AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E INDICADORES GEOESPACIAIS NA CIDADE DE SÃO PAULO.

Iara Nogueira Liguori (1); Leonardo Marques Monteiro (2)
(1) Mestra, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAU USP, iara.liguori@usp.br.
(2) Professor Livre-Docente em Arquitetura e Urbanismo FAU USP, leo4mm@usp.br.
Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP), R. do Lago, 876 - Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-080.

RESUMO
A formação das cidades está atrelada a um processo de diminuição da área vegetada e aumento de materiais mais condutivos ao calor, ocasionando a formação de Ilhas de Calor Urbanas (UHI). A investigação do fenômeno pode ser realizada por dados coletados *in loco*, para a ilha de calor atmosférica, ou dados provenientes de sensoriamento remoto para a ilha de calor de superfície (SUHI). Desse modo, é objetivo do trabalho verificar comparativamente a temperatura superficial e indicadores geoespaciais para análise da variação ambiental na cidade de São Paulo a fins de investigar a ocorrência de ilha de calor superficial. Os dados foram coletados do satélite Landsat 8 em um recorte temporal de nove anos, com o intuito de avaliar o uso e ocupação do solo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI), o Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI) e da temperatura de superfície terrestre (LST), obtendo em decorrência o Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI) e estimando a SUHI. A análise dos resultados demonstrou um aumento da área construída e uma redução do solo exposto no decorrer dos anos, em que as áreas centrais da cidade são altamente adensadas e os distritos ao sul e extremo norte possuem uma maior área vegetada. Por consequência, há uma disparidade da temperatura de superfície e a formação de ilha de calor superficial nos distritos mais centrais.

Palavras-chave: Clima Urbano, Ilha de Calor Superficial, Sensoriamento Remoto, Landsat.

ABSTRACT
The cities development is connected to a process of reduction in vegetated areas and an increase in materials more conductive to heat, resulting in the formation of Urban Heat Islands (UHI). The investigation of this phenomenon can be carried out through data collected on-site for the atmospheric heat island, or data from remote sensing for the Surface Urban Heat Island (SUHI). The objective of this work is to compare the surface temperature and geospatial indicators for the analysis of environmental variation in the city of São Paulo in order to investigate the occurrence of SUHI. The data were collected from Landsat 8 satellite over a period of nine years, in order to evaluate land use and occupation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Land Surface Temperature (LST), resulting in the Urban Thermal Field Variation Index (UTFVI) and estimating the Surface Urban Heat Island (SUHI). The analysis of the results shows an increase in built-up areas and a reduction in exposed soil over the years, with the central areas of the city being highly populated and the districts to the south and extreme north having a larger vegetated area. Consequently, there is a disparity in surface temperature and the formation of a surface urban heat island in the central districts.

Keywords: Urban Climate, Surface Urban Heat Island, Remote Sensing, Landsat.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização estão atrelados a uma mudança do uso e ocupação do solo, originando uma alteração radiativa entre os materiais componentes do microclima urbano. Essa alteração é resultado das diferenças de irradiação de calor entre os materiais, formando anomalias térmicas. Além disso, a concentração de poluentes, a emissão de gases de efeito estufa e a perda de área vegetada nos centros urbanos potencializam os impactos climáticos (FILHO *et al.*, 2015).

A substituição de superfícies naturais para materiais mais condutivos do calor ocasionam a formação de Ilhas de Calor Urbanas (UHI, do inglês *Urban Heat Island*) caracterizadas como um aumento da temperatura nas áreas centrais e na parte industrial, ao compará-las com as áreas periféricas das cidades (GAMARRA; CORRÊA; TARGINO, 2014).

A investigação dos fenômenos UHI é um tema amplamente pesquisado pela comunidade científica, com importantes registros podendo ser observados na obra de Oke (1973, 1987, 1988), que apresenta uma série de trabalhos demonstrando a relação entre o tamanho de um sítio urbano e a intensidade da ilha de calor.

A identificação da ilha de calor pode ser realizada por métodos de registros climatológicos, em que são comparadas as variáveis meteorológicas entre o centro urbano e a zona rural, tendo como resultante uma quantificação da ilha de calor atmosférica (OLIVEIRA *et al.*, 2020). A classificação da UHI inclui a análise da camada de dossel urbano (UCL, do inglês *Urban Canopy Lay*er) e a camada limite para exame de mesoescala (UBL, do inglês *Urban Boundary Layer*) (HALDER *et al.*, 2022).

Mas recentemente também é aplicado o método de sensoriamento remoto, com avaliação da temperatura de superfície e a UHI passa a ser categorizada como Ilha de Calor Urbana de Superfície (SUHI, do inglês *Surface Urban Heat Island*) (BAHI *et al.*, 2020; FIALHO, 2012). A análise da SUHI pode ser realizada por uma série de satélites, com diferentes sensores, frequências orbitais e datas de lançamento. O sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), por exemplo, a bordo dos satélites Terra e Acqua, possui uma resolução temporal de duas imagens por dia, permitindo a obtenção de dados de SUHI diário e noturno. Entretanto, a resolução espacial é de aproximadamente 1 km, impossibilitando a análise de microclimas urbanos e sendo frequentemente utilizado para avaliação de grandes sítios urbanos (ALMEIDA *et al.*, 2021).

Os satélites da linha Landsat, equipados com os sensores TM para Landsat 5, ETM+ correspondente ao Landsat 7, TIRS e TIRS 2 a bordo dos satélites Landsat 8 e 9 respectivamente, possuem uma frequência orbital de 16 dias com uma resolução da banda termal variando entre 60 metros a 120 metros a depender do sensor (USGS, 2023). As características dos satélites linha Landsat permitem um maior detalhamento do microclima urbano, mas impossibilita a análise da SUHI noturna. Apesar disso, o Landsat possui um período de observação longo e ininterrupto, com dados sendo disponibilizados a partir da década de 1980, favorecendo um estudo temporal do mesmo local por um longo período (ALMEIDA *et al.*, 2021; WULDER *et al.*, 2016).

O processo de identificação da SUHI pode ser observado no trabalho de Effat *et al.* (2014) que mapeiam as mudanças de uso e ocupação do solo urbano e traçam um paralelo com o aumento da ilha de calor na cidade de Cairo, Egito. Halder *et al.* (2022) determinam a extensão e magnitude da SUHI ao utilizar dados térmicos de superfície provenientes do Landsat e relacionam com a cobertura do solo. Streutker (2003) observa um crescimento da ilha de calor superficial na cidade de Houston, EUA, ao sistematizar os mapas de temperatura radiativa da cidade por um período de 12 anos.

Do mesmo modo, Farhan *et al.* (2022) analisam dados de temperatura de superfície e observam uma intensidade da SUHI de 2,47ºC em 2002 para 3,10ºC em 2021 na área urbana em análise. Wang *et al.* (2019) demonstram também pelo método de sensoriamento remoto como a SUHI pode ser atenuada com o aumento de áreas permeáveis na cidade.

A sistematização de dados por longos períodos de análise comprova como as mudanças de uso e ocupação do solo influenciam de modo substancial o aumento das temperaturas superficiais. Rahman *et al.* (2022), Renard *et al.* (2019) e Zhang *et al.* (2009) realizam amostragens qualitativas e quantitativas por períodos superiores a 10 anos, com imagens provenientes dos satélites linha Landsat, e encontram como produto em comum a tendência de aumento da SUHI em conjunto com a expansão urbana.

No âmbito nacional, Dorigon e Amorim (2019) detectam padrões de temperatura do ar da cidade de Paranavaí (Paraná) e utilizam dados provenientes do satélite Landsat 8 para cálculo de características de superfície (uso da terra, qualidade da vegetação, hipsometria e temperatura da superfície). Monteiro *et al.* (2021) analisam a presença de SUHI em 21 regiões metropolitanas por meio do sensor MODIS e apontam como diferentes valores de temperatura superficial, albedo médio e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada podem influenciar nos efeitos diurnos e noturnos da anomalia térmica. Amorim (2016)

combina os métodos de medições *in loco* com o sensoriamento de imagens de satélite Landsat 8 e determina uma construção metodológica que pode ser utilizada em cidades de pequeno a médio porte.

Os autores Gamarra, Corrêa e Targino (2014) avaliam o albedo e a temperatura de superfície obtidos por meio de imagens de satélite e relacionam com temperaturas do ar provenientes de dados *in situ*. Peres *et al.* (2018) estudam a SUHI da cidade de Rio de Janeiro a partir da análise da temperatura da superfície terrestre e dos padrões de uso do solo obtidos dos Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8 e estipulam que a temperatura de superfície aumentou significamente ao longo dos anos. Ferreira (2021) apresenta uma proposta metodológica de análise da superfície urbana e relaciona com a temperatura de superfície dada pelo Landsat.

Para a cidade de São Paulo, objeto de estudo desse trabalho, é relevante o trabalho de Lombardo (1985) e Barros e Lombardo (2016), que quantificam uma diferença de até 10ºC entre as áreas centrais e periféricas da cidade. Ferreira (2019) e Ferreira e Duarte (2019) examinam a relação entre vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana na Região Metropolitana de São Paulo e exibem que as áreas mais urbanizadas apresentam temperatura de superfície diurna e noturna superior às áreas menos urbanizadas.

Em vista do recorte apresentado o objetivo do trabalho é verificar comparativamente a temperatura superficial e indicadores geoespaciais para análise da variação ambiental na cidade de São Paulo a fins de investigar a ocorrência de ilha de calor superficial. Para tanto foram coletados dados do satélite Landsat 8 em um recorte temporal de nove anos.

2. OBJETIVO

Verificar comparativamente a temperatura superficial e indicadores geoespaciais para análise da variação ambiental na cidade de São Paulo a fins de investigar a ocorrência de ilha de calor superficial.

3. MÉTODO

O método é dividido em quatro etapas, são elas: (I) identificação do sítio urbano em análise, (II) coleta de dados provenientes do satélite Landsat 8, (III) composição e tratamento das imagens, (IV) análise e interpretação dos dados.

3.1. Identificação do sítio urbano

O objeto de estudo é a cidade de São Paulo / SP, latitude 23,5º S e longitude 46,6º W, situada na Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005), a aproximadamente 750 metros de altitude (Figura 1). O clima da cidade é subtropical úmido, classificado como Cwa por Köppen-Geiger, marcado por sazonalidades, com verões moderadamente quentes e chuvosos, invernos frios e secos.

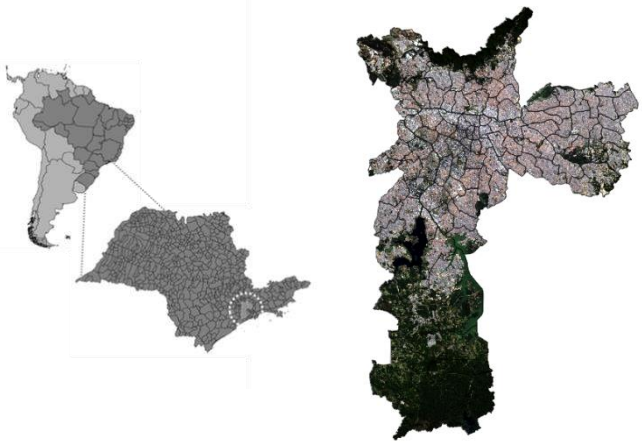


Figura 1 - Localização da cidade de São Paulo com composição RGB e divisão dos distritos. Dados coletados do Landsat 8, correspondentes ao dia 02/09/2022, composição realizada no *software* Qgis. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2. Coleta de dados

Os dados foram coletados do satélite Landsat 8 OLI/TIRS, que dispõe de imagens cedidas gratuitamente no sistema da *USGS Science For a Changing World* (USGS). Como critério de seleção foram computados apenas os registros de atmosfera sem nuvens, com imagens escolhidas nos meses de agosto e setembro dos anos 2013 a 2022 (Tabela 1).

Tabela 1: Dias de coleta para o período em análise. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ano	Dia de coleta
2022	02 de setembro
2021	22 de agosto
2019	17 de agosto
2018	30 de agosto
2017	12 de agosto
2015	23 de setembro
2013	01 de setembro

O período de análise compreende todo o ciclo do satélite Landsat 8 OLI/TIRS, que dispõe de imagens geoespaciais a partir de 2013. Conforme demonstrado na Tabela 1, há lacunas para os anos 2020, 2016 e 2014, em decorrência da falta de dados correspondentes aos critérios estabelecidos. Para fins de visualização dos resultados, uma vez que há pouca variação visual das imagens e uma limitação de páginas do presente artigo, serão apresentadas as composições dos índices geoespaciais para os anos de 2022, data mais recente da coleta dos dados, 2013, condizente ao último ano, e 2017 representando o intermédio entre o período de análise e escolhido por ser um ano com altos valores de temperatura superficial.

Os mapas foram elaborados no *software* livre QGIS, sendo utilizadas as bandas 2, 3 e 4 para a composição colorida RGB (do inglês *red*, *green* e *blue*), 5 e 6 para confecção do mapa de Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI, do inglês *Normalized Difference Built-Up Index*), 4 e 5 para elaboração do mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), e a banda 10 para cálculo da Temperatura de Superfície Terrestre (LST, do inglês *Land Surface Temperature*) (Tabela 2).

Tabela 2: Bandas utilizadas. Fonte: Elaborado pelos autores, dados fornecidos pela USGS (2023).

Banda	Utilização	Intervalo Espectral	Resolução
Banda 2	Azul	0.450 - 0.51 µm	30 m
Banda 3	Verde	0.53 - 0.59 µm	30 m
Banda 4	Vermelho	0.64 - 0.67 µm	30 m
Banda 5	Infravermelho próximo	0.85 - 0.88 µm	30 m
Banda 6	Infravermelho de ondas curtas / SWIR 1	1.57 - 1.65 µm	30 m
Banda 10	Infravermelho Termal / TIRS1	10.6 - 11.19 µm	100 m

3.2. Composição e tratamento das imagens

As variáveis analisadas são o uso e ocupação do solo, provenientes do pós-processamento das imagens RBG, o NDBI, o NDVI e o LST. A partir desses dados é possível elaborar os mapas de Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI, do inglês *Urban Thermal Field Variance Index*) e aferida a SUHI.

No fluxograma a seguir (Figura 2) são detalhados os processos de composição das imagens a partir das bandas provenientes do Landsat 8.

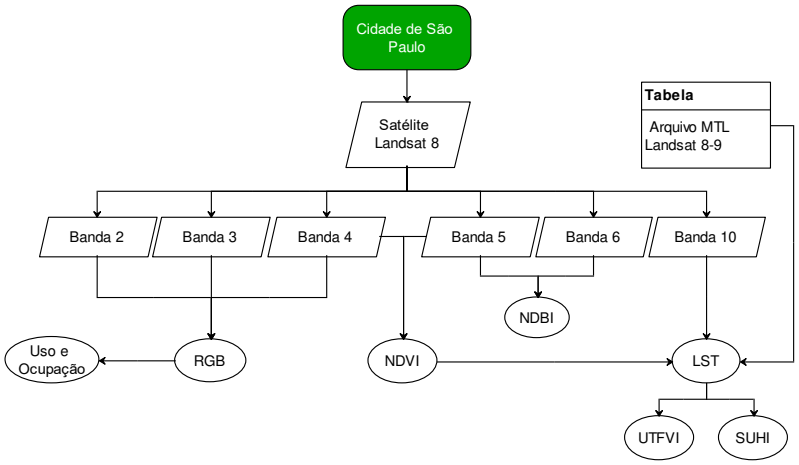


Figura 2: Fluxograma de etapas de composição das imagens. Fonte: Elaborado pelos autores, método de elaboração Oliveira e Giacaglia (2018).

3.3.1. Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo é calculado a partir da imagem raster RGB e é necessário para visualizar mudanças no solo urbano com o passar dos anos. Através da imagem resultante é possível aferir a presença de áreas urbanizadas, vegetação, corpos d'água e solo exposto, indicando locais que possivelmente teriam maiores temperaturas de superfície (FILHO et al., 2015). As imagens foram calculadas através do plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (Congedo, 2021), disponível no *software* QGIS.

3.3.2. Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI)

O NDBI é calculado para compreender o processo de urbanização e corresponde à densidade da área construída em um determinado sítio urbano (HALDER *et al.*, 2022). O índice é avaliado pelas características de refletância do infravermelho de ondas curtas (SWIR), que possui valores mais altos em comparação com o infravermelho próximo (NIR) (ZHA; GAO; NI, 2003).

Para o Landsat 8 o resultado é derivado da relação entre a banda 6 (SWIR1) e a banda 5 (NIR), conforme demonstrado na fórmula abaixo. Como resultado há um produto com valores de -1 a 1, em que os pixels contidos na área construída são representados por valores maiores, e aqueles localizados em áreas não construídas, como superfícies vegetadas, por exemplo, possuem valores menores (ZHA; GAO; NI, 2003).

$$NDBI = \frac{SWIR1-NIR}{SWIR1+NIR} \qquad \text{Equação 1}$$

3.3.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é utilizado para avaliar mudanças no uso e ocupação do solo através das mudanças na cobertura vegetal e pode ser utilizado para dimensionar o processo de urbanização (RODRIGUEZ-GALIANO et al., 2012; VOOGT; OKE, 2003; SILVA et al., 2020).

O índice é utilizado para calcular o LST e aponta como resultado valores que variam de -1 a 1, onde -1 caracterizam alvos não vegetais ou vegetação sem atividade e 1 para vegetação muito saudável. O resultado é dado pela fórmula abaixo, onde é utilizada a banda 5 (NIR, infravermelho próximo) e a banda 4 (RED, vermelho) (BAHADUR, 2018).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \qquad \text{Equação 2}$$

3.3.4. Temperatura de Superfície Terrestre (LST)

O LST refere-se à alteração radiativa entre superfícies e permite aferir diferenças de temperaturas superficiais entre áreas analisadas. A banda utilizada foi a infravermelha termal (banda 10), combinada com o arquivo MTL proveniente do satélite Landsat 8.

Os resultados são provenientes do plugin chamado *Land Surface Temperature Estimation* (NDOSSI; AVDAN, 2016), que realiza uma série de cálculos e tem a capacidade de estimar a radiância, o brilho e a emissividade da superfície terrestre.

3.3.5. Índice de Variação do Campo Térmico Urbano (UTFVI)

O UTFVI é utilizado para avaliar quantitativamente a temperatura superficial de cada pixel da área urbana em relação ao LST médio, de modo a obter uma classificação da qualidade ambiental (GARCÍA; DÍAZ, 2023). É calculado pela relação entre o LST do pixel e o LST médio.

$$UTFVI = \frac{LST_{pixel}-LST_{médio}}{LST_{médio}} \qquad \text{Equação 3}$$

Os valores de UTFVI podem ser classificados em seis níveis de avaliação ecológica e relaciona-se com a presença da SUHI e seu impacto na qualidade ambiental do clima urbano (Tabela 3) (HALDER *et al.*, 2022).

Tabela 3: Escala de UTFVI. Fonte: (HALDER *et al.*, 2022).

UTFVI	Fenômeno SUHI	Índice de avaliação ecológica
< 0	Nenhum	Excelente
0–0,005	Fraco	Bom
0,005–0,010	Meio	Normal
0,010–0,015	Forte	Ruim
0,015–0,020	Mais forte	Pior
> 0,020	Mais forte	Pior

3.3.6. Ilha de Calor Superficial (SUHI)

O efeito da ilha de calor superficial e é dado pela relação entre o LST do pixel, o LST médio e o desvio padrão (FAISAL *et al.*, 2021; HALDER *et al.*, 2022).

$$SUHI = \frac{LST_{pixel} - LST_{médio}}{DP}$$

3.4. Análise e interpretação dos dados

Após a obtenção e tratamento dos dados, as imagens raster passam por um sistema de coloração que permite aferir os resultados de forma assertiva e comparar valores tomando como referência uma escala de cores. Além disso, os dados máximo, mínimo e médio para o NDBI, NDVI e LST foram sistematizados de forma gráfica.

4. RESULTADOS

4.1. Uso e ocupação do solo

Os resultados de uso e ocupação do solo podem ser analisados na Figura 3, em que em verde estão representadas as áreas vegetadas, em azul os corpos hídricos, em amarelo o solo exposto e em vermelho a área urbanizada.

Ao avaliar as imagens pode-se perceber uma elevada concentração urbana nas áreas centrais, com remanescentes vegetados ao sul e extremo norte da cidade. Além disso, há uma redução de solo exposto na comparação entre os períodos, uma vez que para o ano de 2013 havia uma área de 17,10%, diminuindo para 9,69% no ano de 2022. A diferença é compensada no aumento da urbanização, uma vez que para o ano de 2013 a área era de 48,8%, enquanto que no período seguinte havia 56,05% da área urbanizada.

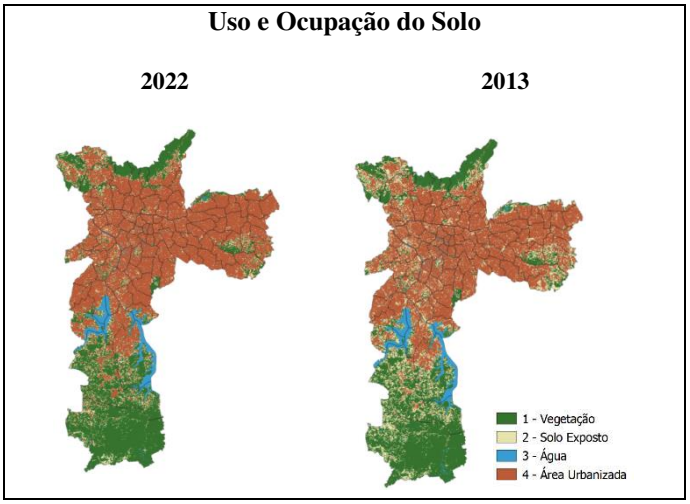
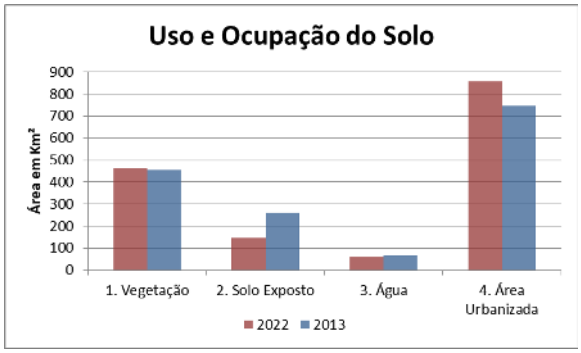


Figura 3: Imagens de uso e ocupação do solo correspondentes aos anos de 2022 e 2013, respectivamente. Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1: Relação de áreas do uso e ocupação do solo. Fonte: Elaborado pelos autores.



4.2. NDBI e NDVI

Nas Figuras 4 e 5 são expostos os resultados de NDBI e NDVI para a cidade de São Paulo. Os mapas são apresentados em um intervalo gradativo de valores, em que há a indicação de uma concentração urbana na região central e zona leste (NDBI), enquanto que para as regiões perimetrais há um predomínio das áreas vegetadas (NDVI).

Ao relacionar os dados de NDBI e NDVI máximos, mínimos e médios para os anos 2022 a 2013 (Gráficos 2 e 3), pode-se observar uma similaridade de valores, com um desvio padrão máximo de 0,14.

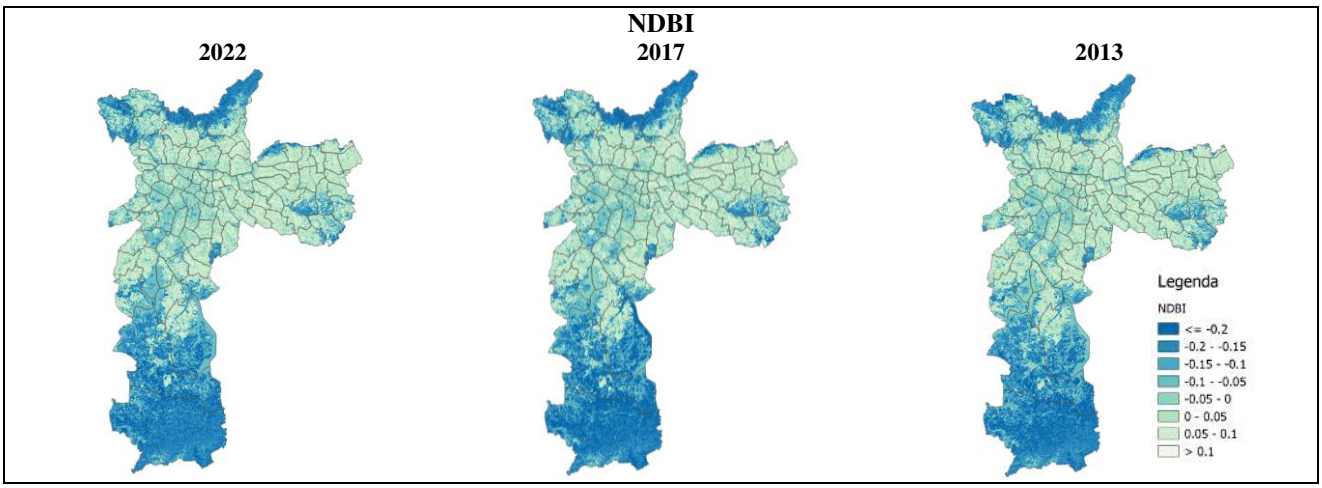


Figura 4: Mapas de NDBI para os anos 2022, 2017 e 2013. Fonte: Elaborado pelos autores.

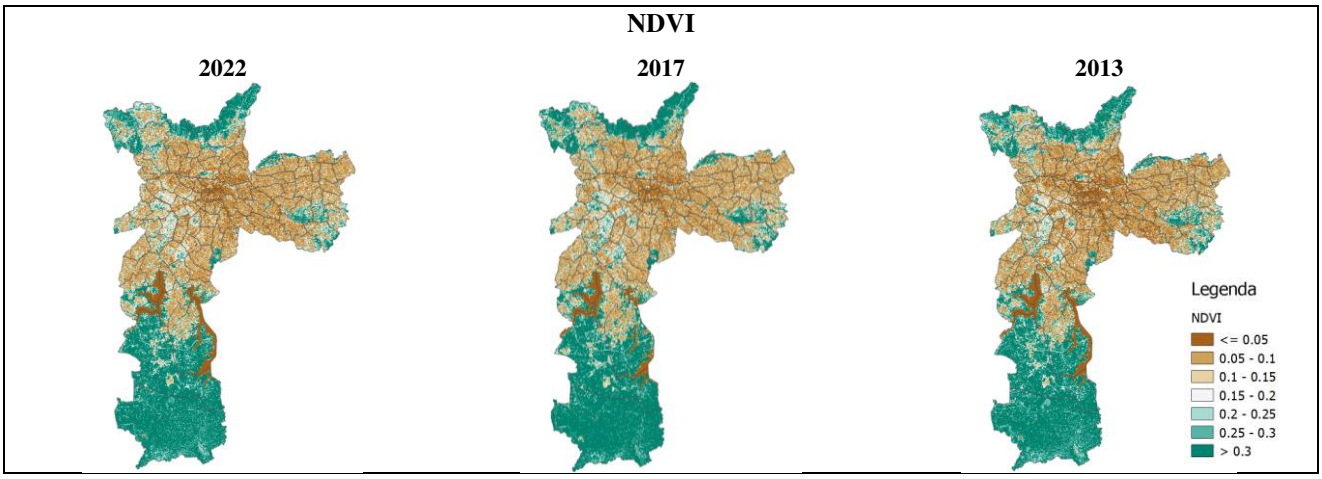
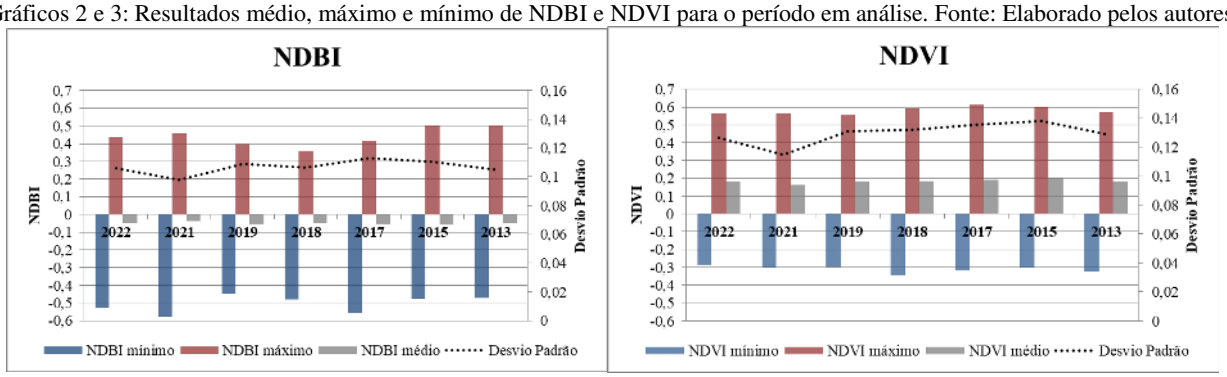


Figura 5: Mapas de NDVI para os anos 2022, 2017 e 2013. Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráficos 2 e 3: Resultados médio, máximo e mínimo de NDBI e NDVI para o período em análise. Fonte: Elaborado pelos autores.



4.3. LST

Os mapas de LST (Figura 6) são representados em uma escala gradativa de cores, em que os tons em azul caracterizam os valores mínimos, e em vermelho são retratados os valores máximos de temperatura superficial. Ao analisar os mapas é possível aferir uma elevada variação térmica devido à concentração urbana, em que os locais com altos valores de NDBI e baixo NDVI apresentaram maiores temperaturas superficiais.

O diagnóstico dos anos demonstra que para 2013, 2015 e 2017 há maiores valores de LST, com máximas próximas de 45ºC. Os dados de temperatura média apresentaram uma oscilação de 9ºC aproximadamente, com menores valores para o ano de 2019 e máximas correspondentes ao ano de 2015 (Gráfico 4).

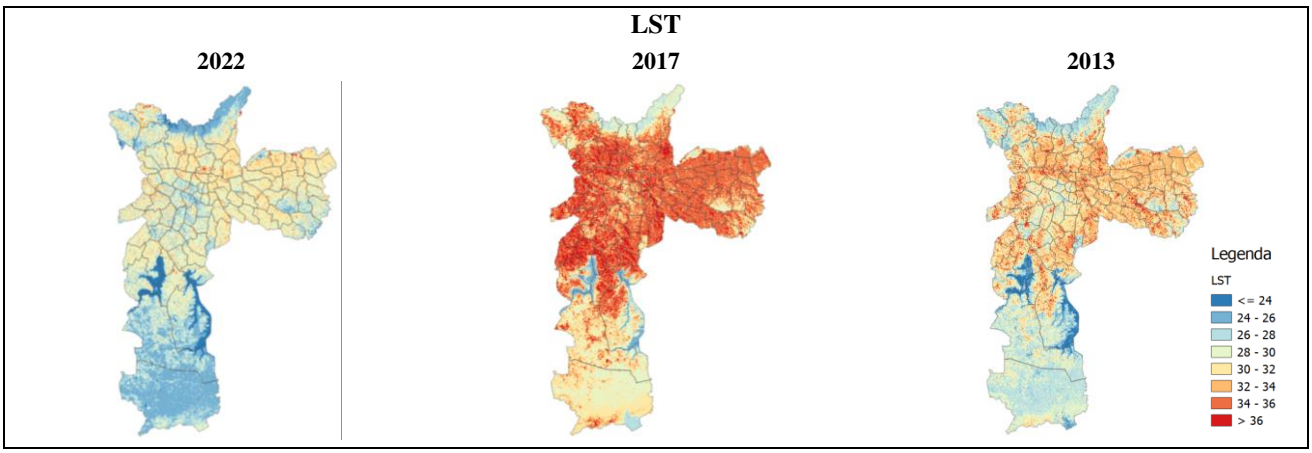
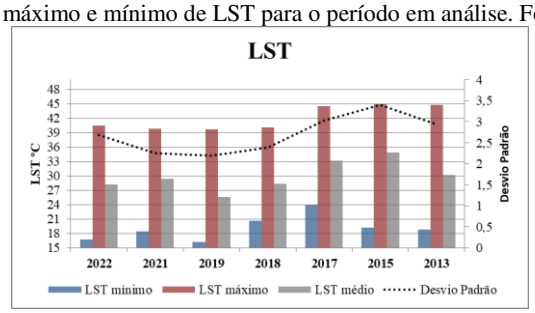


Figura 6: Mapas de LST para os anos 2022, 2017 e 2013. Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4: Resultados médio, máximo e mínimo de LST para o período em análise. Fonte: Elaborado pelos autores.



4.4. UFTVI e SUHI

O UTFVI caracteriza a qualidade da ecologia urbana e é um importante indicativo do efeito da ilha de calor. Na Figura 7 o índice é demonstrado em uma escala de cores, em que quanto mais próximo ao vermelho maiores são os valores indicados.

Para o período de análise é possível observar uma similaridade entre valores de UTFVI, em que se repetem os padrões de NDBI e NDVI, com maiores ocorrências no centro e zona leste de São Paulo.

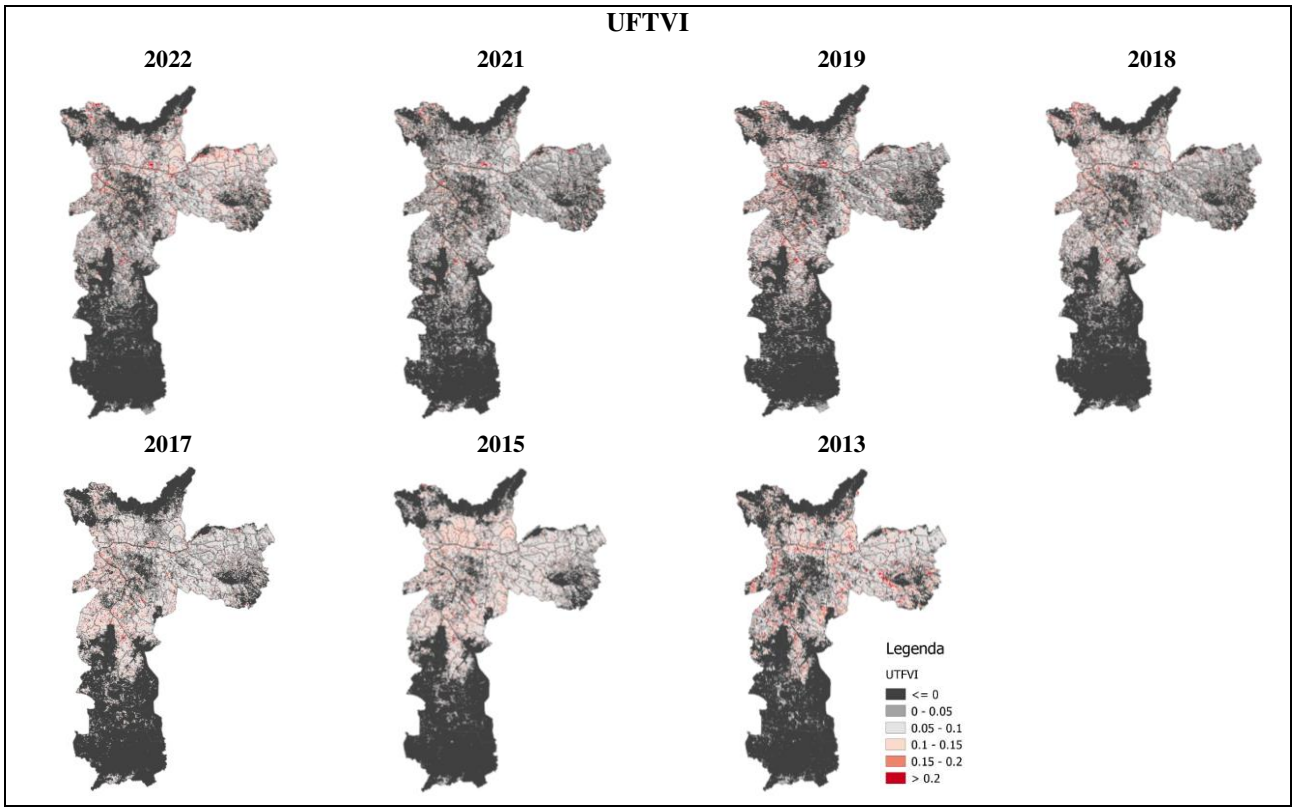


Figura 7: Mapas de UFTVI para os anos 2022, 2021, 2019, 2018, 2017, 2015 e 2013. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 8 indica os valores de SUHI da área de estudo em diferentes períodos, ao qual é possível notar uma repetição dos episódios demonstrados pelo UFTVI. Os mapas de SUHI revelam os locais em que a área urbana é mais afetada pela concentração urbana, conforme demonstrado pelo NDBI.

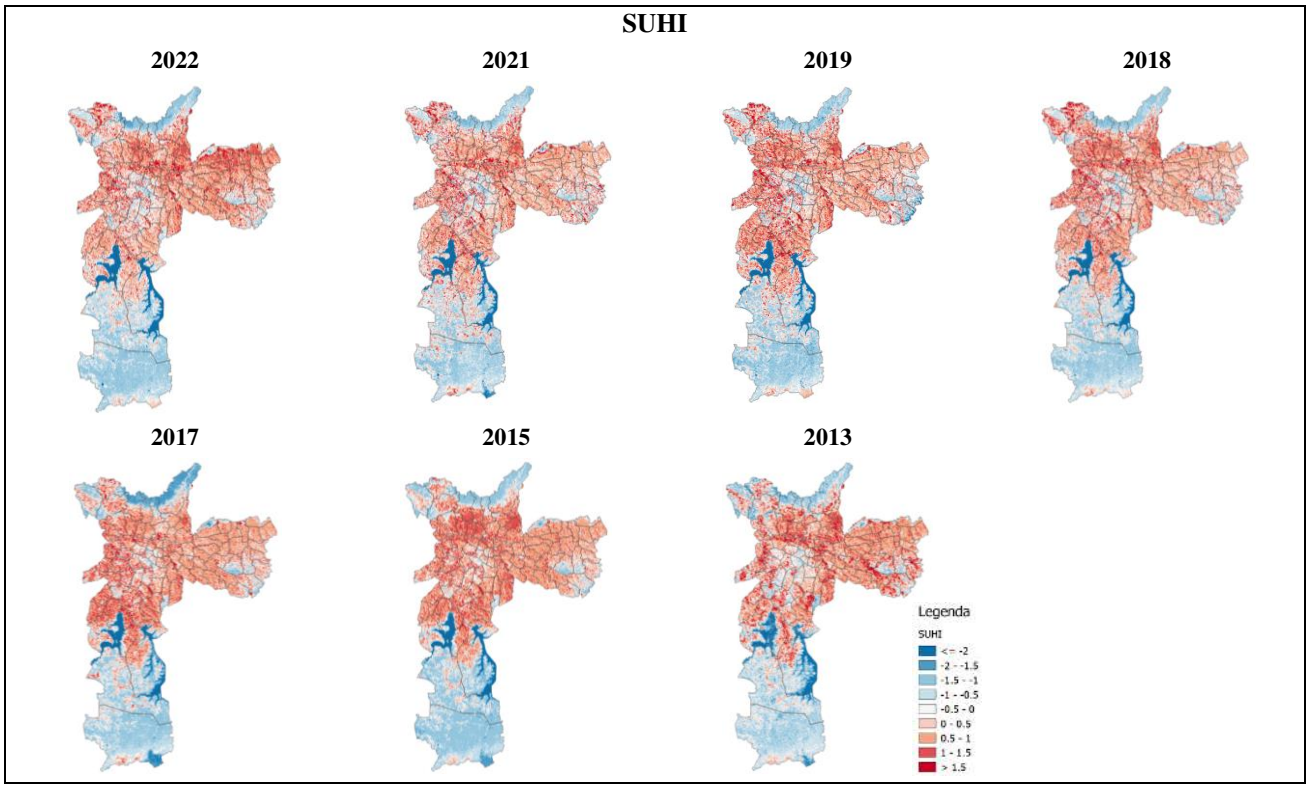


Figura 8: Mapas de SUHI para os anos 2022, 2021, 2019, 2018, 2017, 2015 e 2013. Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa parte da problemática de que as ações antrópicas instituem uma alteração do uso e ocupação do solo, modificando o balanço radiativo e ocasionando o surgimento de ilhas de calor urbanas. A análise da UHI pode ser realizada por dados meteorológicos, para as ilhas de calor atmosféricas, ou por sensoriamento remoto, para as ilhas de calor superficiais.

Dessa forma, o trabalho objetivou verificar comparativamente a temperatura superficial e indicadores geoespaciais para análise da variação ambiental na cidade de São Paulo a fins de investigar a ocorrência de ilha de calor superficial. Para tanto foi utilizado o método de sensoriamento remoto, com dados provenientes do Landsat 8 em um recorte temporal de nove anos. As variáveis relacionadas são o uso e ocupação do solo, o NDBI, o NDVI e o LST. A partir desses dados foi possível elaborar os mapas de UTFVI e SUHI.

Os resultados demonstraram que nos locais com elevada concentração urbana, em destaque à região central e zona leste, há um aumento da temperatura superficial e a formação de ilha de calor superficial recorrente para todo o período em análise, com piores resultados de UFTVI. As regiões perimetrais apresentam um maior predomínio de áreas vegetadas e menores valores de NDBI.

Para o recorte temporal avaliado não foi possível aferir uma progressão espacial da SUHI, para os trabalhos futuros prevê-se analisar um período maior com dados provenientes dos satélites Landsat 5 e 7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. R.; TEODORO, A. C.; GONÇALVES, A. **Study of the urban heat island (Uhi) using remote sensing data/techniques: A systematic review**. [*S. l.*]: MDPI, 2021.

AMORIM, M. C. DE C. T. Ilhas de Calor Urbanas: Métodos e Técnicas de Análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 1976, p. 361–376, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 7, 2005.

BAHADUR. NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7,8. **Geomatics for Sustainable Development**, 2018.

BAHI, H.; MASTOURI, H.; RADOINE, H. Review of methods for retrieving urban heat islands. **Materials Today: Proceedings**, v. 27, p. 3004–3009, 2020.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geousp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.

Congedo, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. Journal of Open Source Software, 6(64), 3172, https://doi.org/10.21105/joss.03172.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical continental climate. Urban Climate, v. 28, n. April, p. 100461, 2019.
EFFAT, H. A.; HASSAN, O. A. K. Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. **Urban Climate**, [*s. l.*], v. 10, n. P1, p. 171–188, 2014.
FAISAL, A. Al *et al.* Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. **Environmental Challenges**, [*s. l.*], v. 4, 2021.
FARHAN, M. *et al.* Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat Island using optical remote sensing data : A case study of Jeju Island , Republic of Korea. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 222, n. April, p. 109368, 2022.
FERREIRA, D. G.; A. A influência da superfície urbana na variação da temperatura de superfície : uma proposta metodológica de análise. [*s. l.*], 2021.
FERREIRA, L. S. vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. [s.l.] FAU USP, 2019.
FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. H. S. Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. Urban Climate, v. 27, n. July 2018, p. 105–123, 2019.
FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista ACTA Geográfica**, [*s. l.*], p. 61–76, 2012.
FILHO, P. C. de O. *et al.* Análise da influência do uso da terra no microclima urbano: Caso Irati-PR. **Floresta e Ambiente**, [*s. l.*], v. 22, n. 4, p. 465–471, 2015.
GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. de P.; TARGINO, A. C. de L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina - PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [*s. l.*], v. 29, n. 4, p. 537–550, 2014.
GARCÍA, D. H.; DÍAZ, J. A. Space–time analysis of the earth's surface temperature, surface urban heat island and urban hotspot: relationships with variation of the thermal field in Andalusia (Spain). **Urban Ecosystems**, [*s. l.*], 2023.
HALDER, B. *et al.* Investigating the relationship between land alteration and the urban heat island of Seville city using multi-temporal Landsat data. **Theoretical and Applied Climatology**, [*s. l.*], v. 150, n. 1–2, p. 613–635, 2022.
HALDER, B.; HAGHBIN, M.; FAROOQUE, A. A. An Assessment of Urban Expansion Impacts on Land Transformation of Rajpur-Sonarpur Municipality. **Knowledge-Based Engineering and Sciences**, [*s. l.*], v. 2, n. 3, p. 34–53, 2021.
LOMBARDO, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Huci- tec/Lalekla, 1985.
MONTEIRO, F. F. et al. Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, v. 35, n. September 2020, 2021.
NDOSSI, M. I.; AVDAN, U. Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat: A PyQGIS plugin. **Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 8, n. 5, 2016.
OLIVEIRA, A. B. de F.; GIACAGLIA, M. E. Collaborative or adversarial production and BIM: a method for better understanding of contracting types, based on BPMN. [*s. l.*], n. Figure 1, p. 581–589, 2018.
OLIVEIRA, A. P. *et al.* Assessing Urban Effects On The Elimate Of Metropolitan Regions Of Brazil - Preliminary Results Of The MCITY BRAZIL Project. **Exploratory Environmental Science Research**, [*s. l.*], v. 1, n. 1, p. 38–77, 2020.
OKE, T. R. City Size and the Urban Heat Island. **Atmospheric Environment Pergamon Pres**, v. 7, p. 769–77, 1973.
OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London Methuen & CO, 1978.
OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1–3, p. 103–113, 1988.
PERES, L. DE F. et al. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 64, n. August 2017, p. 104–116, 2018.
RAHMAN, M. N. *et al.* Impact of Urbanization on Urban Heat Island Intensity in Major Districts of Bangladesh Using Remote Sensing and Geo-Spatial Tools. **Climate**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, 2022.
RENARD, F. *et al.* Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. **Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 11, n. 3, 2019.
RODRIGUEZ-GALIANO, V. *et al.* Downscaling Landsat 7 ETM+ thermal imagery using land surface temperature and NDVI images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [*s. l.*], v. 18, n. 1, p. 515–527, 2012.
SILVA, K. A. da *et al.* Analysis of vegetation dynamics using the normalized difference vegetation index (NDVI) at the archipelago of Fernando de Noronha, Pernambuco, Brazil. **Interações (Campo Grande)**, [*s. l.*], p. 885–901, 2020.
STREUTKER, D. R. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. **Remote Sensing of Environment**, [*s. l.*], v. 85, n. 3, p. 282–289, 2003.
USGS. Landsat Missions. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con> . Acesso em: 20 ago. 2023.
VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, [*s. l.*], v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.
WANG, W. *et al.* Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. **Physics and Chemistry of the Earth**, [*s. l.*], v. 110, n. September 2018, p. 168–175, 2019.
WULDER, M. A. *et al.* The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. **Remote Sensing of Environment**, [*s. l.*], v. 185, p. 271–283, 2016.
ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003.
ZHANG, Y.; ODEH, I. O. A.; HAN, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [*s. l.*], v. 11, n. 4, p. 256–264, 2009.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Projeto nº 2022/02552-0; e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (88887.833726/2023-00).