

Uso de imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais para estudo da temperatura de superfície da Bacia do Alto Paraguai (BAP)

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves¹

João Paulo da Silva²

Bruna Aparecida Silva Dias²

João dos Santos Vila da Silva²

¹ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

Cepagri/Unicamp

Av. André Toselo, 209

13083-886 - Campinas - SP, Brasil

renata@cpa.unicamp.br

²Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA

Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041

13083-886 - Campinas - SP, Brasil

jp_e@hotmail.com

brunadiasgeo@gmail.com

joao.vila@embrapa.br

Resumo. Nas últimas décadas, muitos satélites foram lançados com diferentes sensores a bordo, especialmente para adquirir a temperatura da superfície terrestre, com diferentes resoluções espaciais e temporais. A temperatura da superfície terrestre é um parâmetro crucial que reflete a interação terra-atmosfera, de fundamental importância para o balanço líquido de radiação na superfície da Terra e para monitoramento do estado das áreas vegetadas e não vegetadas. O objetivo desse trabalho foi avaliar os valores de temperatura de superfície em diferentes resoluções espaciais das áreas urbanizadas e não urbanizadas da Bacia do Alto Paraguai, utilizando imagens dos satélites Landsat-8 e GOES-16. Foram feitas duas avaliações da temperatura da superfície, uma mais global e outra local. Na avaliação global foram utilizadas imagens do GOES-16, com baixa resolução espacial e alta resolução temporal, destacando a variação da temperatura da superfície de áreas alagadas e urbanizadas ao longo do dia (6h-18h). Na avaliação local foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, permitindo um acompanhamento da temperatura da superfície de áreas urbanizadas. As imagens de temperatura da superfície do GOES-16 mostraram um aumento da temperatura ao longo do dia, sendo que no início da manhã as temperaturas foram mais baixas para áreas urbanizadas em relação às áreas alagadas. As imagens do Landsat-8 permitiram o acompanhamento da temperatura da superfície mais detalhado para as áreas urbanizadas, detectando altas temperaturas nos grandes centros urbanos, diferentemente das imagens provenientes do GOES-16, as quais não permitiram detectar essa variação.

Palavras-chave: temperatura de superfície, NDVI, Landsat-8, GOES-16.

Abstract. In recent decades, many satellites have been launched with different sensors on board, especially to acquire Earth's surface temperature, with various spatial and temporal resolutions. Earth's surface temperature is a crucial parameter that reflects the land-atmosphere interaction, of fundamental importance for the net radiation balance on the Earth's surface, and for monitoring the state of vegetated and non-vegetated areas. The objective of this study was to evaluate surface temperature values at different spatial resolutions of urbanized and non-urbanized areas of the Upper Paraguay Basin, using images from the Landsat-8 and GOES-16 satellites. Two surface temperature assessments were made, one more global and the other local. In the global assessment, GOES-16 images were used, with low spatial resolution and high temporal resolution, highlighting the variation in surface temperature of flooded and urbanized areas throughout the day (6 am to 6 pm). In the local assessment, images from the Landsat-8 satellite were used to monitor the surface temperature of urbanized areas. The GOES-16 surface temperature images showed an increase in temperature throughout the day, with temperatures being lower in urbanized areas in the early morning than in flooded areas. The Landsat-8 images allowed for more detailed monitoring of surface temperatures in urbanized regions, detecting high temperatures in large urban centers, unlike the images from GOES-16, which did not allow for this variation to be detected.

Key-words: Surface temperature, NDVI, Landsat-8, GOES-16.

1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) está localizada em três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal e têm encaves de Mata Atlântica. A planície engloba todo o bioma Pantanal, enquanto o planalto, localizado nos biomas Cerrado (83%) e Amazônia (17%), abriga as nascentes e os rios, que irrigam naturalmente o bioma Pantanal. Em 2022, as áreas antrópicas ocupavam 42% da BAP (Mapbiomas, 2024).

Uma grande alteração antropogênica nos ambientes da Terra pode ser representada por ilha de calor urbana (ICU), que é um fenômeno no qual a temperatura tende a ser mais alta em zonas urbanas do que em áreas não urbanizadas (Oke, 1982). O fenômeno ICU foi observado em todo o mundo (Clinton e Gong, 2013; Li et al., 2017; Zhou et al., 2014). Ele foi amplamente atribuído à mudança na troca de energia entre superfícies urbanas e a atmosfera, que é causada principalmente pelo aumento da cobertura de superfície impermeável substituindo superfícies de vegetação evaporativa, e por liberações de calor antropogênicas (Oke, 1982; Rizwan et al., 2008). A ICU contribuiu para um conjunto de mudanças ambientais, como clima regional (Stocker, 2014), crescimento da vegetação (Zhao et al., 2016) e qualidade da água e do ar (Grimm et al. 2008). Esses fatores, por sua vez, afetam drasticamente a saúde e o bem-estar humanos e podem potencialmente levar a aumentos na morbidade e mortalidade (Patz et al. 2005) e consumo de energia (Santamouris et al., 2015) em áreas urbanas, que abrigam a maior parte da população mundial. Espera-se que o efeito e as consequências associadas sejam mais graves num clima em aquecimento (Stocker, 2014) e num mundo em rápida urbanização (Seto et al., 2012).

Para detectar e monitorar as ICUs com equipamentos de campo o custo é alto e demanda muito tempo e trabalho. Uma alternativa para monitorar a temperatura em larga escala é usar técnicas de sensoriamento remoto, pois as imagens são mais eficientes para estimar a temperatura de superfície em escalas locais, regionais e globais em menor tempo e com o menor custo. Além do uso para o cálculo da ICU, a temperatura de superfície terrestre tem sido amplamente utilizada para monitoramento ambiental, vegetação e estudos de mudanças climáticas (Shawky et al., 2023).

Sensores de infravermelho termal a bordo dos satélites são fontes comuns de temperatura da superfície terrestre e oceânica e oferecem a possibilidade de monitorar processos relacionados às mudanças climáticas espacialmente e continuamente com alta resolução espacial e temporal, o que, por exemplo, não é possível ao usar estações meteorológicas, que são distribuídas de

forma desigual e fornecem apenas resoluções espaciais grosseiras. Nas últimas décadas, muitos satélites foram lançados, fornecendo diferentes resoluções espaciais e temporais permitindo estudos globais, regionais e locais diversos da superfície, por exemplo, o Advanced Very-High-Resolution Radiometer (AVHRR), o Landsat's Thematic Mapper (TM), o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS), o Along Track Scanning Radiometer (ATSR), o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), o Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) e o Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) (Reiners et al, 2023).

Nesse contexto, a temperatura da superfície terrestre (TST) é uma das principais variáveis no sistema climático e meteorológico que controla a troca de calor na água, na superfície e na interface terra-atmosfera. A TST medida por satélite, no entanto, é baseada principalmente em observações da banda do infravermelho termal, que fornecem informações críticas sobre variações temporais e espaciais do estado de equilíbrio da temperatura na superfície (Yu e YU, 2020a). Para monitoramento global, a TST detectada por sensores remotos pode ser assimilada em modelos climáticos e meteorológicos para otimizar as previsões climáticas e meteorológicas (Meng et al., 2009; Zheng et al., 2012), ser aplicada como dados de entrada para modelos atmosféricos e de superfície terrestre de mesoescala para estimar o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente, ou ser utilizada para avaliar o desempenho da previsão do modelo.

Para o monitoramento local, a TST tem sido amplamente usada em aplicações comerciais, incluindo a avaliação de necessidades de água para plantações e para estimar onde e quando geadas danosas podem ocorrer no inverno, além de monitorar o estado das plantações, da vegetação e temperatura de áreas urbanizadas, como ilhas de calor. A TST também pode fornecer sinais de alerta para possíveis incêndios florestais e de pastagens, bem como um indicador de possível seca (Karnieli et al., 2010; Zhang et al., 2014; Quintano et al., 2015).

O acompanhamento da variação da temperatura da superfície terrestre, tanto global quanto local, é de extrema importância para entender as mudanças que estão ocorrendo no planeta Terra, que se manifestam principalmente por meio do aumento da temperatura do ar e levam a eventos climáticos extremos.

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi avaliar os valores de temperatura de superfície em diferentes resoluções espaciais das áreas urbanas e não urbanizadas da Bacia do Alto Paraguai, utilizando imagens dos satélites Landsat-8 e GOES-16.

3. Material e Métodos

A área de estudo abrange a Bacia do Alto Paraguai para uma análise geral em Mato Grosso e Mato Grosso Sul, os municípios de Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis, para uma análise regional e os limites das áreas urbanizadas extraídas de IBGE (2019), para uma análise local, no estado de Mato Grosso (MT) (**Figura 1**). Essas cidades são representativas no contexto urbano e apresentam dinâmicas distintas de urbanização e clima, tornando-as adequadas para o estudo da temperatura de superfície terrestre com foco na identificação de ilhas de calor urbano.

Para uma avaliação global da temperatura de superfície terrestre foram utilizadas imagens do satélite meteorológico GOES-16, disponíveis no banco de dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (Cepagri) da Unicamp. O sensor ABI a bordo desse satélite é composto por 16 bandas espectrais diferentes, incluindo dois canais visíveis, quatro canais de infravermelho próximo e dez canais de infravermelho. Esses

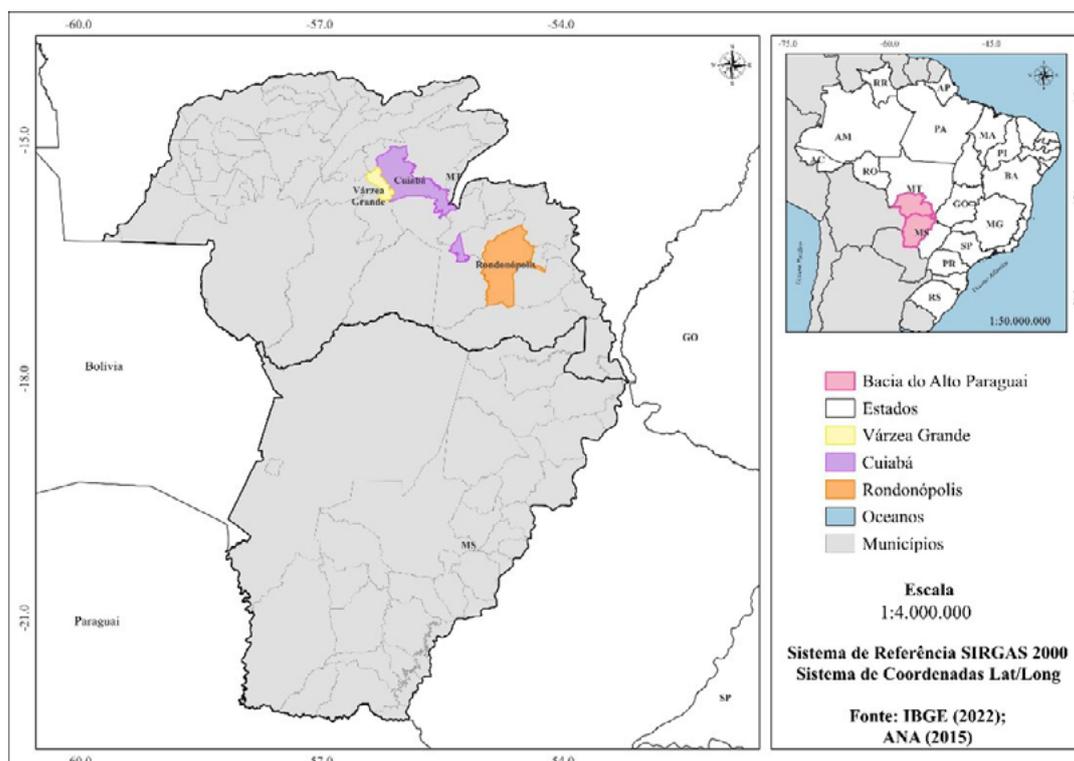


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Autores (2024).

diferentes canais (comprimentos de onda) são usados por modelos e ferramentas para indicar vários elementos na superfície da Terra ou na atmosfera, como, água, nuvens, umidade, fumaça, entre outros. A resolução espacial varia de 0,5 km para o canal do visível a 1km e 2km para os canais do Infravermelho próximo e para Infravermelho ($>2\mu\text{m}$), respectivamente.

O satélite GOES-16 fornece um produto de temperatura de superfície terrestre, nomeado Land Surface (Skin) Temperature – LST, calculado a partir dos canais do Infravermelho 14 (11,2 μm) e 15 (12,3 μm) (Yu e Yu, 2020b). Esse produto registra a temperatura instantânea da superfície da Terra em Kelvin, no qual as nuvens foram retiradas para ter informações da temperatura de superfície em condições de céu limpo, isto é, sem observações obstruídas por nuvens (Yu et al., 2009 e Yu et al. 2012), com resolução espacial de 10km e resolução temporal de 1h. A temperatura foi convertida para graus Celsius. As imagens adquiridas foram para os dias 04 de julho de 2023, representando o período seco e para 29 de janeiro de 2023, representando o período úmido, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Para uma avaliação mais regional e pontual foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, mais especificamente a banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), que opera no espectro termal com resolução espacial de 100 metros, reamostrada para 30 metros pelo sensor. As imagens foram obtidas a partir da plataforma USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), selecionando cenas com baixa cobertura de nuvens (inferior a 10%), dos dias 03 e 04 do mês de julho de 2023.

Antes da aplicação da fórmula de conversão dos dados da banda 10 para TST, foi necessário realizar a correção atmosférica. Este processo foi conduzido no software QGIS, utilizando o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). A correção atmosférica é fundamental para remover os efeitos da atmosfera (dispersão, absorção e radiação) que podem distorcer os

valores de radiância registrados pelo satélite.

O SCP foi configurado para aplicar a correção atmosférica baseada nos metadados das imagens (MTL file) e nos parâmetros de calibração do Landsat-8. Esse passo assegura que os valores de radiância obtidos representem com precisão a radiação emitida pela superfície terrestre.

Após a correção atmosférica, a fórmula a seguir foi aplicada por meio da calculadora raster para converter os valores da banda 10 em temperatura de superfície terrestre:

$$TST = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 \times \text{banda10} + 0.10000) + 1)) - 273.15$$

As constantes 1321.08 e 774.89 são parâmetros de calibração do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) do Landsat-8. De acordo com Vale et al. (2021), essas constantes são usadas para converter a radiância espectral captada pelo sensor em temperatura de brilho (temperatura aparente da superfície).

O termo $3.3420E-04 * \text{“banda10.tif”} + 0.10000$ converte os valores digitais (DN - Digital Numbers) da banda 10 do Landsat-8 para radiância espectral ($L\lambda$). Conforme descrito por Coelho e Corrêa (2013), esse processo utiliza um fator de ganho ($3.3420E-04$) e um valor de offset (0.10000), específicos para a banda 10, para ajustar a escala de radiação térmica captada.

O logaritmo natural (\ln) aplicado à razão entre a radiância registrada e a constante do sensor transforma a radiação térmica em temperatura de brilho. Esta etapa, conforme Vale et al. (2021), é importante para a obtenção da temperatura da superfície antes de se realizar a conversão para graus Celsius.

Finalmente, a subtração de 273.15 converte a temperatura de brilho, calculada inicialmente em Kelvin, para Celsius. Coelho e Corrêa (2013) explicam que essa conversão é necessária, pois as medições iniciais de temperatura térmica são feitas em Kelvin, mas para a análise de temperatura de superfície em áreas urbanas é mais comum usar graus Celsius.

4. Resultados e Discussão

O produto de TST gerado pelo GOES-16 permitiu um acompanhamento da variação da temperatura ao longo do dia (6h, 9h, 12h, 15h e 18h) com uma visão mais global, isso é, pixel com 10km de resolução espacial cobrindo toda a área da bacia, para os períodos seco (julho) e úmido (janeiro), conforme mostram as **Figuras 2 e 3**. Vale destacar que na **Figura 3**, há vários pixels em brancos que não contém informações de temperatura de superfície, que correspondem a pixels com presença de nuvem. Isso aconteceu no período chuvoso (úmido) em que a presença de nuvens é maior.

Nos dois períodos tanto o seco quanto o úmido (**Figuras 2 e 3**), foi possível perceber o aumento da temperatura ao longo do dia, sendo que no início da manhã as temperaturas ficam em torno de $15,8^{\circ}\text{C}$ a $21,7^{\circ}\text{C}$. No final da tarde a temperatura aumenta para $27,5^{\circ}\text{C}$, passando de 39°C . No período seco (**Figura 2**), em que não há presença de nuvem nas imagens, pode-se perceber que além da variação da temperatura ao longo do dia, há também a variação da temperatura em diferentes usos do solo ao longo do dia. Por exemplo, na imagem das 6h, as áreas alagadas no oeste da BAP, a temperatura varia de $21,7^{\circ}\text{C}$ a $27,5^{\circ}\text{C}$, nas áreas urbanizadas a temperatura é menor, em torno de $15,8^{\circ}\text{C}$ a $21,7^{\circ}\text{C}$. No final do dia, na imagem das 18h, as áreas alagadas apresentam temperaturas mais baixas ($27,5^{\circ}\text{C}$ a $33,3^{\circ}\text{C}$) em relação às áreas urbanizadas, que apresentam temperatura acima de $33,3^{\circ}\text{C}$. Beale et. al (2020) analisou a variação da TST dos satélites GOES e MODIS ao longo do dia e encontrou diferenças maiores em áreas montanhosas, de vegetação aberta (como pastagens e terras agrícolas) e áreas urbanas.

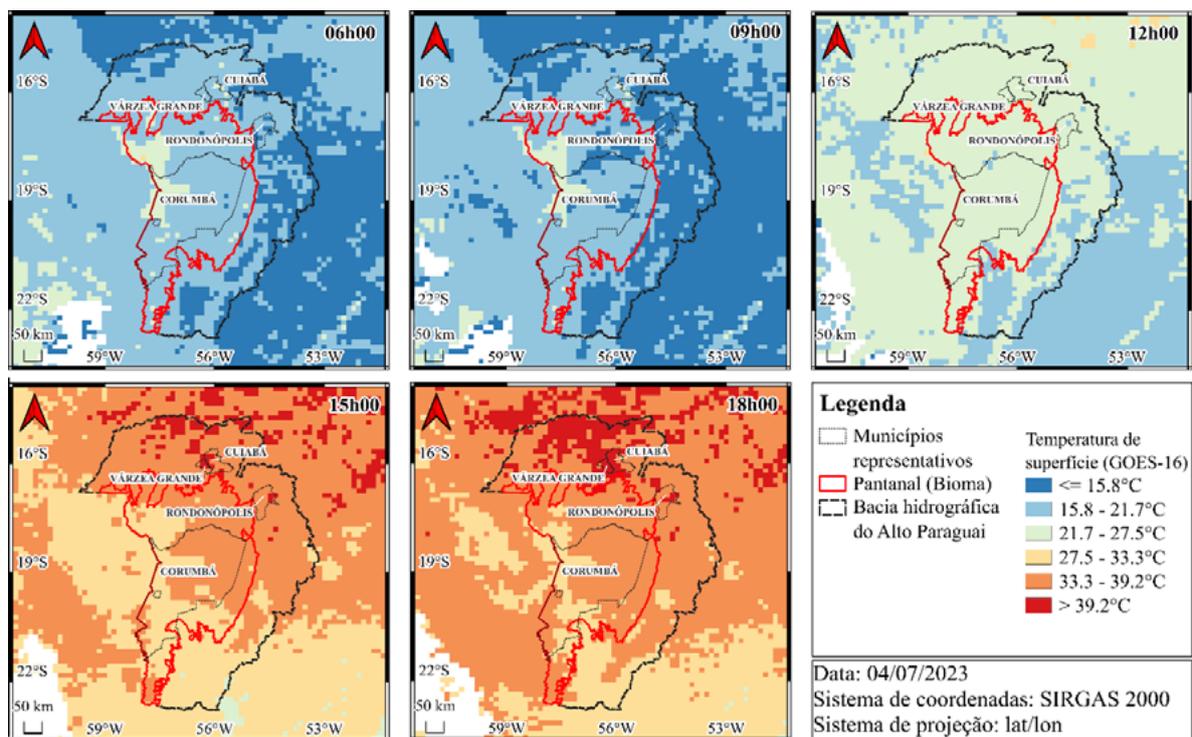


Figura 2. Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para a Bacia do Alto Paraguai, no período seco (julho), dia 04/07/2023, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Fonte: Autores (2024).

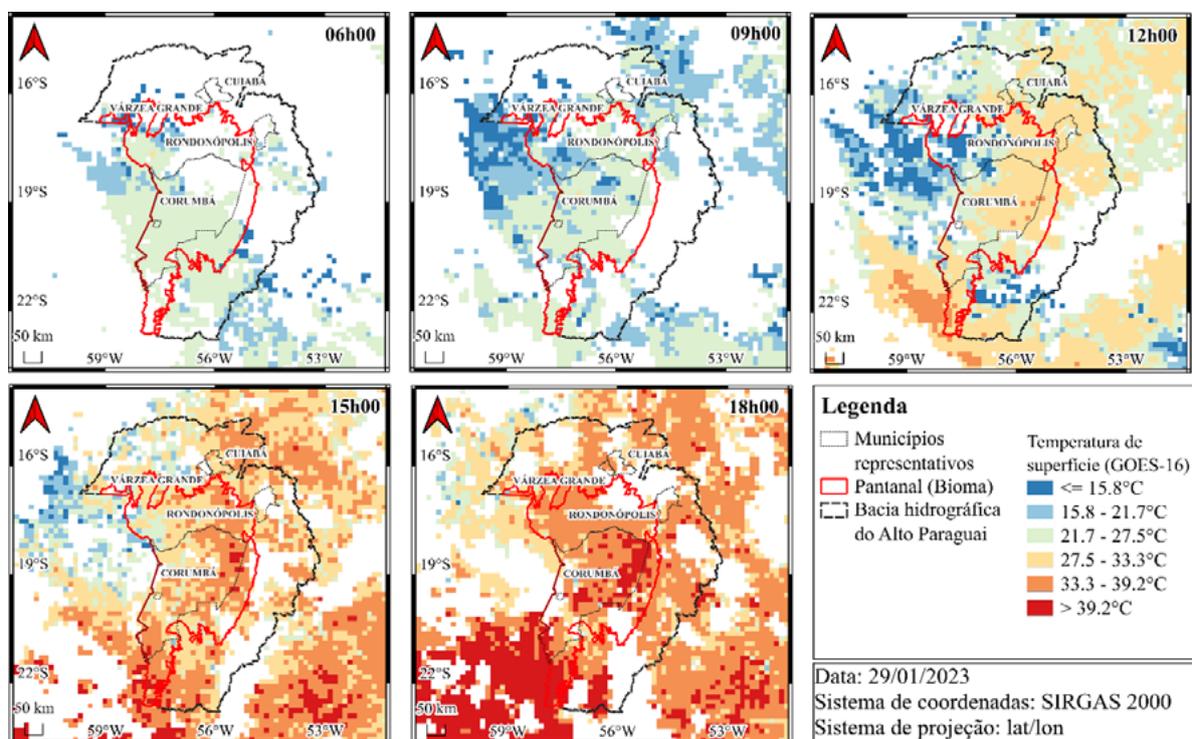


Figura 3. Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para a Bacia do Alto Paraguai, no período úmido (janeiro), dia 29/01/2023, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Fonte: Autores (2024).

Em áreas de vegetação densa, como floresta decídua e floresta mista, a diferença entre os valores de TST foi menor.

A **Figura 4** mostra a variação dessas temperaturas ao longo do dia para alguns pontos selecionados de áreas alagadas e áreas urbanizadas, comprovando o processo termodinâmico da superfície terrestre com uma visão global, onde, a água mantém sua temperatura ao longo do dia, demorando um pouco mais para aquecer e mantendo o aquecimento durante a noite, e áreas urbanizadas aquecendo rapidamente durante o dia e resfriando a noite, com uma variação da temperatura bem maior.

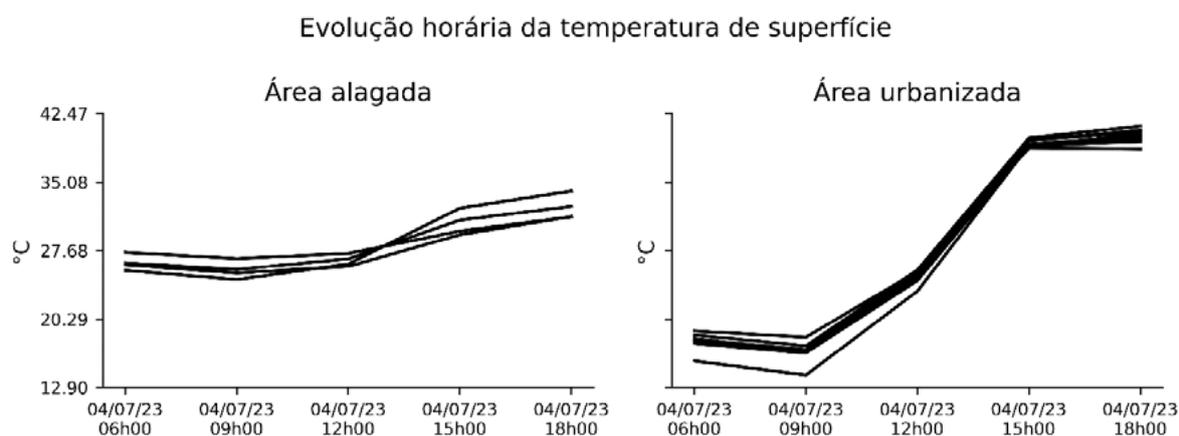


Figura 4. Variação da temperatura de superfície terrestre do GOES-16 ao longo do dia para as áreas urbanizadas dos municípios mato-gossense de Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis, nos períodos seco e úmido.
Fonte: Autores (2024).

Quando se analisa a **Figura 5**, que ilustra a área urbanizada para os municípios de Cuiabá, Rondonópolis e Várzea Grande, não é possível identificar grandes variações de temperatura. O satélite GOES-16 por possuir uma resolução espacial baixa (nesse caso de 10km para TST), não permite um detalhamento da variação da temperatura para as áreas urbanizadas, apresentando somente alguns pixels com valores de temperatura bem próximos.

Para um monitoramento local da TST da área urbanizada foi utilizado as imagens do Landsat-8 (**Figura 6**), permitindo detectar com mais detalhes a variação da TST. Nessas imagens as áreas urbanizadas aparecem com valores mais altos de TST, sendo que as demais áreas (vegetação, água, agricultura) apresentam valores de TST menores. Corroborando com o trabalho de Balew e Korme (2020) em que a superfície pavimentada e as terras agrícolas apresentam valores de TST mais altos, enquanto o corpo d'água e a vegetação apresentam TST mais baixo no monitoramento da TST em áreas urbanas e arredores usando imagens Landsat.

As imagens de Cuiabá e Várzea Grande apontam valores bem mais altos (acima de 28°C) de TST, pois são um grande centro urbanizado (conurbação urbana). Rondonópolis apresenta valores de TST mais ameno e algumas áreas com valores acima de 28°C, pois a área urbanizada não é tão densa como a de Cuiabá e Várzea Grande. Isso se deve a aceleração contínua da urbanização com a consequente substituição da vegetação natural por superfícies terrestres impermeáveis, como cimento e asfalto. A complexidade das estruturas urbanas leva a mudanças nos principais fatores que controlam a troca de energia da superfície terrestre, como albedo da superfície terrestre, emissividade e capacidade térmica (Rizwan et. al, 2008). Alexandre (2020) encontrou uma variação da temperatura média entre as áreas rurais e urbanas de até 3,96 °C, enquanto a variação entre as zonas urbanas mais quentes e mais frias (com base na média e desvio padrão da TST) foi de até 13,26 °C.

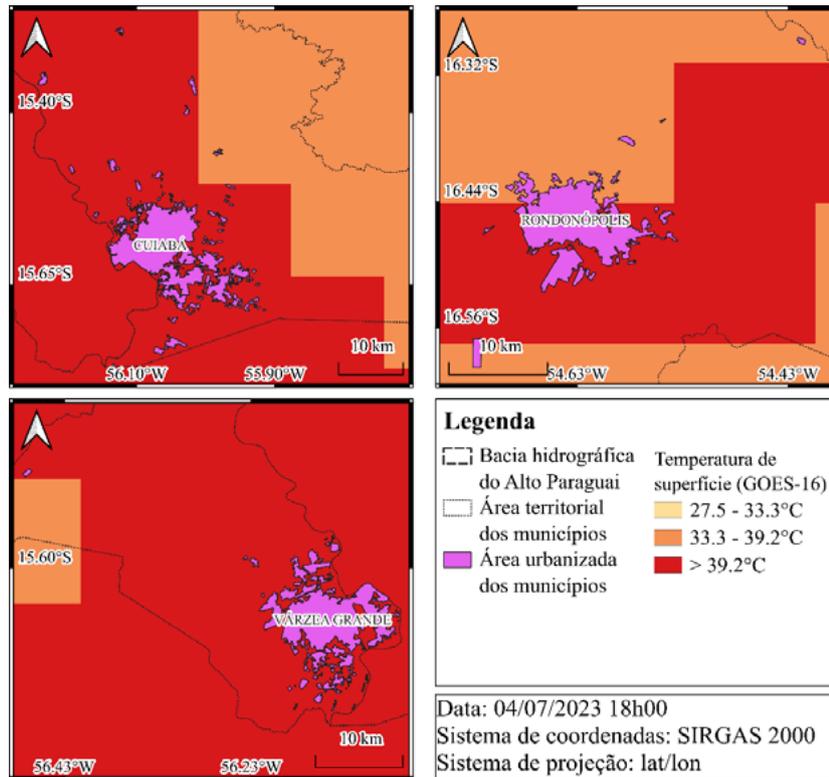


Figura 5. Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para as áreas urbanizada dos municípios mato-grossense de Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis, para o dia 04/07/2023 às 18h.
Fonte: Autores (2024).

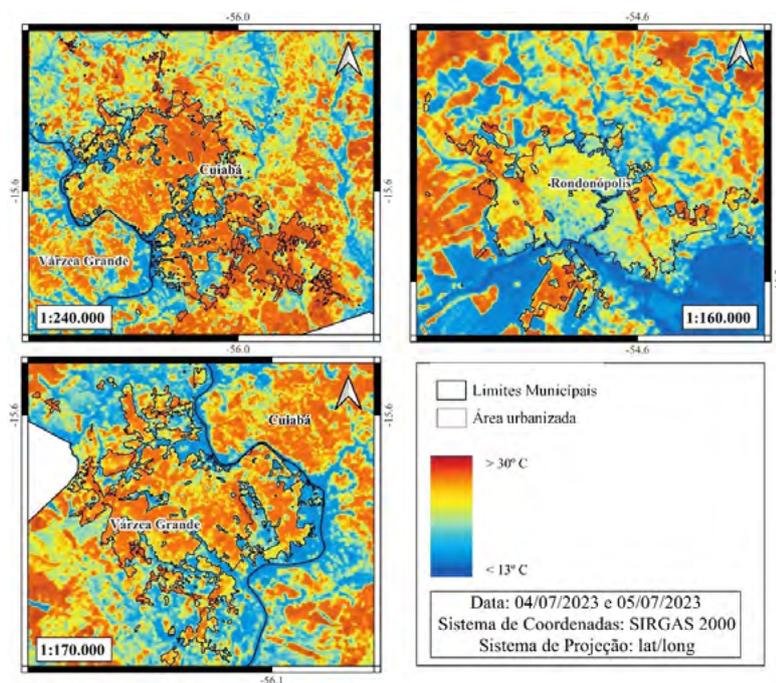


Figura 6. Temperatura de superfície terrestre do Landsat-8 para os municípios de Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis, mostrando os limites das áreas urbanizadas.
Fonte: Autores (2024).

As imagens do Landsat-8 (**Figura 6**) permitem futuramente o cálculo de coeficiente de ilhas de calor urbanas, diferentemente das imagens provenientes do GOES-16 (**Figura 5**) que não fornecem informações detalhadas de TST para um monitoramento local.

5. Conclusões

Com as imagens do satélite GOES-16, de baixa resolução espacial, é possível fazer o acompanhamento da TST de forma global e ao longo do dia mostrando a variação da TST em cinco horários distintos e sua resposta nos diferentes usos do solo, como áreas alagadas e áreas urbanizadas, tanto para o período seco quanto para o úmido. Para o acompanhamento local, como por exemplo, nas áreas urbanizadas, é necessário que as imagens tenham maior resolução espacial e as imagens Landsat-8 forneceram informações necessárias para o acompanhamento da TST, detectando altas temperaturas da superfície nas áreas urbanizadas e temperatura mais baixas para áreas ao redor das cidades, áreas de vegetação e agrícola.

Para trabalhos futuros, é importante relacionar dados de índices de vegetação, para estimar a variação da TST de áreas vegetadas de não vegetadas, pois nos últimos anos houve o aumento da urbanização e mudanças extremas associadas ao uso e cobertura do solo de áreas próximas as grandes cidades. Além disso, com imagens do Landsat-8 é possível fazer a detecção e monitoramento de ilhas de calor dos grandes centros urbanos, fornecendo informações importantes do ambiente térmico urbano aos tomadores de decisão, as quais serão essenciais para dar condições de suporte para o desenvolvimento socialmente sustentável da população.

6. Agradecimentos

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento do projeto de pesquisa “Aperfeiçoamento do Cadastro Ambiental Urbano (CAU), com ênfase na agricultura”, por meio da Embrapa Agricultura Digital e pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED) pela concessão de bolsas de estudo.

7. Referências

- Alexander, C. Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102013, 2020.
- Balew, A.; Korme, T. Monitoring land surface temperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 23, n. 3, p. 371-386, 2020.
- Beale, C. et al., Comparison of Diurnal Variation of Land Surface Temperature From GOES-16 ABI and MODIS Instruments. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 17, n. 4, p. 572-576, 2020.
- Clinton, N.; Gong, P. Modis detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. **Remote Sens. Environ.**, v.134, p.294–304, 2013.
- Coelho, A. L. N.; Correa, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- Grimm, N.B.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C.L.; Wu, J.; Bai, X.; Briggs, J.M. Global change and the ecology of cities. **Science**, v.319, p.756–760, 2008.
- Karnieli, A.; Agam, N.; Pinker, R.T.; Anderson, M.; Imhoff, M.L.; Gutman, G.G.; Panov, N.; Goldberg, A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. **J. Clim.** v. 23, n. 3, p. 618–633, 2010.
- Li, X.; Zhou, Y.; Asrar, G.R.; Imhoff, M.; Li, X. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. **Sci. Total Environ.**, v. 605, p. 426–435, 2017.
- MapBiomass, Nota Técnica: Conservação da Planície e do Planalto na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. 2024.

- Meng, C. L.; Li, Z. L.; Zhan, X.; Shi, J.C.; Liu, C. Y. Land surface temperature data assimilation and its impact on evapotranspiration estimates from the common land model. **Water Res. Res.** v. 45, W02421, 2009.
- Oke, T.R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.** v. 108, p. 1-24, 1982.
- Patz, J.A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T.; Foley, J.A. Impact of regional climate change on human health. **Nature**, v. 438, p. 310–317, 2005.
- Quintano, C.; Fernández-Manso, A.; Calvo, L.; Marcos, E.; Valbuena, L. Land surface temperature as potential Indicator of burn severity in Forest Mediterranean ecosystems. **Int. J. Appl. Earth Obs.** v. 36, p. 1–12, 2015.
- Reiners, P.; Sobrino, J.; Kuenzer, C. Satellite-Derived Land Surface Temperature Dynamics in the Context of Global Change—A Review. **Remote Sens.**, v. 15, p. 1857, 2023.
- Rizwan, A.M.; Dennis, L.Y.C.; Liu, C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. **J. Environ. Sci.** v. 20, p. 120–128, 2008.
- Santamouris, M.; Cartalis, C.; Synnefa, A.; Kolokotsa, D. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. **Energy Build**, v. 98, p. 119–124, 2015.
- Seto, K.C.; Güneralp, B.; Hutyra, L.R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 109, p. 16083–16088, 2012.
- Shawky, M.; Ahmed, M.R.; Ghaderpour, E.; Gupta, A.; Achari, G.; Dewan, A.; Hassan, Q.K. Remote sensing-derived land surface temperature trends over South Asia. **Ecol. Inform.** v. 74, p. 101969, 2023.
- Stocker, T. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the 5^o Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014.
- USGS. Landsat Missions: Using the USGS Landsat8 Product. U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey – NASA. Site: Acesso em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 01 set. 2024.
- Vale, W. K. S.; Diodato, M. A.; Grigio, A. M.; Saraiva, A. L. B. C.; Souza Neto, L. T. Mapeamento da Temperatura Superficial Terrestre (TST), com base em imagem de satélite: caso da área urbana de Mossoró/RN. In: Antônio Conceição Paranhos Filho; Camila Leonardo Miotto; Dhonatan Diego Pessi; Roberto Macedo Gamarra; Normandes Matos da Silva; Vinícius de Oliveira Ribeiro; Jéssica Rabito Chaves. (Org.). Geotecnologias para aplicações ambientais. 1ed.Maringá, PR: Uniedusul, 2021, v. 1, p. 277-287.
- Yu, Y.; Tarpley, D.; Privette, J. L.; Flynn, L. E.; Xu, H.; Chen, M.; Vinnikov, K. Y.; Su, D. Validation of GOES-R satellite Land Surface Temperature algorithm using SURFRAD ground measurements and statistical estimates of error properties. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens**, v. 50, p. 704–713, 2012.
- Yu, Y.; Tarpley, D.; Privette, J. L.; Goldberg, M. D.; Raja, M. k. R. V.; Vinnikov, K. Y.; XuYu, H. Developing algorithm for operational GOES-R Land Surface Temperature product. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens**, v. 47, p. 936–951, 2009.
- Yu, Y.; Yu, P. Chapter 12 - Land Surface Temperature Product from the GOES-R Series. The GOES-R Series A New Generation of Geostationary Environmental Satellites, p. 133-144, 2020a.
- Yu, Y.; Yu, P. **GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document for Land Surface Temperature**. NOAA NESDIS Center for Satellite Applications and Research, v. 4, 2020b. 77p.
- Zhang, D.; Tang, R.; Zhao, W.; Tang, B.; Wu, H.; Shao, K.; Li, Z. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature. **Remote Sens.** v. 6, n. 4, p. 3170–3187, 2014.
- Zhao, S.; Liu, S.; Zhou, D. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. **Proc. Natl. Acad. Sci**, v. 113, p. 6313–6318, 2016.
- Zheng, W.; Wei, H.; Wang, Z.; Zeng, X.; Meng, J.; Ek, M.; Mitchell, K.; Derber, J. Improvement of daytime land surface skin temperature over arid regions in the NCEP GFS model and its impact on satellite data assimilation. **J. Geophys. Res.-Atmos.** v. 117, D06117, 2012
- Zhou, B.; Rybski, D.; Kropp, J.P. The role of city size and urban form in the surface urban heat island. **Sci. Rep.** v. 7, p. 4791, 2017.