



## **Mapeamento de Ilhas de Calor Urbanas na Conurbação Urbana de Cuiabá – Várzea Grande/MT por Sensoriamento Remoto**

### **Fábio Friol Guedes de Paiva**

Professor Doutor, UNIVAG, Brasil

Fabio.paiva@univag.edu.br

ORCID iD: 0000-0001-5143-2952

### **Natallia Sanches e Souza**

Professora Doutora, UNIVAG, Brasil

Natallia@univag.edu.br

ORCID iD: 0000-0002-2950-4611

Submissão: 10/08/2024

Aceite: 12/10/2024

PAIVA, Fábio Friol Guedes de; SOUZA, Natallia Sanches e. Mapeamento de Ilhas de Calor Urbanas na Conurbação Urbana de Cuiabá – Várzea Grande/MT por Sensoriamento Remoto. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 20, n. 5, 2024. DOI: [10.17271/1980082720520245209](https://doi.org/10.17271/1980082720520245209). Disponível

em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/5209](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5209)

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **Mapeamento de Ilhas de Calor Urbanas na Conurbação Urbana de Cuiabá – Várzea Grande/MT por Sensoriamento Remoto**

### **RESUMO**

**Objetivo** – O processo de urbanização tem provocado mudanças significativas na cobertura vegetal e, como consequência, na temperatura da superfície terrestre, resultando em anomalias térmicas caracterizadas pela formação de ilhas de calor de superfície. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi investigar a correlação entre a expansão urbana a partir do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), a Temperatura da Superfície Terrestre (LST) e as Ilhas de Calor Urbanas Superficiais (SUHI) nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, comparando os períodos de 2016 e 2024.

**Metodologia** - A metodologia adotada consistiu na análise de imagens de satélite Landsat 8, em três etapas: (1) coleta e exportação de imagens; (2) processamento dos dados para geração do NDVI, LST e SUHI; e (3) elaboração dos mapas.

**Originalidade/relevância** - O estudo aborda uma lacuna teórica em pesquisas sobre ilhas de calor urbanas no Centro-Oeste brasileiro, revelando as implicações ambientais e urbanas do rápido crescimento dessas cidades por meio de diferentes métodos de sensoriamento remoto.

**Resultados** - Os resultados indicaram um aumento das temperaturas nas áreas urbanas, associado à expansão de superfícies impermeáveis e à redução da cobertura vegetal. Observou-se uma maior amplitude térmica no período seco e uma correlação inversa entre o NDVI e as SUHIs, especialmente no período úmido, indicando a vegetação como mitigadora das ilhas de calor.

**Contribuições teóricas/metodológicas** - O estudo contribui para a análise das ilhas de calor no Centro-Oeste brasileiro, correlacionando NDVI e SUHI, além de integrar sensoriamento remoto para analisar urbanização e as mudanças térmicas sazonais em cidades tropicais.

**Contribuições sociais e ambientais** - Evidencia-se que a preservação da vegetação urbana é fundamental para atenuar os efeitos das ilhas de calor, sendo essencial considerar esses indicadores na gestão urbana de cidades médias em expansão, situadas em clima tropical.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mato Grosso. Urbanização. Sensoriamento remoto. Cidades médias. Clima tropical.

## **Mapping of Urban Heat Islands in the Urban Conurbation of Cuiabá – Várzea Grande/MT by Remote Sensing**

### **ABSTRACT**

**Objective** – The urbanization process has caused significant changes in vegetation cover and, as a consequence, in the temperature of the Earth's surface, resulting in thermal anomalies characterized by the formation of surface heat islands. Thus, the objective of this study was to investigate the correlation between urban expansion based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Surface Temperature (LST) and Surface Urban Heat Islands (SUHI) in the cities of Cuiabá and Várzea Grande, Mato Grosso, Brazil, comparing the periods of 2016 and 2024.

**Methodology** – The methodology adopted consisted of analyzing Landsat 8 satellite images in three stages: (1) collecting and exporting images; (2) processing the data to generate NDVI, LST and SUHI; and (3) preparing the maps.

**Originality/Relevance** – The study addresses a theoretical gap in research on urban heat islands in the Brazilian Midwest, revealing the environmental and urban implications of the rapid growth of these cities through different remote sensing methods.

**Results** – The results indicated an increase in temperatures in urban areas, associated with the expansion of impervious surfaces and the reduction of vegetation cover. A greater thermal amplitude was observed in the dry period and an inverse correlation between NDVI and SUHIs, especially in the wet period, indicating vegetation as a mitigator of heat islands.

**Theoretical/Methodological Contributions** – The study contributes to the analysis of heat islands in the Brazilian Midwest, correlating NDVI and SUHI, in addition to integrating remote sensing to analyze urbanization and seasonal thermal changes in tropical cities.

**Social and Environmental Contributions** – It is clear that preserving urban vegetation is essential to mitigate the effects of heat islands, and it is essential to consider these indicators in the urban management of expanding medium-sized cities located in a tropical climate.

**KEYWORDS:** Mato Grosso. Urbanization. Remote sensing. Medium-sized cities. Tropical climate.

## Mapeo de Islas de Calor Urbano en la Conurbación Urbana de Cuiabá – Várzea Grande/MT por Teledetección

### RESUMEN

**Objetivo** – El proceso de urbanización ha provocado cambios significativos en la cobertura vegetal y, como consecuencia, en la temperatura de la superficie terrestre, dando lugar a anomalías térmicas caracterizadas por la formación de islas de calor superficiales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la correlación entre la expansión urbana con base en el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI), la Temperatura Superficial del Terreno (LST) y las Islas de Calor Urbanas Superficiales (SUHI) en las ciudades de Cuiabá y Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, comparando los períodos de 2016 y 2024.

**Metodología** – La metodología adoptada consistió en el análisis de imágenes del satélite Landsat 8, en tres etapas: (1) recolección y exportación de imágenes; (2) procesamiento de datos para generar NDVI, LST y SUHI; y (3) preparación de mapas.

**Originalidad/Relevancia** – El estudio aborda un vacío teórico en la investigación sobre islas de calor urbanas en el Medio Oeste brasileño, revelando las implicaciones ambientales y urbanas del rápido crecimiento de estas ciudades a través de diferentes métodos de teledetección.

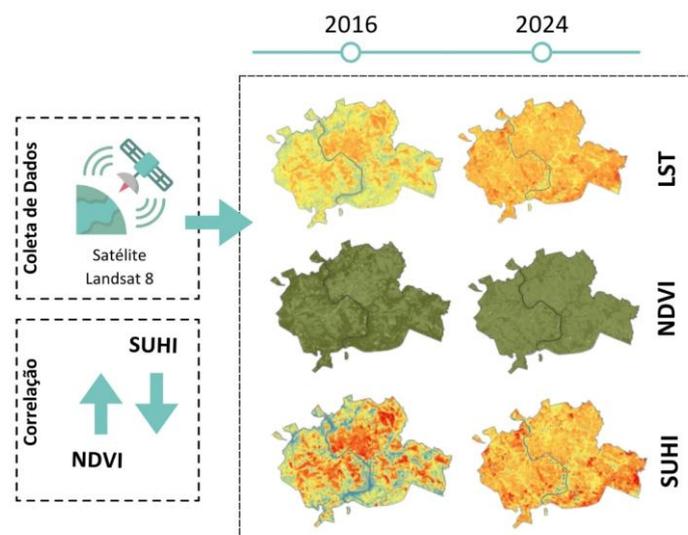
**Resultados** – Los resultados indicaron un aumento de las temperaturas en las zonas urbanas, asociado a la expansión de superficies impermeables y una reducción de la cobertura vegetal. Se observó una mayor amplitud térmica en el período seco y una correlación inversa entre NDVI y SUHI, especialmente en el período húmedo, lo que indica la vegetación como un mitigador de islas de calor.

**Contribuciones Teóricas/Metodológicas** – El estudio contribuye al análisis de islas de calor en el Centro-Oeste brasileño, correlacionando NDVI y SUHI, además de integrar teledetección para analizar la urbanización y los cambios térmicos estacionales en ciudades tropicales.

**Contribuciones Sociales y Ambientales** – Es evidente que la preservación de la vegetación urbana es fundamental para mitigar los efectos de las islas de calor, y es fundamental considerar estos indicadores en la gestión urbana de ciudades de tamaño mediano en expansión, ubicadas en un clima tropical.

**PALABRAS CLAVE:** Mato Grosso. Urbanización. Teledetección. Ciudades medianas. Clima tropical.

### RESUMO GRÁFICO



## 1 INTRODUÇÃO

A ONU (2022) relata que em 2050 é esperado que a população urbana cresça de 5,6 para 9,7 bilhões, concentrando 70% da população em zonas urbanas no mundo. Com a expansão das cidades, a paisagem natural é substancialmente modificada pela grande concentração de casas, instalações industriais, adensamento populacional e pavimentação asfáltica, que, por sua vez, criam condições para alterar o comportamento dos ecossistemas urbanos (Rosenzweig *et al.*, 2015; IPCC, 2007).

No Brasil, 87% da população já vive em áreas urbanas, sendo que a maior parte reside em cidades médias com população entre 250.000 e 700.000 habitantes. Esse é o caso de Cuiabá e Várzea Grande, no estado de Mato Grosso, com população de 650.877 hab. e densidade demográfica de 150,1 hab./km<sup>2</sup>, e 300.078 hab. e densidade demográfica de 414,31 hab./km<sup>2</sup>, respectivamente (IBGE, 2022). Dessa forma, a urbanização transforma a cobertura do solo, influenciando o comportamento espectral quando a superfície terrestre é avaliada. A partir disso, é possível analisar e correlacionar as mudanças da cobertura do solo com a temperatura da superfície terrestre, utilizando métodos indiretos de obtenção de dados, com destaque para o sensoriamento remoto (Sharma; Ghosh; Joshi, 2013).

O Sensoriamento Remoto (SR) tem sido amplamente utilizado em áreas urbanas para diversos fins, como a avaliação de ilhas de calor, a classificações da cobertura do solo e a geração de dados para modelos de balanço de energia entre a atmosfera e a superfície urbana. Devido ao crescimento das cidades provocar mudanças no comportamento espectral da cobertura do solo, essas alterações podem ser caracterizadas por meio de índices espectrais obtidos por SR. O índice espectral NDVI é amplamente adotado em estudos de vegetação, ademais pode ser utilizado no cálculo da temperatura de brilho para caracterizar a ilha de calor (Siqueira, 2019). Estudos recentes vêm avaliando a correlação do índice de Vegetação de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) com a Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature* – LST) (Guha; Govil, 2022; Ullah *et al.*, 2023; Aghazadeh *et al.*, 2023).

O NDVI é um índice utilizado para medir a densidade e a saúde da vegetação, enquanto o LST é um parâmetro físico relacionado ao fluxo de calor, determinado pela energia absorvida e liberada por um material. O estudo de Garai *et al.* (2022) demonstrou que o crescimento da vegetação está relacionado com a temperatura de superfície e com a precipitação, onde a vegetação tem um papel microclimático importante para temperaturas mais amenas, reforçando a priorização de estratégias de promoção de áreas verdes com vegetação nativa em áreas urbanas. Em um estudo similar, imagens do satélite Landsat 8 (TIRS) foram extraídas e processadas para avaliar a correlação de NDVI, LST e uso e cobertura do solo (*Land use land cover* – LULC), conforme avaliado por Ullah *et al.* (2023). Os autores observaram que superfícies impermeáveis apresentam LST mais elevado em comparação com superfícies permeáveis, sendo esse comportamento influenciado por fatores como o efeito de resfriamento da evapotranspiração, a rugosidade da superfície, o albedo e a radiação solar. Além disso, os resultados de correlação entre NDVI e LST indicaram uma forte relação estatística negativa em



áreas vegetadas e uma correlação moderada em superfície de terra nua ou construídas, a qual aumenta proporcionalmente com a umidade da superfície, conforme a sazonalidade.

Outro aspecto importante que pode ser avaliado é o impacto das ilhas de calor urbanas superficiais (*Surface Urban Heat Island* – SUHI) no período diurno e noturno, relacionando-as com o NDVI, o solo urbano e os poluentes atmosféricos. As SUHIs são anomalias térmicas resultantes de diferentes absorções e armazenamentos de energia solar através dos materiais, sejam artificiais ou naturais. Segundo o estudo de Aghazadeh *et al.* (2023), durante o dia, há uma correlação direta entre SUHI, uso do solo, vegetação e poluentes em áreas densamente industrializadas e populosas ao longo do tempo. Já à noite, todos os tipos de uso do solo possuem correlação direta com as ilhas de calor, sendo os poluentes PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> com as maiores correlações em todos os períodos do dia. A comparação entre SUHI e NDVI revelou uma correlação inversa tanto durante o dia quanto à noite. Dessa forma, podemos concluir que o sensoriamento remoto e as técnicas geoespaciais têm se consolidado como ferramentas importantes para a análise urbana, permitindo o monitoramento eficiente de fenômenos complexos como ilhas de calor e a avaliação de indicadores ambientais, como o NDVI.

Apesar das contribuições científicas existentes sobre NDVI, LST e SUHI em nível mundial, carecem de estudos voltados para a região Centro-oeste do Brasil. Essa ausência é particularmente evidente em cidades de médio porte, como Cuiabá e Várzea Grande, que são as mais populosas do estado de Mato Grosso. Várzea Grande, em particular, destaca-se por apresentar a maior densidade demográfica, o que intensifica os desafios ambientais e urbanos. Dessa forma, o estudo busca avaliar as correlações entre esses indicadores no intervalo espaço-temporal de 2016 a 2024, considerando os períodos seco (inverno) e úmido (verão), com o objetivo de identificar as mudanças ocorridas ao longo desse período. Uma compreensão mais aprofundada da evolução da SUHI ao longo do período analisado pode apoiar as administrações públicas e planejadores urbanos na tomada de decisões. Essas decisões visariam a implementação de medidas que mitiguem os impactos de fenômenos que alteram o clima urbano, como as Ilhas de Calor Urbanas.

## **2 METODOLOGIA**

O método de pesquisa foi estruturado em três fases principais. Na Fase 1, realizou-se a coleta de dados do satélite Landsat 8, com a exportação de imagens raster da região da conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande, MT. Na Fase 2, as imagens foram processadas para análise de Temperatura da Superfície Terrestre (LST), do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e das Ilhas de Calor Urbanas Superficiais (SUHI). Na Fase 3, os dados processados foram utilizados para a elaboração de mapas e a análise das variáveis de influência.

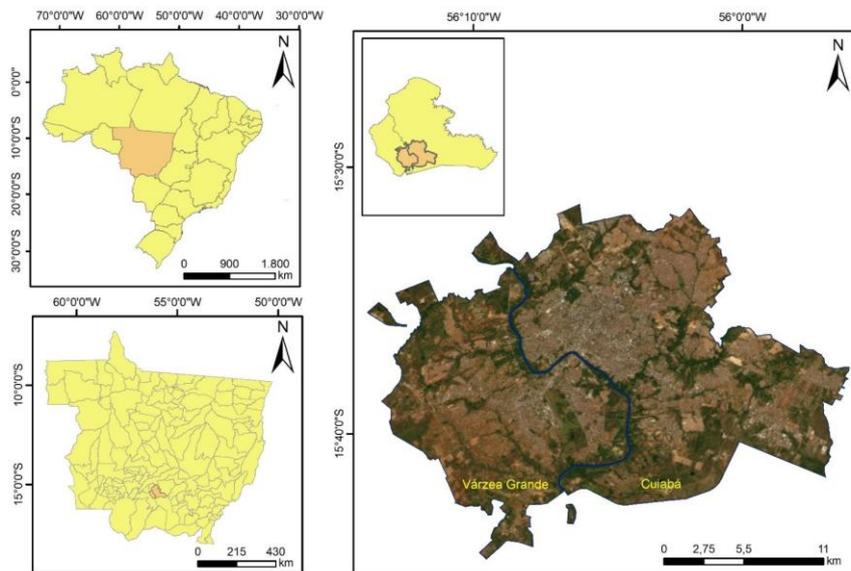
### **2.1 Área de Estudo**

A área de estudo abrange o perímetro urbano da conurbação de Cuiabá e Várzea Grande, localizadas no estado de Mato Grosso, Brasil, e integram a Região Metropolitana do

Vale do Rio Cuiabá-RMVRC, instituída pela Lei Complementar n.359 de 2009 e modificada pela Lei Complementar 796 de 2024, composta por sete municípios: Cuiabá, Várzea Grande, Campo Verde, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger, Acorizal e Chapada dos Guimarães.

A conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande, localizada na porção centro-sul do estado de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, é marcada pelo Rio Cuiabá, que serve como limite natural entre os dois municípios. A integração entre eles é facilitada pelas pontes que conectam as margens, promovendo maior fluidez nos deslocamentos (Figura 1).

Figura 1 – Localização da conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande no estado de Mato Grosso, Brasil.



Fonte: elaboração dos autores, 2024

Cuiabá e Várzea Grande são as duas maiores cidades do estado de Mato Grosso, com populações de 650.877 e 300.078 habitantes, respectivamente, segundo o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O crescimento populacional, acompanhado de um aumento significativo na taxa de urbanização, foi mais acentuada nas décadas de 1970 e 1980. Nesse período, Cuiabá dobrou sua população, enquanto Várzea Grande quadruplicou o número de habitantes (Alves; Silva, 2023).

Embora Várzea Grande tenha uma população menor em comparação a Cuiabá, apresenta uma densidade demográfica significativamente mais alta, com 414,31 hab./km<sup>2</sup> em uma área urbanizada de 86,24 km<sup>2</sup>. Em contrapartida, Cuiabá possui uma área urbanizada maior, de 126,9 km<sup>2</sup>, mas com densidade demográfica consideravelmente inferior, de 160,59 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Considerando as mudanças demográficas no período investigado, a comparação entre os censos demográficos do IBGE indica um aumento aproximado de 17% para Cuiabá e 15% para Várzea Grande.

Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, é conhecida pelo seu rigor climático, sendo frequentemente mencionada como a cidade mais quente do Brasil (G1, 2024). Conforme a classificação climática de Köppen (Beck *et al.*, 2018), a área de estudo apresenta um clima

tropical semiúmido (Aw), caracterizado por um período quente e seco (inverno), de maio a setembro, e um período quente e úmido (verão), de novembro a abril. Em Cuiabá e Várzea Grande, a média mensal de temperatura é 26,26 °C, a de precipitação é de 116,5 mm, e a de radiação solar é de 590,18 W/m<sup>2</sup>. A vegetação predominante na região é típica do Cerrado, conforme dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2024).

Ambos os municípios possuem economias voltadas para os setores secundário e terciário modernos, com diversas instalações de grandes empresas. De acordo com o IBGE, Cuiabá apresenta um PIB per capita de R\$ 47.700,88 e um Índice de Desenvolvimento Humano municipal (IDHM) de 0,785. Várzea Grande registra um PIB per capita de R\$ 34.151,42 e um IDHM de 0,734.

## 2.2 Coleta de Dados

Para o estudo foi considerado apenas imagens sem nuvens no perímetro urbano dos municípios analisados. Foram extraídas imagens dos períodos quente-seco (inverno) e quente-úmido (verão) dos anos de 2016 e 2024, com objetivo de comparar os períodos, bem como os efeitos do processo de urbanização na vegetação urbana e na temperatura da superfície terrestre. Devido ao satélite Landsat 8 ser recente, lançado em 2013, além ser o único de acesso gratuito a bandas termais, apenas em 2016 foi possível obter imagens raster com os parâmetros necessários para os períodos de inverno e verão. Dessa forma, tornou-se viável realizar uma análise comparativa com os dados mais recentes disponíveis, de 2024. Para a obtenção das imagens, foi utilizado o satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros. Foram selecionadas imagens com proximidade de 15 dias para os mesmos períodos de inverno e verão, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Informações sobre as 4 imagens Landsat 8 usadas neste estudo.

| Dados Landsat 8        | Estação no Hemisfério Sul |
|------------------------|---------------------------|
| 19 de abril de 2016    | Verão                     |
| 10 de setembro de 2016 | Inverno                   |
| 25 de abril de 2024    | Verão                     |
| 31 de agosto de 2024   | Inverno                   |

Fonte: elaboração dos autores, 2024

## 2.3 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)

Os dados utilizados para o cálculo do NDVI foram extraídos a partir da banda de Infravermelho Próximo (NIR) e da banda Vermelha (RED), correspondendo, respectivamente, às bandas 5 e 4 do satélite Landsat 8 OLI/TIRS da coleção 2, nível 2. O cálculo seguiu a Equação 1 (Sabrino *et al.*, 2004):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Os valores de NDVI variam entre -1,0 e +1,0. Áreas com vegetação densa, como florestas, tendem a apresentar valores positivos altos, entre 0,5 e 1,0. Vegetação esparsa, como

gramíneas, possui valores positivos mais baixos, aproximadamente entre 0,2 e 0,5. Solos expostos apresentam valores ainda menores, geralmente entre 0,1 e 0,2. Os corpos d'água exibem valores negativos.

#### 2.4 Temperatura da Superfície Terrestre (LST)

Os dados de temperatura foram extraídos do satélite Landsat 8 OLI/TIRS, coleção 2, nível 2, utilizando-se os dados primários em número digital obtidos da banda 10 de infravermelho térmico. No entanto, como o Landsat 8 não fornece cálculos de emissividade da superfície, foi necessário usar um algoritmo de emissividade da superfície terrestre para estimá-la com base no NDVI, conforme descrito por Waleed e Sajjad (2022). A primeira etapa do processo consiste em calcular a proporção de vegetação ( $P_v$ ) a partir da Equação 2.

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right)^2 \quad (2)$$

A partir do resultado da proporção de vegetação ( $P_v$ ), foi calculada a emissividade ( $\epsilon$ ), conforme a Equação 3:

$$\epsilon = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (3)$$

Antes de calcular a LST, foi necessário converter a temperatura de brilho ( $T_B$ ) para Kelvin (K), a partir da Equação 5, onde:  $L\lambda$  corresponde à radiância espectral;  $K_1$  e  $K_2$  são valores extraídos da constante de calibração do sensor do satélite, sendo 774,89 e 1321,08, respectivamente.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L\lambda} + 1 \right)} \quad (4)$$

O cálculo final da LST, em graus Célsius ( $^{\circ}C$ ), foi realizado utilizando a Equação 5. A expressão  $S_T$  é a Temperatura da Superfície Terrestre;  $T_B$  corresponde a temperatura de brilho (em graus Kelvin) extraída da banda 10 do satélite Landsat 8;  $\lambda$  corresponde ao comprimento de onda da radiância emitida;  $\rho = 1,438 \times 10^{-2}$  mK.

$$S_T = \frac{T_B}{1 + \left( \frac{\lambda \times T_B}{\rho} \right) \ln \epsilon} - 273,15 \quad (5)$$

#### 2.5 Ilhas de Calor Urbanas Superficiais (SUHI)

De acordo com a literatura (Naikoo, 2024; Ma; Peng, 2022), as SUHIs estão diretamente relacionadas ao uso e à cobertura da terra, bem como à presença de cobertura vegetal, mostrando a intensidade do estresse por calor em áreas geográficas, podendo ser calculada independentemente em áreas urbanas e rurais (Faisal *et al.*, 2021). Para comparar as SUHIs pelas

variações observadas no LST, foi utilizado um método normalizado que permite a análise em diferentes estações do ano. Esse cálculo foi realizado por meio da Equação 6:

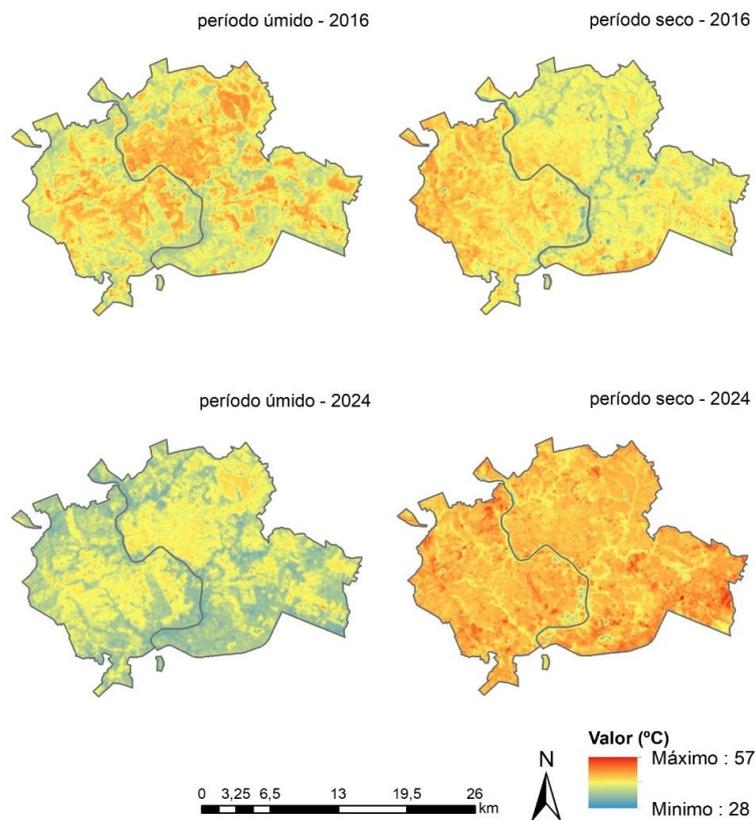
$$SUHI_N = \frac{T_s - T_M}{T_{Std}} \quad (6)$$

Onde  $SUHI_N$  é a SUHI normalizada;  $T_s$  é o LST;  $T_M$  é o LST médio da área de estudo; e  $T_{std}$  é o desvio padrão da LST da área de estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, no período úmido, a média da temperatura da superfície é menor em comparação ao período seco. Esse comportamento é esperado devido à maior umidade relativa do ar, à maior cobertura de nuvens e à menor incidência de radiação solar direta (Souza, 2016). No período seco dos dois anos analisados, observa-se uma intensificação das áreas de aquecimento, especialmente nas zonas de maior adensamento urbano e solos expostos, resultando em temperaturas de superfície mais elevadas, atingindo aproximadamente 57 °C, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Temperatura de Superfície (LST) na conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande-MT



Fonte: elaboração dos autores, 2024



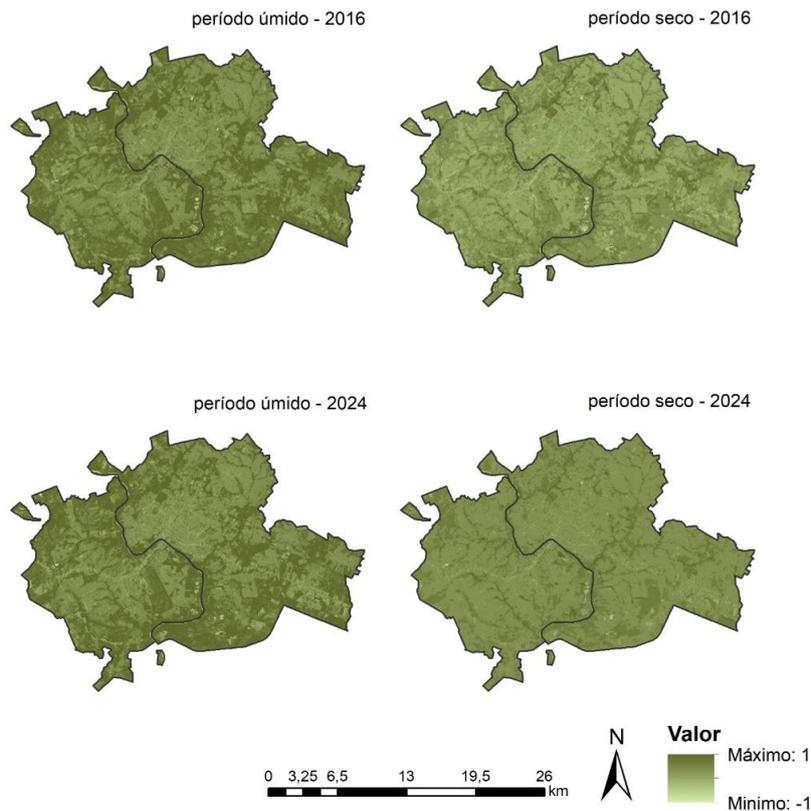
Destaca-se, no período quente-seco, o aumento da cobertura de solo exposto, em razão da ausência de eventos de precipitação, aumentando o aquecimento urbano, devido ao solo exposto ter menor condutividade térmica, o que ocasiona temperaturas mais elevadas durante o dia (Silva *et al.* 2018).

Com relação a amplitude de temperatura de superfície entre os períodos e anos, afirma-se que a variação nos períodos secos foi de 29 e 26 °C nos anos 2016 e 2024, respectivamente. Nos períodos úmidos foi de 22 e 24 °C nos anos de 2016 e 2024, respectivamente. Sendo que as porções mais aquecidas na cidade de Cuiabá foram as porções oeste e norte em 2016, enquanto em 2024 foi a porção sul. Avaliando a cidade de Várzea Grande a porção mais aquecida foi a norte em 2016, enquanto que em 2024 apresentou um aquecimento mais distribuído em seu território.

A variação temporal da temperatura de superfície entre os anos de 2016 e 2024 indica as diversas mudanças de cobertura do solo que ocorreram neste período. A expansão de áreas com temperaturas mais elevadas, principalmente durante o período seco, pode ser associada ao aumento de superfícies impermeáveis, resultado do processo de expansão urbana. Esse fenômeno é similar ao observado por Ullah *et al.* (2023), que destacaram a correlação entre a urbanização, impermeabilização do solo e o aumento das temperaturas de superfície em áreas urbanas.

Considerando a variação de NDVI, observa-se uma maior variação em períodos úmidos, sendo encontrado valores entre -0,95 e 0,99 em 2016 e entre -0,98 e 0,99 em 2024, Figura 3. Essa maior variação está associada às condições climáticas favoráveis nesse período, como maior disponibilidade hídrica e temperaturas do ar mais amenas em comparação ao período seco. Tais condições promovem o crescimento vegetativo, o aumento da biomassa foliar e a densidade da vegetação (Santos *et al.*, 2023).

Figura 3 – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) na conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande - MT



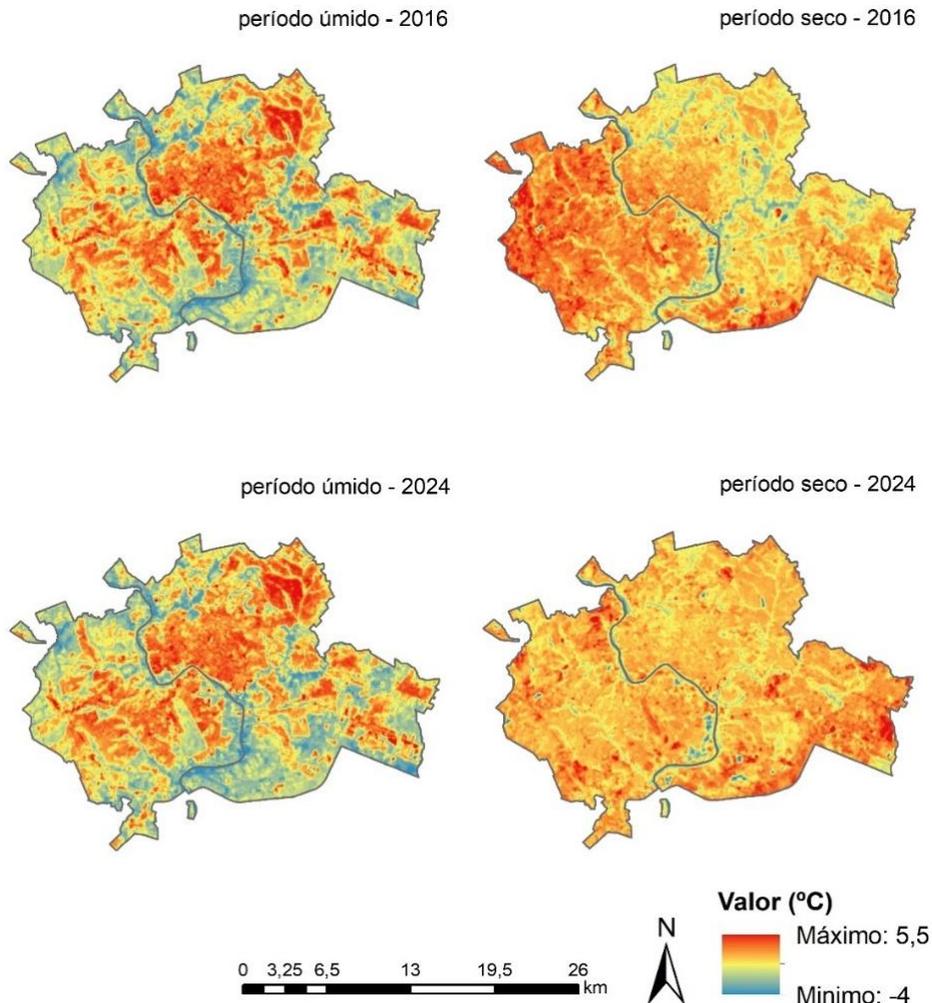
Fonte: elaboração dos autores, 2024

Quanto à espacialização do NDVI, observa-se uma maior cobertura vegetativa nas proximidades de cursos d'água, principalmente na cidade de Cuiabá. A presença desses cursos d'água reduz a deficiência hídrica e favorecem o desenvolvimento da vegetação, contribuindo para valores mais elevados de NDVI nessas áreas.

Correlacionando a temperatura superficial (Figura 2) e o NDVI (Figura 3), percebe-se que a diferença entre períodos úmidos e secos evidencia a importância da cobertura vegetal e da umidade do solo para a melhoria térmica urbana. No período seco, a redução das áreas com maior NDVI contribuiu para um aquecimento urbano mais intenso. Entre 2016 e 2024, Cuiabá registrou um aumento populacional de aproximadamente 17%, enquanto Várzea Grande apresentou um crescimento de cerca de 15%, o que também influencia na redução da cobertura vegetal, aumento de áreas de superfícies impermeáveis e, conseqüentemente, no aquecimento urbano (Zhang *et al.*, 2013).

Observando a distribuição de SUHI em relação aos períodos e anos analisados, percebe-se que em 2016 houve maior amplitude no período úmido (6,36 °C), enquanto em 2024 houve maior amplitude no período seco (6,12 °C) (Figura 4).

Figura 4 – Ilhas de Calor Urbanas Superficiais (SUHI) na conurbação urbana de Cuiabá e Várzea Grande-MT



Fonte: elaboração dos autores, 2024

Considerando que o SUHI é um dado proveniente da diferença entre os valores mais altos e mais baixos de LST, no caso do período úmido de 2016, os valores máximos de SUHI são justamente provenientes da alta variação de LST encontrada.

A análise da espacialização das SUHIs revela padrões distintos em Cuiabá e Várzea Grande. Em Cuiabá, em 2016 e 2024, durante o período úmido, o aquecimento foi mais acentuado nas regiões norte e oeste, ao passo que, durante o período seco, o aquecimento se concentrou na região sul. Em Várzea Grande, o maior aquecimento ocorre na região norte e leste nos períodos seco e úmido. Destaca-se que Várzea Grande apresenta alta densidade demográfica, com 414 hab./km<sup>2</sup>, sendo que a densidade demográfica e, conseqüentemente o adensamento urbano, ocasiona aumento de calor antropogênico e resulta no aumento de SUHI (Freitas; Azerêdo, 2020). As regiões norte e leste de Várzea Grande correspondem às áreas de urbanização mais antiga, caracterizadas por um maior adensamento populacional devido à sua proximidade e facilidade de acesso aos eixos de ligação da conurbação com Cuiabá.

Houve a incidência de ilhas de calor urbanas superficiais (valores positivos de SUHI) e ilhas de frescor superficiais (valores negativos), fenômenos relacionados à densidade urbana e à cobertura vegetal. Entretanto, no período seco há uma maior abrangência de áreas com valores positivos de SUHI, ou seja, com aquecimento urbano estabelecido. Em relação a presença de vegetação enquanto agente mitigador de fenômenos como ilhas de calor urbanas superficiais, observou-se que o NDVI apresenta maior correlação de Pearson com o SUHI no período úmido (-0,578) do que no período seco (-0,306). Esse resultado reforça o papel da vegetação na redução do aquecimento urbano, destacando que sua eficácia está diretamente relacionada à densidade arbórea presente na área (Pinheiro *et al.*, 2023).

#### 4 CONCLUSÃO

A análise das ilhas de calor urbanas superficiais (SUHI) em Cuiabá e Várzea Grande revela a influência significativa da urbanização na elevação das temperaturas superficiais, destacando a importância de estratégias de mitigação baseadas na vegetação. A correlação inversa entre o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura da Superfície Terrestre (LST) aponta que áreas com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas mais baixas, reforçando o papel crítico da vegetação urbana na regulação térmica.

Este estudo empregou sensoriamento remoto e análise geoespacial para mapear as SUHI e avaliar a variação sazonal e espacial entre 2016 e 2024. A expansão das áreas urbanas e a redução das áreas verdes foram associadas ao aumento de ilhas de calor urbanas, especialmente durante o período seco. Os dados sugerem que na revisão dos planos diretores e, conseqüentemente, nas leis de uso do solo dos municípios, devam considerar os condicionantes ambientes locais. Portanto, a criação de zonas ambientalmente protegidas, voltadas para a preservação do bioma, manutenção de áreas verdes, proteção de recursos hídricos, melhoria da qualidade do ar e estresse térmico, são essenciais para mitigar os efeitos das SUHI e promover a resiliência climática em cidades tropicais.

Este trabalho contribui para a literatura sobre mudanças climáticas urbanas, ao fornecer evidências de que a vegetação atua como mitigador eficaz das SUHI, propondo insights relevantes para gestores urbanos e formuladores de políticas em contextos de crescimento urbano acelerado.

#### 5 REFERÊNCIAS

AGHAZADEH, F. et al. Spatial-temporal analysis of day-night time SUHI and its relationship between urban land use, NDVI, and air pollutants in Tehran metropolis. **Applied Geomatics**, v. 15, n. 3, p. 697-718, 2023.

ALVES, L.; SILVA, J. M. P. Transformações edilícias e viárias nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande: análise morfológica do tecido urbano. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 11, n. 1, 2023.

BECK, H. E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.



FREITAS, R.; AZERÉDO, J. Do natural ao construído: proposta para estimar acúmulo de calor em metrópoles. **Cadernos Metrópole**, v. 23, p. 331-354, 2020.

G1. **Com 42,8°C, cidade mais quente do país bate recorde de temperatura por dois dias consecutivos**. Globo, 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2024/09/09/com-428oc-cidade-mais-quente-do-pais-bate-recorde-de-temperatura-por-dois-dias-consecutivos.ghtml>. Acesso em: 14 out. 2024.

GARAI, S. et al. Assessing correlation between Rainfall, normalized difference Vegetation Index (NDVI) and land surface temperature (LST) in Eastern India. **Safety in Extreme Environments**, v. 4, n. 2, p. 119-127, 2022.

GROVER, A.; SINGH, R. B. Analysis of urban heat island (UHI) in relation to normalized difference vegetation index (NDVI): A comparative study of Delhi and Mumbai. **Environments**, v. 2, n. 2, p. 125-138, 2015.

GUHA, S.; GOVIL, H. Seasonal variability of LST-NDVI correlation on different land use/land cover using Landsat satellite sensor: a case study of Raipur City, India. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-17, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 10 out. 2024.

MA, X.; PENG, S. Research on the spatiotemporal coupling relationships between land use/land cover compositions or patterns and the surface urban heat island effect. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 26, p. 39723-39742, 2022.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Dados Climáticos**. 2024. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos>. Acesso em: 17 out. 2024.

NAIKOO, M. W. et al. Land use/land cover change and its impact on surface urban heat island and urban thermal comfort in a metropolitan city. **Urban Climate**, v. 41, p. 101052, 2022.

ONU – Organização das Nações Unidas. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-deve-chegar-97-bilh%C3%B5es-de-pessoas-em-2050-diz-relat%C3%B3rio-da-onu>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ROSENZWEIG, C. et al. **ARC3.2 Summary for City Leaders**. Urban Climate Change Research Network. Columbia University, New York, 2015.

SANTOS, J. B. G.; HACON, S. S.; NEVES, S. M. A. S. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu uso no estudo da saúde humana: uma revisão de escopo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1115-1144, 2023.

SHARMA, R.; GHOSH, A.; JOSHI, P. K. Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). **Environ Monit Assess** (2013) 185:3313–3325.

SILVA, R. C. F. et al. Relação entre cobertura e temperatura do solo em região periurbana do Cerrado. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, 2018.

SOUZA, N. S. **Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá–MT**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SIQUEIRA, F. R. P. S. **Efeito da Urbanização no Balanço de Energia da superfície por sensoriamento remoto em Várzea Grande - MT**. 2019, 79 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

PINHEIRO, R. T.; DE MOURA, D. R.; MARCELINO, D. G. Densidade arbórea e sombreamento nas áreas verdes das quadras residenciais de Palmas, Tocantins. **Ciência Florestal** (01039954), v. 33, n. 2, 2023.



ULLAH, W. et al. Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. **Heliyon**, v. 9, n. 2, 2023.

ZHANG, H. et al. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. **Applied Geography**, v. 44, p. 121-133, 2013.

WALEED, M.; SAJJAD, M. Leveraging cloud-based computing and spatial modeling approaches for land surface temperature disparities in response to land cover change: evidence from Pakistan. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 25, p. 100665, 2022.



---

## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** FFGP e NSS.
  - **Curadoria de Dados:** FFGP.
  - **Análise Formal:** FFGP e NSS
  - **Aquisição de Financiamento:** sem financiamento.
  - **Investigação:** FFGP.
  - **Metodologia:** FFGP e NSS.
  - **Redação - Rascunho Inicial:** FFGP e NSS.
  - **Redação - Revisão Crítica:** FFGP e NSS.
  - **Revisão e Edição Final:** FFGP e NSS.
  - **Supervisão:** FFGP e NSS.
- 

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Fábio Friol Guedes de Paiva e Natallia Sanches e Souza**, declaramos que o manuscrito intitulado **Mapeamento de Ilhas de Calor Urbanas na Conurbação Urbana de Cuiabá – Várzea Grande/MT por Sensoriamento Remoto**:

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
  2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
  3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-