

SENSORIAMENTO REMOTO DO INFRAVERMELHO TERMAL PARA DETECÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANAS NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA - PARÁ

Thermal infrared remote sensing for urban heat islands detection in Ananindeua - Pará

Giovanni Augusto Valente da Silva

Bacharel em Geografia. Universidade Federal do Pará, Brasil

giovanni.augusto5@gmail.com

Alan Nunes Araújo

Doutor em Geografia. Professoro do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Universidade Federal do Pará, Brasil

alanaraujo@ufpa.br

Tiago Barreto de Andrade Costa

Doutor em Geografia. Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Universidade Federal do Pará, Brasil

tiagobac@ufpa.br

Recebido: 06.06.2023

Aceito: 08.04.2024

Resumo

O presente trabalho aborda a utilização de bandas do infravermelho termal de imagens do Landsat 8 para identificar ilhas de calor. Toma como recorte espacial o município de Ananindeua-PA. A distinção entre áreas urbanas e rurais foi clara, com temperaturas mais altas nas áreas urbanas devido à falta de vegetação. Os bairros mais densamente povoados, como Cidade Nova, Guajará, Paar, Coqueiro e Jaderlândia, evidenciaram as maiores temperaturas e processos mais avançados de formação de ilhas de calor. Por outro lado, áreas de ocupação mais recente e crescimento não planejado, como Águas Lindas, Júlia Seffer, Providência, Maguari e Heliolândia, já indicam a tendência a se tornarem ilhas de calor devido à supressão da cobertura arbórea e desmatamento. Conclui-se que é necessário que o poder público intervenha, incentivando práticas de arborização para melhorar a qualidade de vida e do meio ambiente na região.

Palavras-chave: Infravermelho Termal, Ilhas de calor, Espaço urbano, Ananindeua.

Abstract

This work addresses the use of thermal infrared bands from Landsat 8 images to identify heat islands. The municipality of Ananindeua-PA is used as the spatial context. The distinction between urban and rural areas was clear, with higher temperatures in urban areas due to the lack of vegetation. The most densely populated neighbourhoods, such as Cidade Nova, Guajará, Paar, Coqueiro and Jaderlândia, showed the highest temperatures and most advanced heat island formation processes. On the other hand, more recently occupied and unplanned growth areas, such as Águas Lindas, Júlia Seffer, Providência, Maguari and Heliolândia, already indicate the trend to become heat islands due to the suppression of tree cover and deforestation. It is concluded that the public power must intervene, encouraging tree-planting practices to improve the quality of life and the environment in the region.

Keywords: Thermal Infrared, Heat islands, Urban space, Ananindeua.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é definido como conjunto de técnicas voltadas a obter dados e informações sobre os constituintes da superfície terrestre através de sensores (principalmente imageadores), os quais captam Radiação Eletromagnética (REM) emitida e/ou refletida por tais alvos terrestres (Novo, 2010; Moreira, 2011; Florenzano, 2013). Nesse contexto, o intervalo específico da radiação que é captada pelos sensores a partir da emissão eletromagnética é o infravermelho termal e provém especialmente do aquecimento dos objetos, tanto naturais quanto artificiais que formam a superfície do planeta (Baptista, 2012).

Propriedades físicas condicionam as etapas desse processo. O modelo físico do “corpo negro” analisa essa emissão do infravermelho termal proveniente dos objetos. Tal modelo idealiza um corpo cuja REM incidente sobre ele é totalmente absorvida, não refletindo nada (Rogalski, 2012; Jensen, 2009). Assim, é usado como padrão para medir a emissividade dos objetos reais. Mais especificamente a emissividade pode ser determinada a partir de uma razão entre a energia irradiante da superfície real (ECR) e a energia irradiante do corpo negro (ECN) (equação 1), sempre sob a mesma temperatura e comprimento de onda, com valores de emissão dos corpos reais sempre variando entre $0 < 1$, sendo 0 a máxima reflexão e 1 a máxima emissão (Moreira, 2011).

$$\varepsilon = \text{ECR} / \text{ECN} \quad (1)$$

A distribuição espectral do fluxo radiante emitido é dependente da variação de temperatura, onde quanto mais elevada esta, maior será a determinação sobre aquele. A intensidade de energia é diretamente proporcional a sua frequência, sendo inversas ao comprimento de onda (Incropera, 2008). Assim, “à medida que a temperatura aumenta, o máximo de intensidade da radiação emitida se desloca para comprimentos de onda cada vez menores” (Moreira, 2011, p. 32).

Essa condição é representada pelo Deslocamento de Wien (figura 1), e para o estudo dos constituintes da Terra, como água, vegetação, solo etc, o mais adequado é a utilização do infravermelho termal, entre 3 e 14 μm (Jensen, 2009; Baptista, 2012), pois são alvos que possuem a emissão máxima ocorrendo em até 300 K, sendo, por isso, melhor discretizados nesse intervalo.

Em síntese, essas propriedades físicas permitem a partir de sensores remotos a análise dos constituintes da superfície terrestre em termos de suas temperaturas, as quais serão diretamente correlacionadas à emissividade de cada objeto da paisagem, sejam

naturais ou construídos, sendo importante ressaltar ainda o funcionamento da paisagem é concebido enquanto interação sistêmica dos objetos que a constituem. No contexto do presente trabalho, ressaltamos os processos que ocorrem na atmosfera do planeta, estabelecendo relação com os constituintes da superfície terrestre a partir da dinâmica do balanço de energia e de matéria, que se realizam através da radiação solar e influenciam os elementos climáticos.

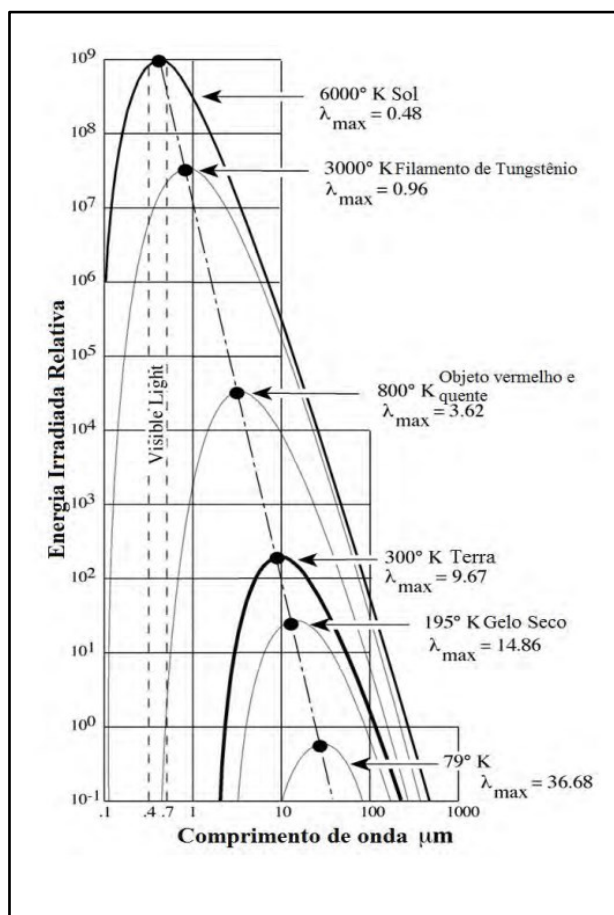


Figura 1 - Representação do Deslocamento de Wien.

Fonte: Baptista, 2012.

A definição de clima pode ser entendida a partir de “características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período” (Ayoade, 2004, p. 2), normalmente por volta de 30 anos, onde é considerado o comportamento dos elementos com base em determinações instantâneas do tempo, especificando e identificando a tipologia climática de dado local.

Independente da escala espacial, seja macro, meso ou micro, estudos do clima têm revelado importantes relações entre a variabilidade do ambiente, da atmosfera e da sociedade, e como, simultaneamente, impactam uns aos outros, apesar da complexidade

de se realizar uma exata separação de cada dimensão, já que os fenômenos atmosféricos são bastante dinâmicos e se misturam entre si. Em meio a esses estudos destacamos aqueles realizados em escalas entre 10 e 100 km, os quais abrangem, dentre outros, os que abordam o clima urbano (Ayoade, 2004), como é o caso do estudo em tela.

Questões ambientais e climáticas no contexto das cidades são alvo de análises objetivando o conhecimento das características e condições desse espaço, a partir de reflexões que emergem à medida que o movimento de urbanização se intensifica e avança sobre os sistemas naturais. Tal processo se realiza, em geral, de modo acelerado e desordenado, ou seja, sem a ocorrência de um devido planejamento, que considere, entre outros, questões referentes à cobertura vegetal. Assim, são materializações na estrutura urbana que se convertem em espaços que apresentam áreas construídas e densas ocupações (Lombardo, 1985).

A partir dessas considerações, Monteiro e Mendonça (2004) indicam que a condição climática imediata de determinado espaço entendido como cidade, independentemente do nível de intensidade dos elementos e dos constituintes, reflete a ideia de clima urbano. A diversidade da superfície terrestre neste contexto resulta em variados microclimas, onde cada um exerce a sua influência em uma conjuntura mais ampla a partir de suas relações verticais e horizontais (Oke, 1982; Lombardo, 1985).

Impactos decorrentes do antropismo modificam parâmetros relacionados ao balanço natural, que, segundo Ayoade (2004), se dá pela retirada de vegetação que impossibilita a evapotranspiração e a presença de umidade, os quais são excelentes reguladores térmicos, e que se transformam em espaços construídos que alteram as características térmicas de dada área. Assim, há uma grande modificação da paisagem, convertendo ambientes naturais em áreas edificadas, que dificultam, ou mesmo impossibilitam, o exercício de funções ambientais e ecológicas, tornando-se propícia à retenção de calor, seja na atmosfera ou na superfície.

Para Lombardo (1985, p. 24), a "área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas" é conhecida como ilha de calor (figura 2), que, segundo Oke (1982; 2017), é um fenômeno característico da emergência e desenvolvimento do espaço urbano, já que suas modificações afetam o modo como a radiação solar se relaciona com os constituintes da superfície, pois "é todo esse organismo, através das diferentes formas de uso e estrutura urbana, que passa a exercer os efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico" (Monteiro; Mendonça, 2004, p. 22), em condição bastante distinta das áreas rurais em decorrência

das diferenças que ocorrem no comportamento dos materiais em relação ao sistema energético, o qual exerce função essencial na dinâmica de aquecimento/resfriamento da superfície terrestre (Oke, 1982).

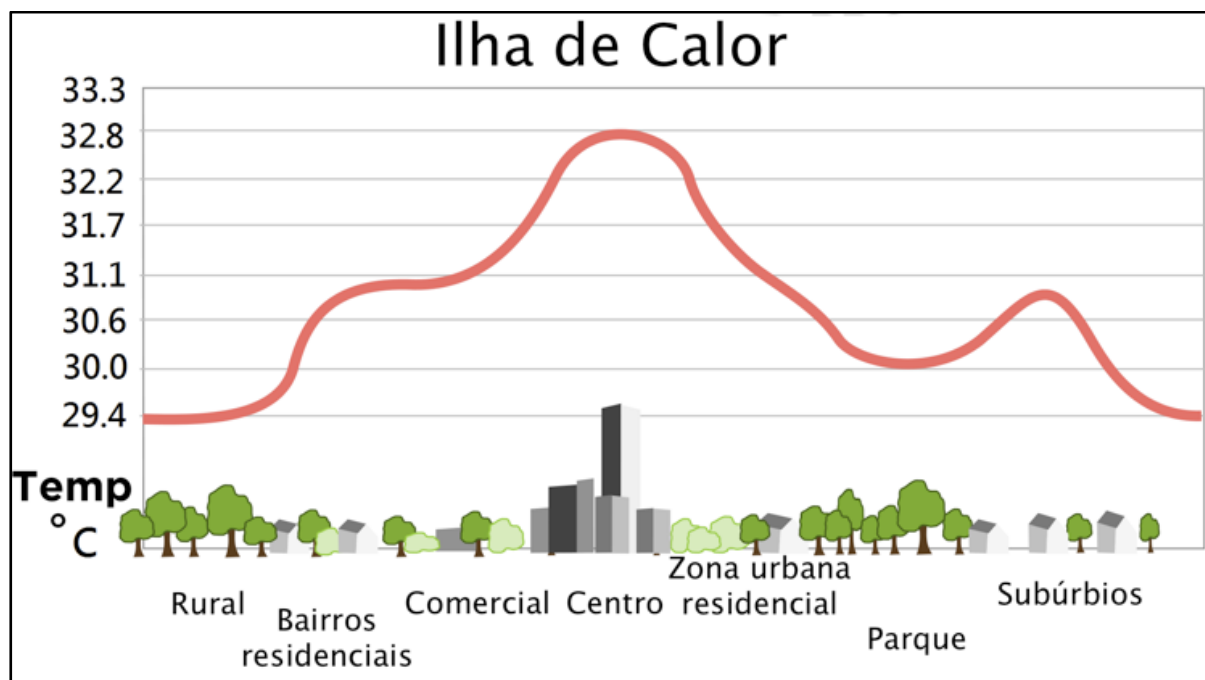


Figura 2 - Representação do fenômeno de ilha de calor urbano.

Fonte: Escola educação. Disponível em: <https://escolaeducacao.com.br/o-clima-nas-cidades-inversao-termica-e-ilhas-de-calor/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

Assim, de acordo com Oke (2017), tal condição descrita está diretamente ligada à intervenção inadequada da sociedade sobre o meio natural, relação que implica em consequências envolvendo as mudanças climáticas, podendo ser considerada como uma forma de impacto ambiental, com isso, sendo de grande importância estabelecer considerações acerca desta temática.

Neste sentido, o trabalho utiliza sensoriamento remoto, principalmente a partir da emissividade termal dos constituintes da superfície terrestre, enquanto estratégia metodológica para analisar a formação de ilhas de calor no município de Ananindeua-PA. Para isso, no próximo tópico será descrita a localização e características gerais da área de estudo, bem como, as estratégias metodológicas adotadas pela pesquisa. Em seguida são apresentados os resultados alcançados e, por fim, são tecidas as conclusões a que se chegou.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Os municípios da Região Metropolitana de Belém (RMB), no estado do Pará, a partir da metade do século XX, apresentaram-se como uma grande alternativa à ocupação que passou a ser verificada na capital paraense. Entre esses, se destaca Ananindeua (figura 3), em decorrência de sua maior proximidade e pelas diversas vias de interligação com Belém. Assim, o município, com área de 190.580 km², passou a ser tratada como área municipal independente a partir do decreto-lei estadual Nº 4.505, de 30/12/1943, quando houve a sua desvinculação política da capital (IBGE, 2022), mas ainda com uma íntima relação territorial, já que ambas estão fortemente conurbadas (Mendes, 2019).

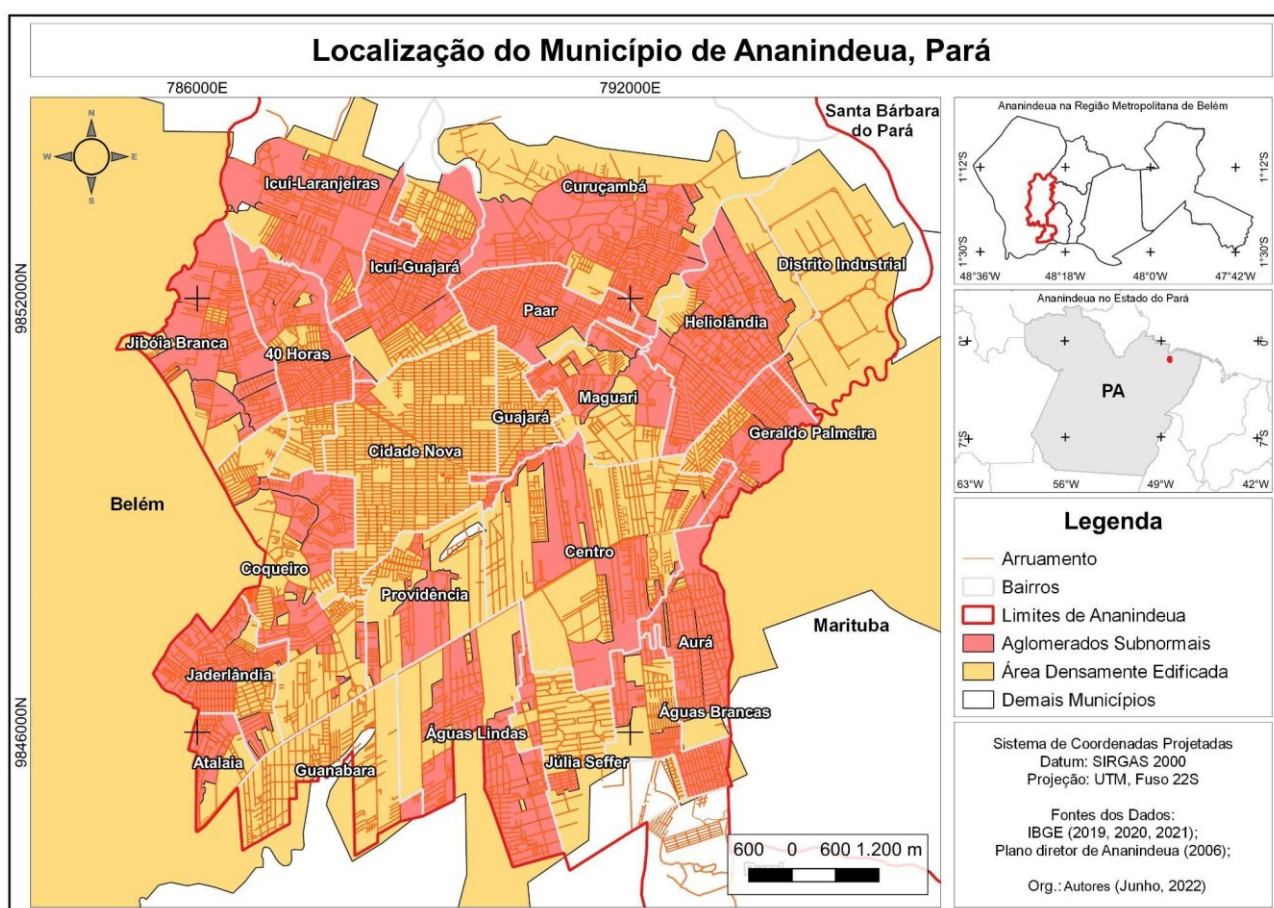


Figura 3 - Localização do município de Ananindeua, Pará.

Fonte: Autores, 2022.

No decorrer do tempo, houve a elevada intensificação de tal processo à medida que ocorreu o contínuo incremento populacional e a consequente construção de edificações, determinando intensas reestruturações urbanas no município, pela implementação de moradias, além de atender demandas dos setores do comércio e de serviços. As rodovias

BR-316, Mário Covas e Transcoqueiro, assim como as avenidas Independência e as Arteriais, foram os principais meios de difusão de ocupação e construção de territórios. Desde o censo demográfico da década de 1990, a população de Ananindeua é predominantemente urbana, em detrimento das áreas tidas como rurais (tabela 1), estas sendo constituídas, basicamente, pelas ocupações nas cerca de 14 ilhas no norte do município.

Tabela 1: Evolução da população de Ananindeua, Pará.

Ano	Total	Urbana	Rural	% Total	% Urbana	% Rural
1991	88.151	74.051	14.100	100,00	84,00	16,00
2000	393.569	392.627	942	100,00	99,76	0,24
2010	471.980	470.819	1.161	100,00	99,75	0,25

Fonte: IBGE - Censo Demográfico.
Org.: Autores (2022).

Entre 2010 e 2021, Ananindeua, tal como toda Região Metropolitana de Belém, apresentou um aumento populacional. Segundo estimativas do IBGE, em 2021, a população de Ananindeua alcançou cerca de 540.410 habitantes, muito em razão da sua localização geográfica, limítrofe a Belém e por apresentar opções mais viáveis para novas moradias e conjuntos habitacionais, configurando o atual vetor de expansão da mancha urbana metropolitana para além da Capital.

2.2. Procedimentos metodológicos

Na figura 4 está representado o fluxograma com as etapas metodológicas que foram realizadas para a execução do trabalho.

A base vetorial foi adquirida no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo do ano de 2020, com arquivos shapefile dos limites territoriais: municipais, estaduais e nacional.

Para a base matricial foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com 2 sensores, o OLI (Operational Land Image) e o TIRS (Thermal Infrared Sensor), encontrando-se sobre a órbita 223, ponto 061 (USGS, 2022). O critério para a escolha da cena foi baseado em relação a pouca cobertura de nuvens, adquirindo a imagem de 26/06/2019. Foi obtida pelo site Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), sendo a coleção 2 com nível de processamento em Level-1, que apresenta os dados em números digitais. As bandas utilizadas foram as 4, 5, 6 e 10, correspondendo,

respectivamente, aos intervalos espectrais do vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio 1 e infravermelho termal, todas com 30m de resolução espacial (USGS, 2022).

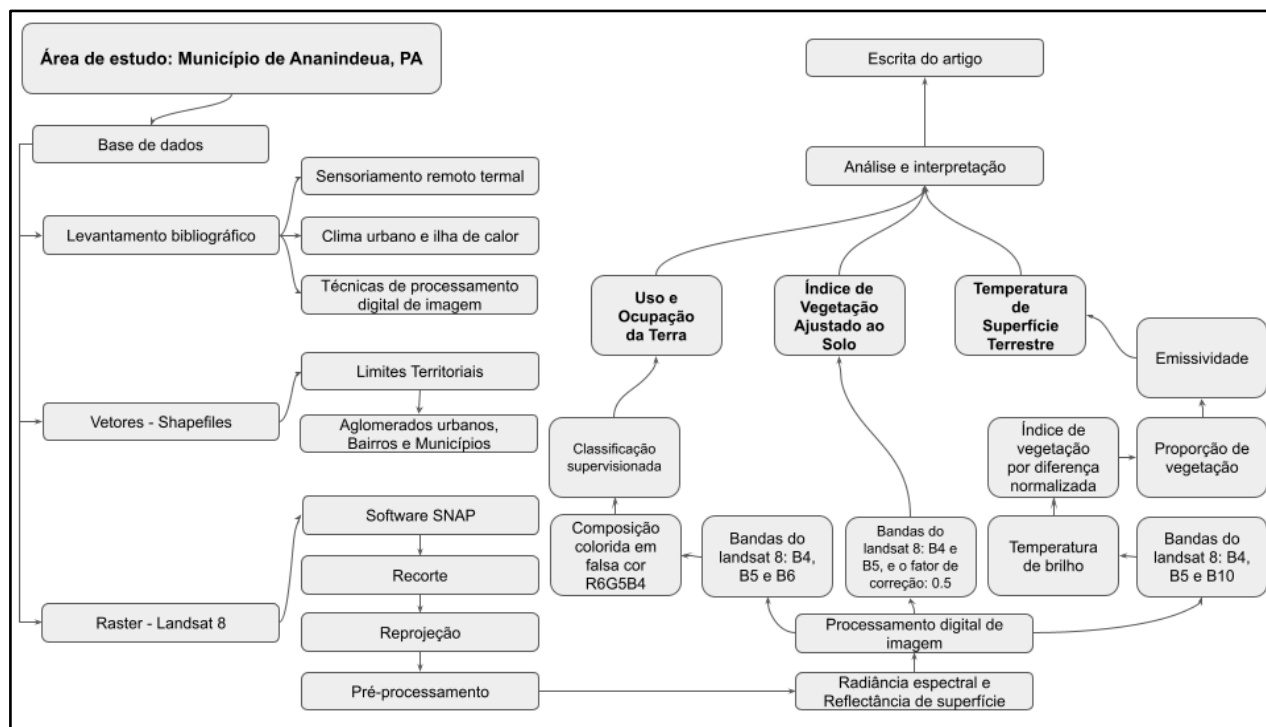


Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Fonte: Autores, 2022.

O tratamento dos dados matriciais foi realizado no *software* SNAP (*Sentinel Application Platform*), na versão 8.0.0, onde foram executados a classificação supervisionada, o índice de vegetação e a temperatura de superfície, realizadas pelo Band Maths. Concluídas essas etapas, os resultados foram inseridos no *software* QGIS, versão 3.22.6 - Białowieża, sendo recortados a partir dos limites territoriais da área de trabalho e onde foram elaborados os layouts dos mapas.

Todo o trabalho está configurado no sistema de projeção do SIRGAS 2000, fuso UTM 22S. Em decorrência disto, tanto os vetores quanto os rasters foram reprojetados, adotando o sistema de referência mencionado. Nas imagens do Landsat 8 foram realizados os pré-processamentos, possuindo como apoio os metadados de cada banda, em que foram consideradas constantes de calibração, necessárias para o reescalonamento radiométrico.

Nessa etapa, deve-se proceder com a conversão dos Números Digitais (ND), para a radiância espectral ($L\lambda$), equação 2, aplicada a banda 10 (termal):

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (2)$$

onde, ML é fator multiplicativo de radiância, Qcal são os pixels quantizados e calibrados, a banda em si, AL é o fator aditivo de radiância;

Ao alcance da reflectância de superfície ($P\lambda$), a equação 3 aplica-se às bandas 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo), 6 (infravermelho médio):

$$P\lambda = Mp * Qcal + Ap / \text{Sen } (^\circ\text{SE}) \quad (3)$$

onde, Mp é a fator multiplicativo de reflectância, Qcal são os pixels quantizados e calibrados, Ap fator aditivo de reflectância, Sen ($^\circ\text{SE}$) é o ângulo de elevação Solar.

Para o uso e cobertura da Terra, foi realizada uma composição em falsa-cor através das bandas R6G5B4. Utilizou-se a classificação supervisionada, pela interpretação visual da imagem e a coleta de regiões de interesse em 3 classes: área urbana, cobertura vegetal e corpos d'água, as quais foram inseridas e executadas pelo algoritmo classificação 'Random Forest Classifier'.

Ao índice de vegetação ajustado ao solo, foram utilizadas as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo), sendo inseridas no *software* SNAP a partir do band maths, sendo gerado pela equação 4.

$$IVAS = (NIR - RED) * (1 + L) / (NIR + RED + L) \quad (4)$$

onde, NIR é a banda do infravermelho próximo, RED é a banda do vermelho, L é o fator para redução dos efeitos do solo (RIBEIRO, SILVA E SILVA, 2016).

A estimativa da temperatura de superfície terrestre (TST) foi obtida após 7 etapas de processamento (Avdan; Jovanovska, 2016):

A. Radiância espectral e B. Reflectância de superfície (equações 2 e 3, respectivamente)

C. Temperatura de Brilho (TB) pela equação 5:

$$TB = K2 / \text{Ln} (K1 / L\lambda + 1) - 273.15 \quad (5)$$

onde, K1 e K2 são as constantes de calibração 1 e 2, Ln é o logaritmo neperiano, $L\lambda$ é a Radiância espectral, -273.15 é o zero Kelvin, necessário para converter em $^\circ\text{C}$.

D. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (equação 6);

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) \quad (6)$$

onde, NIR é a banda do infravermelho próximo, RED é a banda do vermelho.

E. Proporção de Vegetação (PV) (equação 7);

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad (7)$$

onde, IVDN é o índice de vegetação por diferença normalizada, NDVI_{min} é o menor valor do NDVI, NDVI_{max} é o maior valor do NDVI.

F. Emissividade (E) (equação 8);

$$E = \varepsilon V \lambda P_v + \varepsilon S \lambda (1 - P_v) + C \lambda \quad (8)$$

onde, $\varepsilon V \lambda$ é a emissividade média da vegetação, PV é a proporção de vegetação, $\varepsilon S \lambda$ é a emissividade média do solo, $C \lambda$ é a rugosidade de superfície.

G. Temperatura da Superfície Terrestre (TST) (equação 9);

$$TST = (TB / (1 + (\lambda * TB / 1.4388) * \ln(E))) \quad (9)$$

onde, TB é a temperatura de Brilho, λ é o comprimento de onda da banda, Ln é o logaritmo neperiano, E é a emissividade.

3. RESULTADOS

A figura 5 está representando o município de Ananindeua em 2019, a partir de 03 propriedades de sua superfície: uso e cobertura, índice de vegetação e temperatura de superfície. Para auxiliar na interpretação dos mapas, tal espaço foi dividido, de forma básica, em 03 partes: norte, sul e central.

Torna-se essencial ter o conhecimento de quais são e de como estão dispostos os componentes da superfície terrestre, sobretudo os que resultam das atividades antrópicas. Segundo Filho, Meneses e Sano (2007), a cobertura se refere ao revestimento do solo, tanto natural, quanto artificial, que podem ser observados objetivamente por meio de imagem de satélite, e que a partir de análise e interpretação dos constituintes dessa cobertura, pela cor, textura e forma, se alcança as características de uso da terra.

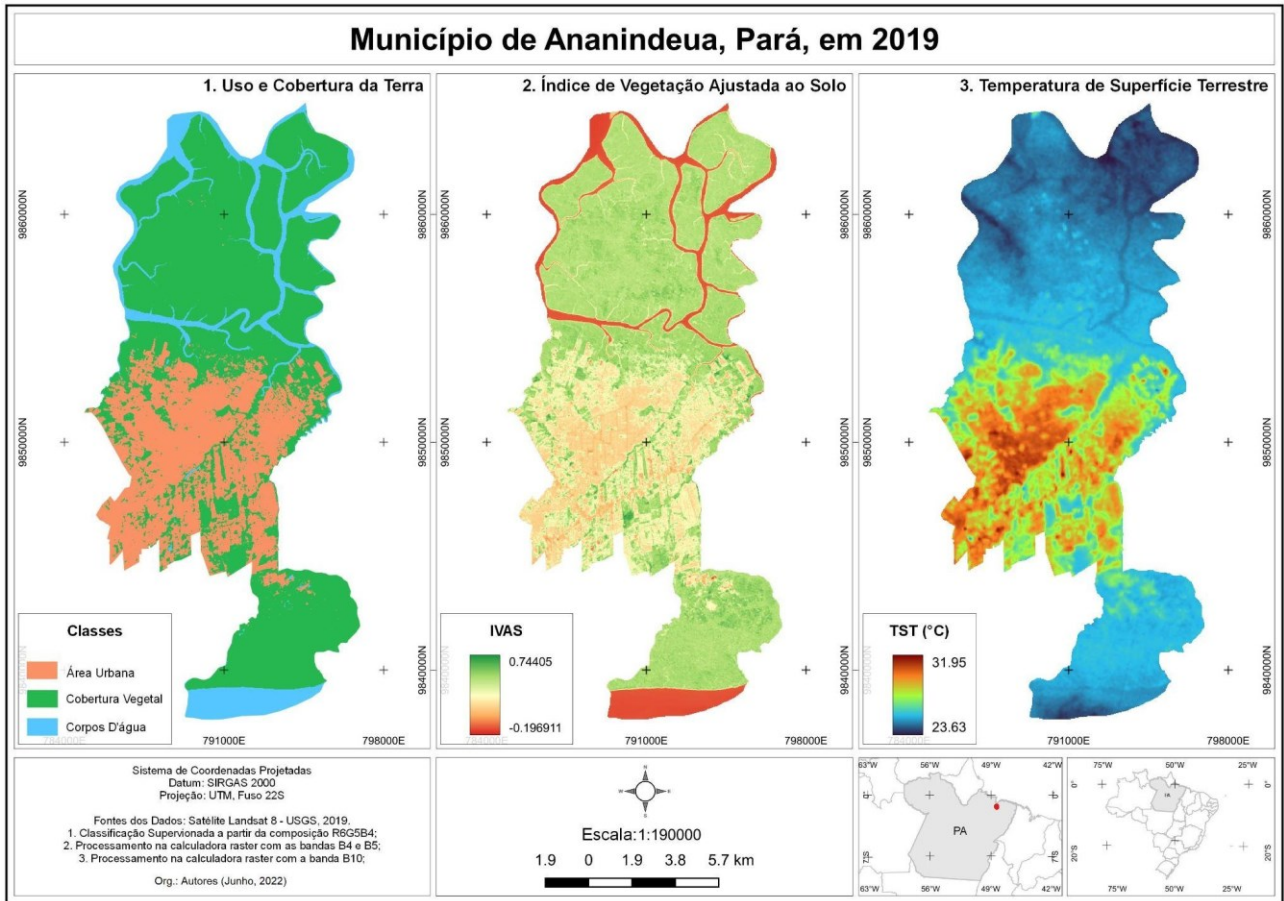


Figura 5 - Uso e cobertura, índice de vegetação e temperatura de superfície, em Ananindeua, Pará, em 2019. **Fonte:** Autores, 2022.

Em Ananindeua, pela escala adotada e de acordo com a finalidade deste trabalho, foram determinadas 3 classes de uso e cobertura do solo, as quais já foram mencionadas acima, mas que estão identificadas na figura 5.1 e detalhadas na tabela 2.

Tabela 2: Uso e cobertura em Ananindeua, Pará, em 2019.

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Área Urbana	49.613	26,03
Cobertura Vegetal	120.038	62,99
Corpos D'água	20.929	10,98
Total	190.580	100,00

Fonte: Autores, 2022.

No norte e no sul do município de Ananindeua, região das ilhas e parte da Área de Proteção Ambiental de Belém, respectivamente, há 2 classes predominantes: a cobertura vegetal (63%) e os corpos d'água (11%). Estas localizam-se em áreas que são classificadas como rurais, em que há baixa densidade demográfica, e, com isso, pouca

modificação antrópica. Em contrapartida, na área central do município, essas 2 classes são pouco representativas, pois passaram por consideráveis alterações que se converteram em áreas edificadas, de elevada população e que se encontram fortemente adensadas, característica típica do espaço urbano, a qual ocupa por volta de 26% do território.

A resposta que cada intervalo espectral possui é utilizada, entre outros, para se conhecer a reflectância dos constituintes da superfície terrestre. A partir disso, os índices espectrais relacionam esses distintos intervalos, ou bandas, objetivando a diferenciação e identificação destes componentes.

Entre tantos, há os índices de vegetação, que caracterizam a cobertura vegetal, além de distingui-la de outras classes, pela absorção do vermelho e pela reflexão do infravermelho próximo. Destaca-se o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), o qual possui como finalidade o conhecimento da qualidade e do vigor vegetativo, mas com a inserção de uma constante que minimiza os efeitos advindos da interferência do solo (Ribeiro; Silva; Silva, 2016).

Para o IVAS, quando o valor for mais próximo a 0, a superfície não apresenta vegetação, sendo água ou área construída, e quanto mais próximo de 1, representa maior qualidade e vigor da cobertura vegetal, a partir do comportamento espectral dos alvos. O caso de Ananindeua está representado na figura 5.2 e os valores descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Índice de vegetação em Ananindeua, Pará, em 2019.

Classes	IVAS
Corpos D'água	-0.20 a 0.00
Área Urbana	0.01 a 0.30
Cobertura Vegetal	0.31 a 0.75

Fonte: Autores, 2022.

Os maiores valores do IVAS em Ananindeua ficaram entre 0.30 e 0.75 e encontram-se no Norte e no Sul, coincidindo com a cobertura vegetal da figura 5.1, devido a banda do infravermelho próximo refletir bastante energia da vegetação. Na parte mais central do município, ficou entre 0.01 e 0.30, e quando comparada a classificação, corresponde a área tida com urbanizada. Enquanto que os valores menores que 0 foram identificados como os corpos d'água, que apresentam a propriedade de elevação absorção.

Conforme detalhado anteriormente, os alvos terrestres apresentam distintos comportamentos quanto à interação com a radiação incidente sobre os mesmos, que,

consequentemente, possuirão específicas condições de emissividade e de temperatura, as quais são de grande relevância ao conhecimento das propriedades físicas, químicas e biológicas da superfície.

Mudanças nos componentes superficiais, de natural à artificial, resultam em alteração no comportamento do fluxo de calor entre radiação e objetos, havendo maior amplitude de absorção e retenção térmica, em constituintes como concreto, asfalto, indústrias, solo exposto, enfim, presentes em espaços urbanizados.

Tabela 4: Temperatura de superfície em Ananindeua, Pará, em 2019.

Classes	TST (°C)
Corpos D'água e Cobertura Vegetal	23 a 26.9
Área Urbana	27 a 33

Fonte: Autores, 2022.

Ao se analisar a figura 5.3, e também a tabela 4, onde é mostrada a temperatura de superfície do município de Ananindeua, nota-se, de maneira bastante acentuada, a diferença entre 3 grandes ambientes, dois se referem às áreas de cobertura vegetal e corpos d'água, ao norte e ao sul, onde a variação é entre 23°C e 26.9°C; enquanto o outro identificado no espaço central do município, caracterizado por feições urbanas, que encontra-se entre 27°C e 33°C.

Considerando tais informações, tem-se que essa condição coloca Ananindeua em uma situação de ilha de calor urbana, pois, como mencionado anteriormente, tal fenômeno possui como característica básica a concentração de temperaturas mais elevadas em áreas urbanas centrais, em contrapartida as mais baixas nos seus arredores ou em zonas tidas como rurais.

No local de estudo, a diferença entre os valores de maior e de menor temperatura ficou em torno de 9.33°C, sendo a mais elevada, 31.95°C, encontrando-se no bairro Centro, nas proximidades de um condomínio residencial e de uma empresa de cargas, enquanto que o menor encontrado, 23.62°C, localiza-se na região das ilhas, sobre um corpo hídrico, mais especificamente no furo das marinhas, no norte do município. De modo geral, pode-se verificar que a diferença de temperatura entre os meios urbano e rural ficou, em média, por volta de 5°C.

No contexto intraurbano de Ananindeua, a classificação indicou que a área urbana é predominante, sobretudo no limite com o município de Belém e na área central, ocupando cerca de 57% do território, a cobertura vegetal cobre em torno de 41%, principalmente no

norte, em direção a transição com a região das ilhas e com alguns remanescentes na cidade em torno dos rios, enquanto que os corpos d'água representam um pouco mais de 2%, localizados, também, nas proximidades da ilhas (tabela 5).

Tabela 5 - Classes dentro dos bairros urbanizados de Ananindeua, Pará, em 2019.

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Área Urbana	48.316	57,03
Cobertura Vegetal	34.611	40,86
Corpos D'água	1.788	2,11
Total	84.715	100,00

Fonte: Autores, 2022.

No município foram identificadas por volta de 123 áreas que se sobressaem quanto à temperatura, sendo iguais ou superiores a 29°C. Considerando a proximidade, a relação e bairro em que se localizam, tais regiões foram agrupadas em 3 conjuntos, os quais representam as ilhas de calor urbanas do município (figura 6.1).

A região 1, de maior abrangência, possui uma área de 19.839 km², o que corresponde a cerca de 10,41% da área total de Ananindeua e por volta de 23,42% de sua área urbana. Encontra-se sobre, principalmente, nos bairros da Cidade Nova, Guajará, Paar, 40 horas, Coqueiro, Jaderlândia, Icuí-guajará, Atalaia e Guanabara. Nestes, há intenso adensamento populacional e de áreas construídas, conforme a figura 6, algumas com certo planejamento, mas a maior parte se desenvolveu de modo involuntário.

Enquanto que a região 2 apresenta 4.093 km² de área, o que equivale a 2,15% em relação ao território todo, ocorrendo, sobretudo, nos bairros Centro, Geraldo Palmeira e Heliolândia. Localiza-se nas proximidades da rodovia BR-316 e da avenida Independência, que possuem ocupações residenciais em seu entorno. A região 3, com 2.659 km², cerca de 1,40% do município, está sobre a Águas Lindas, Júlia Seffer, Águas Brancas e Aurá, os quais são bairros classificados como periféricos e que emergiram de forma espontânea.

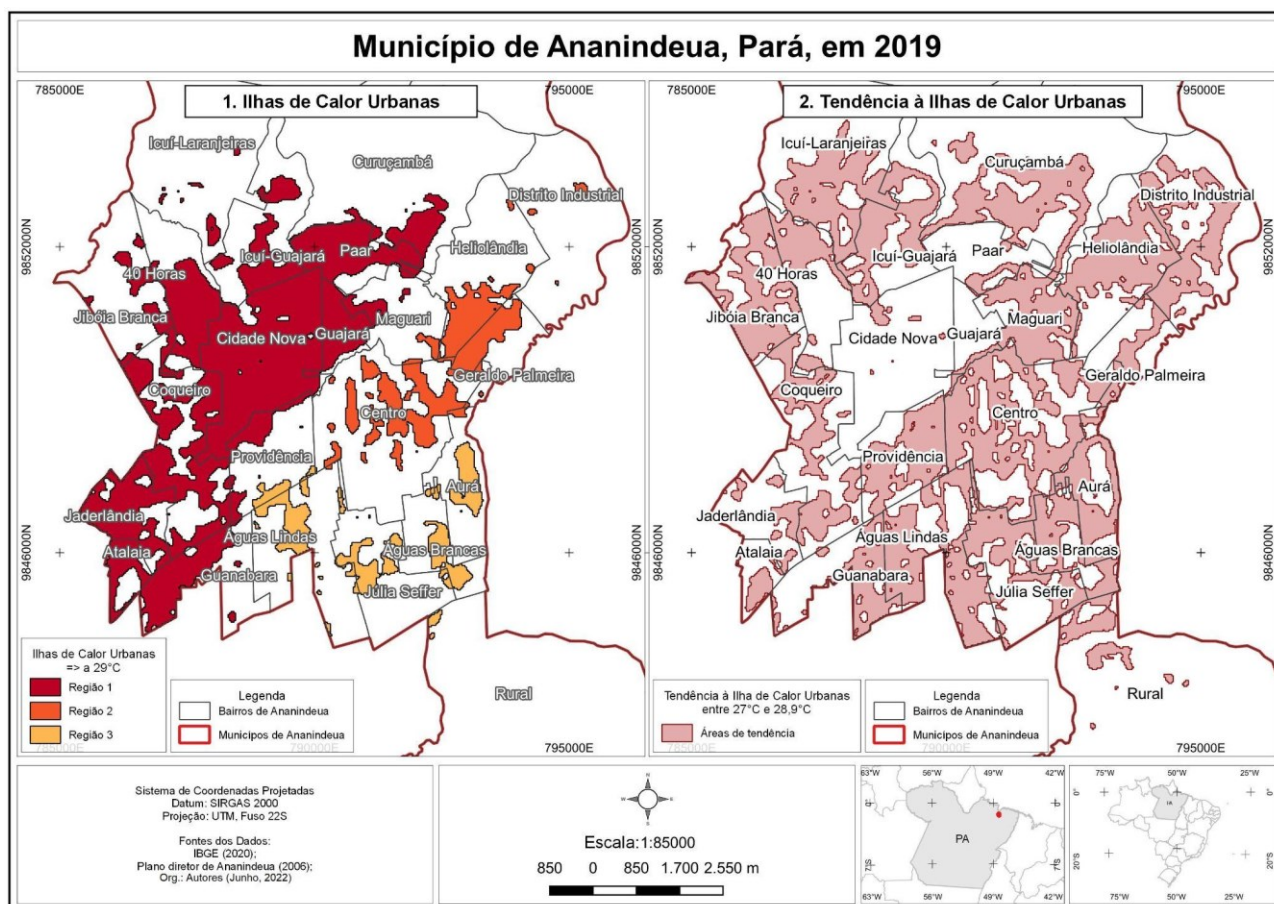


Figura 6 - Ilhas de calor e áreas de tendência no município de Ananindeua, Pará, em 2019.

Fonte: Autores, 2022.

Na figura 6.2, estão representadas cerca de 60 zonas que indicam uma tendência de se tornarem novas ilhas de calor, ou então se incorporarem às áreas já existentes e que foram identificadas acima. Apresentam variação de temperatura entre 27°C e 28,9°C, que são maiores que os espaços mais afastados, ou rurais, porém são inferiores às já demonstradas na figura 6.1.

Tais espaços cobrem, aproximadamente, 36.208 km², representando cerca de 19% da área total do município, que é de 190.580 km². São constituídos por regiões residenciais, comerciais e de serviços, alguns galpões de empresas e indústrias e locais de solo exposto, todos sendo de pequeno a médio porte, os quais são intermediados por diversos componentes de vegetação.

Apresentam elevada tendência de se tornarem ilhas de calor, pois, quando comparadas a figura 3, parte considerável está sobreposta ao que o IBGE chama de aglomerados subnormais, que são áreas compostas por ocupações que se instalaram de modo imprevisto, normalmente por meio de 'invasões' a terrenos de terceiros. Encontram-se, ainda, em um estágio evolutivo, seguindo um caminho de desenvolvimento de

condições urbanas mais intensas, por apropriação do espaço com as respectivas modificações, como visto nas áreas em que foram identificados os maiores valores de temperatura de superfície.

Até o momento da imagem do landsat 8, de junho de 2019, tais regiões ainda apresentavam consideráveis áreas de cobertura vegetal, especializadas de modo intercalar com as edificações. Tal condição cria espaços protegidos da incidência direta do sol (sombras), propicia processos de evapotranspiração e ameniza as emissões de calor, já que garante a presença de umidade próxima à superfície (Baptista, 2012). Então, a efetivação de um crescimento que considere essas áreas especiais e a importância de sua permanência, é algo essencial para que se alcance medidas de qualidade de vida e também ambiental.

Pelos produtos gerados, é perceptível a presença, basicamente, de espaços construídos com pouquíssimas e bem espaçadas áreas com cobertura vegetal, sobretudo nos bairros da Cidade Nova e Guajará. Segundo Rodrigues *et al.* (2021), tal área começou a ser apropriada em meados da década de 1970, a partir da criação de um projeto para ocupação da população mais pobre, institucionalizado pela Companhia de Habitação (COHAB), de onde derivam outros conjuntos habitacionais em seu entorno.

O local possui uma estruturação com certa lógica de funcionamento proveniente desse planejamento de infraestrutura urbana, que indica um propósito organizacional. Pode-se ter noção de tal condição ao se observar a figura 3, em que se visualiza como estão sistematizados os arruamentos dos 2 bairros mencionados, encontrando-se dispostos em formas geométricas bastante simétricas, com as quadras seguindo um modo padronizado de distribuição.

No decorrer do tempo, o espaço urbano do município passa por intensa reestruturação nas habitações e nos tipos de construções, determinadas, principalmente, pelos setores de serviço e de comércio. Os bairros da Cidade Nova e Guajará representam o principal centro empresarial e econômico de Ananindeua, com a presença de lojas, bancos, supermercados, escolas, órgãos públicos, entre outros, que são entendidos como excelentes atrativos imobiliários (Mendes, 2019; Rodrigues *et al.*, 2021).

Devido isso, essa área central recebeu especial atenção do poder público quanto a intervenção urbana, com edificações de cimento, pavimentação asfáltica e de calçadas, possibilitando a grande circulação de veículos e pessoas, e ainda medidas de saneamento, ocorrendo com elevada concentração e adensamento, modelando o espaço seguindo interesses específicos do capital (Mendes, 2019; Rodrigues *et al.*, 2021). Porém,

negligenciou a perspectiva socioambiental, havendo poucos remanescentes florestais, o que implica, em razão dos materiais artificiais constituintes, em maior retenção de calor nesses locais, conforme mencionado anteriormente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi exposto, buscou-se demonstrar a aplicação da radiação infravermelho termal em imagens de sensoriamento remoto para a identificação de ilhas de calor. O estudo conclui que há uma clara potencialidade e viabilidade do uso desses produtos para identificar e monitorar a formação de ilhas de calor na área urbana de Ananindeua-PA, constituinte da segunda maior região metropolitana da Amazônia.

No município como todo, ficou nítido como os espaços rurais, com vegetação e água, e urbanos, com áreas construídas, são bem distintos na constituição da superfície, condição essencial ao comportamento diferencial da energia e a retenção de calor, que é menor na primeira e maior na segunda. Como explicação, tem-se que, em ambos ambientes, os constituintes possuem elevadas condição de emissividade, porém com a grande diferença nas condições de umidade, que exercem um importante amenizador térmico, com presença intensa no rural proveniente do processo de evapotranspiração, mas com menor proporção, e em alguns locais praticamente ausente, no urbano, devido a materiais artificiais como asfalto, concreto, telhas de cerâmica e amianto e tijolos.

No interior dos bairros do espaço urbanizado, as áreas construídas marcam grande presença, por representarem as regiões mais densamente ocupadas do município. Esse processo histórico, possibilitado pelas vias de circulação, resultou em inúmeras modificações nas regiões naturais, havendo, destacadamente, a retirada de coberturas vegetais, impactando diretamente os serviços ambientais e ecossistêmicos que exercem, como a troca de umidade com a atmosfera. Tal situação propiciou o surgimento do fenômeno de ilhas de calor em diversos locais da área urbana, com temperatura de superfície superiores aos 29°C, em bairros como Paar, 40 horas, Coqueiro, Jaderlândia, Icuí-guajará, Atalaia, Guanabara, Centro, Geraldo Palmeira e Heliolândia, Águas Lindas e, sobretudo, na Cidade Nova e no Guajará.

Estes últimos bairros apresentaram uma tentativa de planejamento a partir da instalação de conjuntos habitacionais na década de 1970. Porém, passaram por reestruturações que basicamente modificaram o público alvo de sua construção e adotando instalações para atender a demanda de serviços e comércio, desconsiderando nesse processo a perspectiva ambiental. As ocorrências de ilhas de calor já encontradas

no presente podem ser incrementadas em um futuro próximo, a partir das áreas com variação de temperatura entre 27°C e 28.9°C, devido estarem sobrepostos a locais com pouca presença do poder público e que se expande de modo espontâneo, através de métodos que podem ser considerados como degradantes, como o desmatamento. Esses locais correspondem aos bairros de Águas Lindas, Júlia Seffer, Providência, Centro, Maguari, Heliolândia, Águas Brancas, Aurá, Icuí-Laranjeiras e Curuçambá.

Com isso, as medidas de intervenção necessárias a esse tipo de situação são bem nítidas e estão relacionadas à cobertura vegetal. É de suma importância que o poder público esteja presente por meio de um adequado ordenamento territorial, que considere, entre outros pontos, questões referentes à arborização, seja mantendo as já existentes, seja implementando novas, seguindo uma lógica a partir de pontos estratégicos. É preciso destacar que essas medidas não devem impedir o desenvolvimento de dadas áreas, sobretudo as que são caracterizadas como periféricas. Logo, tais intervenções não podem se focar em bairros específicos, nem atender interesses particulares, mas sim buscar abranger todos os territórios do município e estender os direitos da cidade, almejando prover as melhores condições e qualidade de vida à população.

De modo geral, o conhecimento das propriedades do sensoriamento remoto é bem consolidado, amplamente divulgados e com uma diversidade de possibilidades de utilização. Apresenta grande potencial a ser explorado, inclusive como uma excelente ferramenta de gestão, que pode ser aplicado como subsídio ao planejamento do espaço urbano em diversos aspectos, desde organização espacial até projetos de arborização.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra com Base na Análise de Imagens de Satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2009.

AVDAN, U.; GORDANA J.; Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data., **Journal of Sensors**, London, v. 2016, n. 8, p. 1-8, 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332p.

BAPTISTA, G. M. M. Sensores imageadores na faixa do termal (8 - 14 µm). In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012. cap. 03. p. 47-56.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ananindeua**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/ananindeua/panorama>. Acesso em: 18 jun. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>. Acesso em: 18 jun. 2022.

INCROPERA, F. P. *et al.* Radiação: processos e propriedades. In: INCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. cap. 12. p. 459-512.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto no infravermelho termal. In: JOHN, R. J. *et al.* **Sensoriamento Remoto do Ambiente - Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. cap. 8, p. 251-292.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MENDES, L. A. S. As formas urbanas da Região Metropolitana de Belém. In: RIBEIRO, W. O.; BRASIL, A. P. M. S.; COSTA, F. E. V. (Orgs.). **Cidades amazônicas**: formas, processos e dinâmicas recentes na região metropolitana de Belém. Belém: EDUEPA, 2020. cap. 1, p. 15-36.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2020. 192p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 422p.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A.; Urban Heat Island. In: OKE, T. *et al.* **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. cap. 7, p. 197-237.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 108, p. 1-24, 1982.

PRAKASH, A. Thermal remote sensing: concepts, issues and applications. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 23, p. 239-243, 2000.

RIBEIRO, G. A.; SILVA, J. N. C.; DA SILVA, J. B. Índice de vegetação ajustado ao solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 2054-2074, 2016.

RODRIGUES, J. C. *et al.* Urbanização, moradia e infraestrutura urbana: Uma análise dos bairros Cidade Nova e Icuí Guajará, Ananindeua, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 14789–114809, 2021.

ROGALSKI, A. History of infrared detectors. **Opto – Electron**, v. 20, n. 3, p. 279-308, 2012.

USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 18 jun. 2022.

USGS. **Landsat 8**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 18 jun. 2022.

Recebido: 06.06.2023

Aceito: 08.04.2024