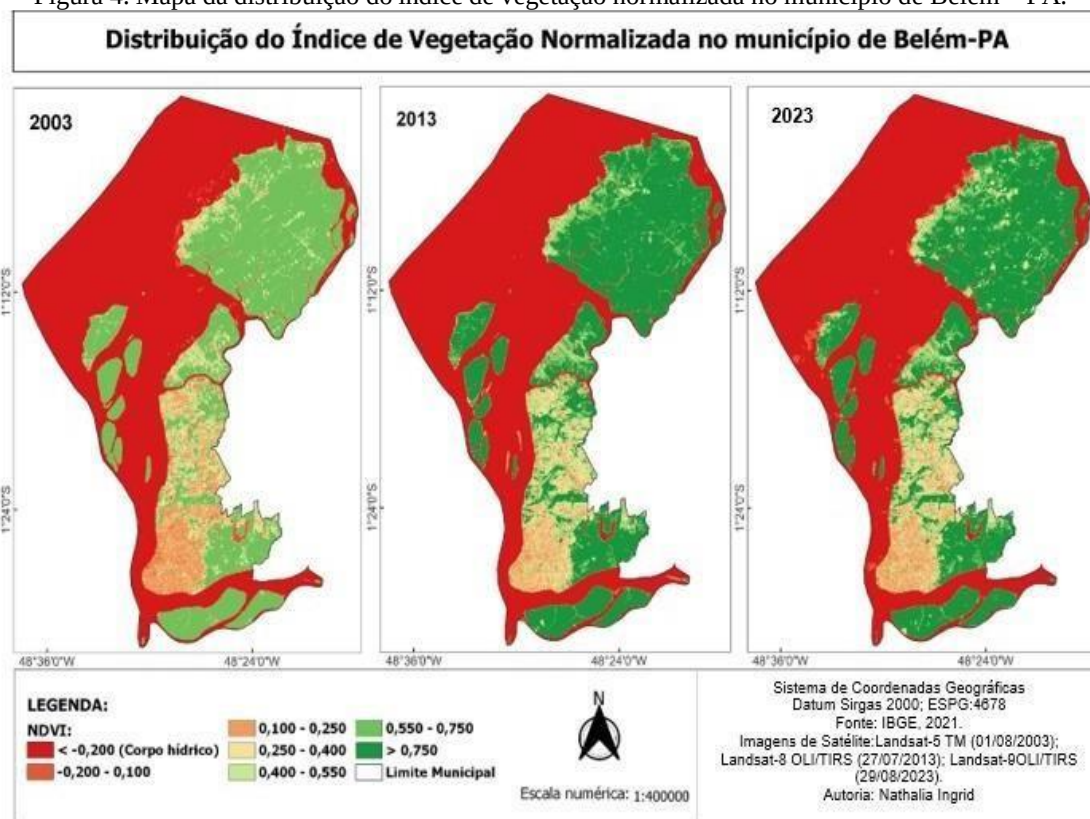
Ainda analisando a Figura 4, os resultados da aplicação da pesquisa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Região Metropolitana de Belém ao longo do período de estudo apresentaram mudanças significativas. Apesar de ser visível uma extensa área de solo exposto, resultante principalmente de vários usos e ocupações do solo, é possível identificar alguns fragmentos significativos de vegetação.

Ainda é possível examinar, na Figura 4, com maior minúcia os fragmentos de vegetação em Belém, com destaque para a Área de Proteção Ambiental (APA), que representa 32%, e o Parque Estadual do Utinga, que corresponde a 30% da cobertura verde. A instituição dessas áreas de conservação viabiliza a preservação do bioma Amazônico com sua rica biodiversidade e também resguarda os recursos hídricos cruciais para o abastecimento de uma parte significativa da região metropolitana de Belém. Conforme Neres., *et al*, (2021, p. 3) a vegetação, devido à sua baixa capacidade calorífica e condutividade térmica, bloqueia parcialmente a radiação solar. Ela absorve parte dessa radiação pelas folhas, refletindo apenas uma pequena quantidade. Isso resulta no aumento da taxa de evaporação e na permeabilidade ao vento, embora com uma redução em sua velocidade. Esses fatores combinados permitem a alteração das variações climáticas, criando um microclima ameno.

No setor central urbano, na figura 4, é evidente uma tendência de aumento na remoção de áreas verdes, com valores entre -0,200 a 0,100, indicando uma forte contribuição do centro urbano para o aumento da Temperatura de Superfície da Cidade (TSC). Nesse contexto, o balanço de energia é impactado, especialmente no que diz respeito ao fluxo de calor latente (mudança de estado físico), uma vez que a redução da evapotranspiração, decorrente da remoção de áreas verdes, intensifica o fluxo de calor sensível (aquecimento), conforme afirmado por Bezerra *et*

al., (2018, p. 814).

Figura 4. Mapa da distribuição do índice de vegetação normalizada no município de Belém – PA.



Fonte: Autores, 2023.

Ainda é possível observar na Figura 4, que, a Ilha de Mosqueiro mantém a maior extensão de vegetação no município de Belém, no entanto, a ilha já sofre diminuição da vegetação em alguns locais, quando comparada aos outros anos de 2003 e 2013, conforme afirmado pelos pesquisadores (Carneiro, 2020, p.334) a ilha tem sido impactada significativamente pelo avanço das construções urbanas, resultando na redução de sua cobertura vegetal. Esse fenômeno se justifica pela designação turística da ilha, dada sua extensa faixa de praias e pelo baixo valor imobiliário das terras. Além disso, a proximidade da Ilha de Mosqueiro ao centro urbano de Belém, como mencionado por (Parente *et al.*, 2021, p. 167) contribui para o processo de urbanização em curso na região.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que a Temperatura de

Superfície da Cidade (TSC) apresentou uma intensificação tanto na distribuição espacial quanto temporal, com valores crescentes em correlação com o desenvolvimento urbano da região. Nesse sentido, é possível estabelecer uma relação entre a vegetação no ambiente urbano e o aumento da TSC. As áreas de construções urbanas exibiram valores elevados, indicando uma intensificação na expansão urbana e, assim, validando a conexão direta entre o processo de urbanização em Belém e o aumento da TSC.

O presente trabalho confirma que as ilhas de calor se concentram em lugares com menor índice de vegetação e maior densidade de construções, logo a falta de arborização com espécies nativas influencia na formação de ilhas de calor nas áreas urbanas da cidade de Belém – Pará.

A utilização de espécies nativas em programas de arborização oferece diversos benefícios, contribuindo para a sustentabilidade e o equilíbrio dos ecossistemas urbanos. Como uma melhor adaptação ao clima local, preservação da biodiversidade, melhoria da qualidade do ar, resistência a pragas e doenças locais, manutenção de característica paisagística, entre outros. Ao considerar esses benefícios, a escolha de espécies nativas para programas de arborização não apenas contribui para a saúde e beleza das áreas urbanas, mas também promove a preservação do meio ambiente e o bem-estar da comunidade local.

Nessa perspectiva, é fundamental promover uma maior disseminação de plantas nativas do estuário amazônico em espaços públicos da cidade, visando enaltecer a biodiversidade local. Ademais, O planejamento urbano deve contemplar a incorporação de espaços verdes e estratégias bioclimáticas, pois essas medidas representam potenciais recursos para mitigar os efeitos das ilhas de calor nas áreas urbanas centrais.

REFERÊNCIAS

- ARTAXO, P. Mudanças climáticas e impactos globais. In: **Agenda 2030 – ONU**. 2020.
- ARAÚJO, R. **Ilhas de calor urbanas: fundamentos e aplicações**. 2011.
- BARBOZA, A. Expansão urbana e impactos climáticos em Belém. **Revista de Geografia**, v. 37, p. 14, 2020.
- BARSI, J. **Landsat thermal band calibration procedures**. NASA, 2003.
- BELÉM. **Plano Diretor Urbano**. Prefeitura Municipal de Belém, 2020.
- BEZERRA, M. Urbanização acelerada e impactos no clima local. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

- BRITO, A. Acesso à vegetação urbana e conforto térmico. **Revista Amazônica de Geografia**, v. 12, p. 51, 2021.
- CADORIN, T. Arborização urbana e qualidade ambiental. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 1, p. 4, 2011.
- CAPOTONDI, A.; WITTENBERG, A. T.; NEWMAN, M.; DI LORENZO, E.; YU, J.; BRACONNOT, P.; COLE, J.; DEWITTE, B.; GIESE, B.; GUILYARDI, E.; JIN, F.-F.; KARNAUSKAS, K.; KIRTMAN, B.; LEE, T.; SCHNEIDER, N.; XUE, Y.; YEH, S.-W. Understanding ENSO diversity. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, p. 927, 2015.
- CECCHETTO, C. T.; CHRISTMANN, S. S.; OLIVEIRA, T. D. Arborização urbana: importância e benefícios no planejamento ambiental das cidades. **Revista da Sociedade Botânica do Brasil**, v. 29, p. 16, 2014.
- CHRISTEN, A.; VOGT, R. Energy balance of urban surfaces. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 121, p. 1398, 2004.
- COLTRI, P. Radiação eletromagnética e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 19, p. 5134, 2006.
- COSTA, J. Crescimento urbano e impactos ambientais em Belém. **Revista de Desenvolvimento Regional**, v. 7, p. 977, 2010.
- DE CAMPOS, A. Microclima urbano e arborização. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 220-224, 2021.
- DIEFENBAC, P.; VIERO, A. Espécies nativas e sua importância ecológica. **Revista Floresta**, v. 49, p. 9, 2019.
- DUARTE, D. Urbanização e redução de áreas verdes. **Revista Paisagem e Ambiente**, v. 37, p. 85, 2015.
- DUARTE, T. E. P.; ANGEOLETTO, F. H. S.; SANTOS, J. W. M. C.; LEANDRO, D. S.; BOHRER, J. F. C.; VACCHIANO, M. C.; LEITE, L. B. O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades. **Desenvolvimento em Questão**, v. 15, n. 40, p. 175-203, 2017.
- ESPÍNDOLA, G.; RIBEIRO, A. Mudanças climáticas e planejamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, p. 367-369, 2020.
- FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. Cobertura vegetal e conforto térmico urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 60, 2015.
- FERRINI, F.; FINI, A.; MORI, J.; GORI, A. Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. **Sustainability**, v. 12, n. 10, 4247, 2020.
- GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Wiley, 1998.

IBGE. Censo Demográfico 2020. Brasília, 2020.

JESUS, L. Expansão urbana na Ilha de Mosqueiro. **Revista Amazônica de Geografia**, v. 15, p. 12, 2023.

LEAL, L. Ilhas de calor e morfologia urbana. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 19, p. 142-148, 2012.

MAHMOUD, H. Tree shading and microclimate regulation. **Urban Climate Journal**, 2011.

MOREIRA, S. F.; CONCEIÇÃO, C. S.; CRUZ, M. C. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. A influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**, v. 1, e2018014, 2018.

MELO, R. Ilhas de calor e conforto térmico urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 106-109, 2020.

MELO, R. Urbanização e alterações no microclima. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 108, 2020.

MENDES, A. Urbanização e impactos ambientais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, p. 351, 2020.

MCPHERSON, E.; SIMPSON, J. Urban vegetation and hydrological benefits. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 1, p. 68, 2002.

NICHOL, J. Emissivity estimation for urban surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, 1994.

NAEEM, S. Tree planting and heat island mitigation. **Environmental Management Journal**, 2018.

NASA. Atmospheric correction parameters. NASA/GSFC, 2014.

OKE, T. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 1982.

PANDIT, R.; LABAND, D. Energy savings from urban trees. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1327, 2010.

PEDREIRA, B. Eventos extremos e ENSO na Amazônia. **Revista Clima e Ambiente**, v. 15, p. 3, 2020.

PEREIRA, F. Ilhas de calor e urbanização. **Revista de Geografia**, v. 12, p. 62, 2018.

RIZWAN, A.; DENNIS, L.; LIU, C. Urban heat island and climate. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 124, 2008.

ROUSE, J.; HAAS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D. Monitoring vegetation systems. NASA, 1973.

SALVATI, L.; COCH, H.; CECERE, C. Urban heat islands and climate change. **Sustainable**

Cities and Society, v. 26, p. 723, 2016.

SANTOS, J. Vegetação urbana e temperatura de superfície. **Revista Amazônica de Geografia**, v. 14, 2019.

SILVA, A. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 27, 2001.

SOUZA, M. Ilhas de calor e planejamento urbano. **Revista de Geografia**, v. 23, 2004.

USGS. Landsat Data Users Handbook. USGS, 2014.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing of urban land. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 339, 2009.

YU, J.; FANG, S. ENSO transitions and variability. **Climate Dynamics**, v. 49, p. 12, 2017.