VARIAÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCE NA ÁREA URBANA DE PALMAS-TO

Érika Gonçalves Pires [1], Lidiane Batista de Morais [1]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, AE 310 Sul - 77021-090- Palmas- TO, Brasil, e-mail: erikapires@ifto.edu.br; lidiane.morais@ifto.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espacial da temperatura de superfície terrestre na área urbana de Palmas - TO, a partir das regiões de planejamento do novo Plano Diretor do município (2018), utilizando imagens do satélite Landsat 8, dados meteorológicos e do algoritmo SEBAL. A região de planejamento Centro Leste apresentou as maiores temperaturas de superfície, em função da grande quantidade de áreas construídas e da presença de vegetação apenas em locais isolados. A região de planejamento de Interesse Logístico apresentou a menor quantidade de áreas densamente construídas em relação as outras. Isso ocorreu provavelmente devido ao fato de localizar-se mais afastada das regiões centrais de Palmas e ainda encontrar-se em fase de expansão urbana. Em virtude dos resultados obtidos, ressalta-se a importância da inserção de vegetação de maneira significativa em determinados espaços urbanos, com o intuito de influenciar positivamente nas respostas térmicas de tais ambientes.

Palavras-chave **—** Temperatura de superfície, Landsat-8, SEBAL, Palmas, Clima urbano.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the spatial distribution of land surface temperature in the urban area of Palmas - TO, from the planning regions of the new municipal Master Plan (2018), using images from the Landsat 8 satellite, meteorological data and the algorithm SEBAL. The Central-East planning region presented the highest surface temperatures, due to the large amount of built-up areas and the presence of vegetation just in isolated locations. The planning region of Logistical Interest presented the smallest amount of densely built areas in relation to the others. This was probably due to the fact that it is located further away from the central regions of Palmas and is still on an urban expansion step. Due to the results obtained, the importance of inserting vegetation in a significant amount in certain urban spaces is highlighted, with the aim of positively influencing the thermal responses of this environments.

Key words **—** *Land Surface temperature, Landsat-8, SEBAL, Palmas, Urban climate.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a urbanização vem crescendo de forma rápida e intensa no Brasil. Esta constitui em um processo dinâmico, desigual e de alta complexidade.

No caso do nosso objeto de estudo, não é diferente. Apesar de sua pouca idade, Palmas, capital do estado do Tocantins, apresenta uma ocupação urbana bastante rápida e um crescimento desordenado, provocando uma segregação socioespacial desde o inicio do seu processo de ocupação (1989), contribuindo para a formação dos vazios urbanos centrais [1].

Deste modo, é de fundamental importância estudar os possíveis efeitos das diferentes coberturas da superfície sobre o microclima da cidade, haja vista que esse conhecimento possibilita a adoção de medidas de controle do crescimento acelerado e desordenado das cidades, visando a preservação do meio ambiente e a minimização dos problemas decorrentes dos processos de urbanização.

Assim, as modificações provocadas pelo processo de urbanização podem ocasionar alterações no balanço de radiação e energia, no albedo, na temperatura da superfície, na taxa de umidade do ar e no sistema de circulação do vento, além de permitir a formação de ilhas de calor urbana [2, 3].

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espacial da temperatura de superfície na área urbana de Palmas - TO, a partir das regiões de planejamento do novo plano diretor do município (2018), utilizando imagens do satélite Landsat 8, dados meteorológicos e do algoritmo SEBAL.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, está localizada na região Norte do país, nas coordenadas geográficas 10° 10' 59" S e 48° 20' 01" W e possui uma população estimada de 313.349 habitantes [4].

A área de estudo compreende a Macrozona de Ordenamento Controlado [5] onde está concentrada a área urbana de Palmas (Figura 1). Para realizar as análises dos dados, a área de estudo foi dividida em 5 áreas de planejamento: Centro Norte (RPCentro Norte), Centro Oeste (RPCentro Oeste), Centro Leste (RPCentro Leste), Sul (RPSul) e Interesse Logístico (RPILogístico).

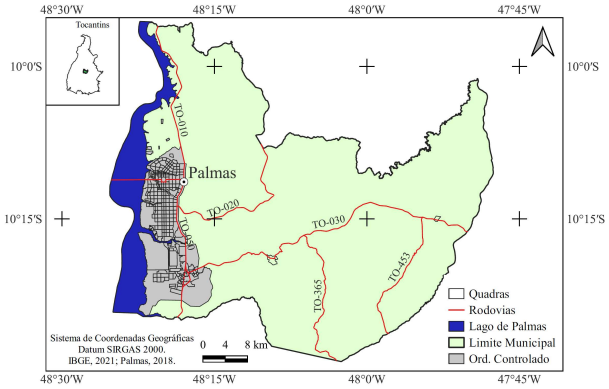


Figura 1. Mapa da área de estudo

2.2. Aquisição e processamentos dos dados

Para o processamento dos dados, inicialmente, foram obtidos os dados meteorológicos da estação automática – Palmas (A009), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Posteriormente, foram adquiridas as imagens do satélite Landsat-8 (OLI/TIRS), órbita/ponto 222/067, do dia 03/08/2018, horário de passagem 13:18 (UTC), no formato GEOTIFF, disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS.

As imagens de Temperatura de Superfície (LST) foram geradas a partir do processamento dos dados no algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), desenvolvido por [6]. O SEBAL permite a estimativa do balanço de energia à superfície e de parâmetros biofísicos, a partir de imagens de satélite e de dados meteorológicos.

A primeira etapa do processamento dos dados consistiu no cálculo da radiância espectral (L_λ) e da reflectância TOA (ρ_λ) a partir das equações 1 a 3 [7]. utilizando os fatores de redimensionamento das bandas disponíveis no arquivo de metadados das imagens (MTL).

$$L_\lambda = M_L\, Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

$$\rho_\lambda{}' = M_\rho\, Q_{cal} + A_\rho \quad (2)$$

$$\rho_\lambda = \frac{\rho_\lambda{}'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_\lambda{}'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (3)$$

em que $\rho_\lambda{}'$ é a refletância sem correção – TOA, M_L o fator multiplicativo de redimensionamento da banda, Q_{cal} o valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN), A_L o fator aditivo de redimensionamento da banda, M_ρ o fator multiplicativo de redimensionamento da banda, A_ρ é o fator aditivo de redimensionamento da banda, θ_{SE} o ângulo local de elevação solar e θ_{SZ} o ângulo local do zênite solar.

Nessa etapa foi necessário corrigir a reflectância de acordo com o cosseno do ângulo zenital solar e a correção da excentricidade da órbita terrestre, obtido com base na distância Terra-Sol [8].

Em seguida foi realizado o cálculo do albedo planetário (α_{toa}) e do albedo de superfície (α), conforme equações 4 e 5 [9, 10, 11, 8].

$$\alpha_{toa} = \rho_2 r_2 + \rho_3 r_3 + \rho_4 r_4 + \rho_5 r_5 + \rho_6 r_6 + \rho_7 r_7 \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{(\alpha_{toa} - \alpha_{atm})}{\tau_{oc}^2} \quad (5)$$

em que ρ_2, ρ_3, ρ_4, ρ_5, ρ_6 e ρ_7 são os albedos planetários de cada banda; r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 e r_7 são os pesos de cada banda obtido pela razão entre a constante solar específica da banda e a somatória de todas as constantes das bandas; α_{atm} o albedo atmosférico e τ_{oc} é a transmitância atmosférica.

Posteriormente, foi calculada a emissividade de cada pixel (ε_{NB} ou ε_0) e os índices IAF (Índice de Área Foliar), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), através das equações 6 a 9 [12, 13 e 10].

$$\varepsilon_{NB} = 0{,}97 + 0{,}033\, IAF;\ \varepsilon_0 = 0{,}95 + 0{,}01\, IAF \quad (6)$$

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0{,}69 - SAVI}{0{,}59}\right)}{0{,}91} \quad (7)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (8)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (9)$$

em que ρ_{IV} e ρ_V são as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho e L a constante de ajuste em função do tipo de solo (L=0,1).

E por fim, para a obtenção da temperatura da superfície (LST) foi utilizada a função inversa da Lei de Planck, conforme equação 10.

$$LST = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (10)$$

em que L_λ é a radiância espectral da banda termal, ε_{NB} a emissividade, K_1 e K_2 as constantes de calibração da banda 10, respectivamente 774,88K e 1321,08K.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de temperatura de superfície (LST) evidenciam uma grande variação da temperatura nas áreas de planejamento de Palmas – TO (Figura 2). A Figura 3 mostra a distribuição de frequência da temperatura de superfície.

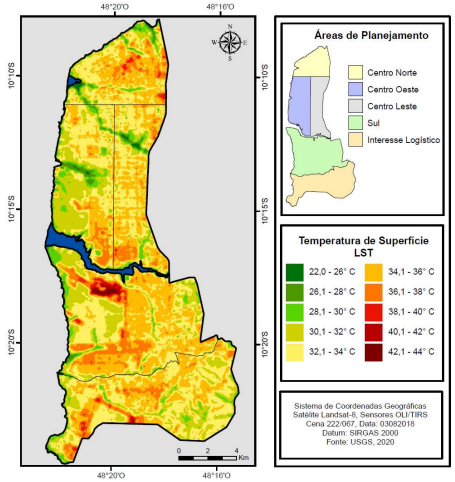


Figura 2. Mapa da Temperatura de superfíce - LST

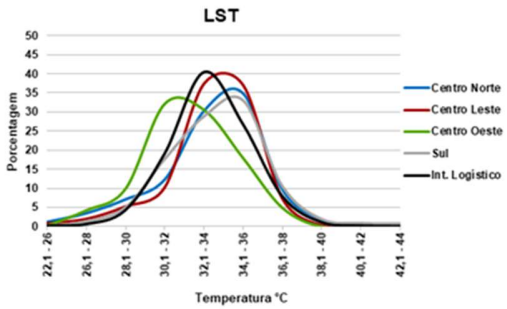


Figura 3. Distribuição de frequência da Temperatura de superfície - LST

Na RPCentro Norte observa-se que as áreas na porção sul, localizadas próximas ao Parque dos Povos Indígenas, as áreas de vegetação no entorno do Córrego Sussuapara e Brejo Comprimido, e as áreas nas adjacências do Lago de Palmas (oeste) apresentaram temperaturas mais amenas variando de 22 a 30º C (tons em verde). Em contrapartida as áreas construídas próximas as Avenidas Teotônio Segurado e JK (sul), e as áreas de queimadas e de solo exposto próximas a rodovia TO-050 (leste) apresentaram temperaturas mais elevadas, variando de 34,1 a 40º C (laranja e vermelho). Além disso, 65% das áreas da RPCentro Norte possuem temperaturas de superfície entre 32,1 e 36º C (amarelo e laranja).

Quanto a RPCentro Oeste as áreas de vegetação de Cerrado Ralo, entre o Córrego do Prata e o Ribeirão Taquaruçu Grande (sul) apresentaram temperaturas entre 30,1 e 32º C (bege). As áreas próximas ao Córrego Brejo Comprido, Córrego do Prata e no entorno do Lago de Palmas (oeste) apresentaram temperaturas menores, variando entre 22 e 30º C (tons de verde). Cabe destacar que algumas áreas próximas a Avenida Teotônio Segurado (extremo leste) apresentaram temperaturas mais amenas na faixa de 28,1 a 32º C (verde e bege), isso possivelmente deve-se ao fato dessas áreas ainda possuir vegetação nativa, o que contribui para as menores temperaturas. Deste modo, as áreas cobertas por vegetação possuem uma maior capacidade térmica, sendo necessário uma grande quantidade de energia para que a temperatura aumente em torno de 1,0º C, em relação as áreas construídas [14].

As áreas edificadas nas proximidades da Praia da Graciosa (noroeste) e da Ulbra (sudeste) apresentaram as maiores temperaturas variando entre 34,1 e 40º C (laranja e vermelho). Observa-se ainda que nessas áreas houve a supressão de vegetação e um adensamento da área urbana o que contribuiu para o aumento dessas temperaturas, favorecendo a formação de ilhas de calor superficial. Em termos quantitativos, a RPCentro Oeste apresentou 62,6% de suas áreas com temperaturas entre 30,1 e 34º C (bege e amarelo).

Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al. [15] ao estudarem a relação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação na estimativa e identificação de ilhas de calor em Maceió - AL. Os autores constataram que a urbanização, juntamente com baixos indíces de vegetação, é responsável pela distribuição das altas temperaturas, propiciando a formação de ilhas de calor em alguns bairros, o que pode causar um desconforto térmico para a população.

Na RPCentro Leste as maiores temperaturas foram observadas próximas às Avenidas JK (extremo norte) e Palmas Brasil Sul (centro), e nas áreas de solo exposto no entorno do Centro de Convenções (norte) e do Estádio Nilton Santos (sudoeste), com temperaturas variando entre 34,1 e 40º C (laranja e vermelho). As áreas próximas ao parque Cesamar apresentaram temperaturas mais baixas, variando entre 22 e 30º C (tons em verde). Ademais, 74,6% das áreas possuem temperaturas no intervalo de 32 a 36º C (amarelo e laranja). Observa-se um adensamento das áreas construídas nesses locais, principalmente pela presença de edifícios, o que favorece o incremento da temperatura.

Em relação a RPSul aproximadamente 62% de suas áreas apresentaram temperaturas de superfície na faixa de 32 a 36º C (amarelo e laranja). As menores temperaturas foram observadas nas áreas de vegetação rala e densa próximas ao Lago de Palmas (oeste) e nos demais corpos hídricos. Também se observa temperaturas na faixa de 38,1 a 46º C (vermelho) em áreas de queimadas localizadas próximas ao aeroporto de Palmas – TO e a Praia do Buruti (oeste). Além disso, nota-se temperaturas entre 38,1 e 40º C (vermelho) nas áreas entre a Praia do Buruti e o Córrego Taquari (sul), em função das áreas construídas localizadas, principalmente nos bairros Flamboyant, Taquari e Santa Bárbara. As áreas edificadas dos bairros Aureny e Taquaralto, próximo à rodovia TO-050 (centro) também apresentaram altas temperaturas, variando entre 34,1 e 38º C (laranja e vermelho).

Isso evidencia a influência das áreas construídas para o aumento da temperatura de superfície. Em um estudo realizado por Amorim [16], referente ao clima urbano de Presidente Prudente – SP, as áreas densamente construídas e com baixa presença de vegetação também apresentaram valores mais elevados de temperatura do que nas áreas vegetadas.

Na RPILogístico, as maiores temperaturas (36,1 a 40º C), foram observadas nas áreas próximas a rodovia TO-050 (centro), no bairro Jardim Paulista e no bairro Jardim Vitória (sul). Cabe destacar ainda que algumas áreas localizadas a direita da rodovia TO-050, apresentaram temperaturas mais amenas variando entre 28 e 34º C (verde e amarelo), onde há a presença de vegetação nativa e de algumas nascentes e corpos d'água. Além do mais, 40,6% de suas áreas possuem temperaturas de superfície no intervalo de 32,1 e 34º C (amarelo).

Em relação aos parâmetros estatísticos, as maiores temperaturas máximas foram observadas na RPSul e RPILogístico, 43,9º C e 41,1º C, respectivamente. Isso possivelmente ocorreu em virtude das áreas de queimadas, muito frequente nessa época do ano na cidade. A área RPSul também apresentou a maior temperatura média com 33,7º C,

enquanto que a Área RPCentro oeste apresentou a menor temperatura média com 32,3º C. A RPCentro Leste apresentou a menor temperatura mínima com 23,1º C, entretanto, apenas 0,07% das áreas apresentaram temperaturas mais amenas entre 22 e 26º C. Além disso, apresentou uma temperatura média elevada (33,5º C), devido a grande quantidade de áreas residenciais localizadas nessa região.

Quanto ao desvio padrão dos dados, todas as áreas de planejamento apresentaram valores em torno de 2º C, o que mostra uma alta variação dos dados de temperatura em cada área da cidade de Palmas – TO. Além disso, nota-se que em 2018 houve uma expansão e densificação das áreas construídas ao longo das áreas de planejamento da cidade de Palmas – TO, principalmente nas RPCentro Leste e RPSul, o que contribui para o aumento da temperatura de superfície nessas áreas modificando o microclima do local. Portanto, estes resultados são indicadores dos impactos locais originados pelo crescimento das áreas urbanas e das atividades antrópicas sobre o meio ambiente.

Freitas e Souza [17] ao estudarem o clima urbano de Palmas - TO no período seco (agosto/setembro) a partir da medição de temperatura do ar em diferentes pontos da cidade, observaram que os pontos localizados na mais região central da cidade apresentaram altas temperaturas, em virtude do adensamento, baixa permeabilidade, alta absorção dos materiais componentes das estruturas urbanas, além do tráfego de veículos intenso no entorno dessas regiões. Em contrapartida, os pontos localizados mais próximos as áreas verdes e corpos d'água apresentaram temperaturas mais amenas.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a metodologia empregada permitiu analisar a distribuição espacial da temperatura de superfície nas regiões de planejamento da cidade de Palmas – TO.

A RPCentro Leste apresentou as maiores temperaturas de superfície, em função da grande quantidade de áreas construídas e da presença de vegetação apenas em locais isolados, como o Parque Cesamar.

A RPILogístico, apresentou a menor quantidade de áreas densamente construídas em relação as outras. Isso ocorreu provavelmente devido ao fato de localizar-se mais afastada das regiões centrais de Palmas e ainda encontrar-se em fase de expansão urbana.

Outro fato importante é que a RPCentro Oeste apresentou menor temperatura média, em função das áreas de vegetação ao longo dos principais corpos d'água e da presença ainda de espaços com vegetação nativa preservada. Entretanto, nota-se altas temperaturas de superfície nas áreas em expansão próximas a Praia da Graciosa. Desta maneira, observa-se uma forte correlação entre a temperatura de superfície e o uso e ocupação do solo.

Em virtude dos resultados obtidos, ressalta-se a importância da inserção de vegetação de maneira significativa em determinados espaços urbanos, com o intuito de influenciar positivamente nas respostas térmicas de tais ambientes.

5. REFERÊNCIAS

[1] J. A, BAZZOLI. *Palmas em foco: contradições de uma cidade planejada*. Palmas: EDUFT, 2019.

[2] M.A, LOMBARDO. *Ilha de Calor nas Metrópoles: O exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

[3] C. A. C. SANTOS, and J. R. A. LIMA. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 1, p. 001-014, 2013.

[4] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População estimada***.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

[5] PALMAS. *Lei complementar n. 400, de 02 de abril de 2018.* Plano Diretor Participativo do Município de Palmas - TO. Palmas: DOM, 2018.

[6] W. G. M, BASTIAANSSEN. *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain:* A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. Tese (Doutorado em Ciências agrícolas e ambientais) - Universidade de Wageningen, Holanda, 1995.

[7] USGS - United States Geological Survey. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook.* EROS Sioux Falls, South Dakota: Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2019.

[8] B. B. SILVA, A. C. BRAGA, C. C. BRAGA, L. M. M. OLIVEIRA, S. M. G. L. MONTENEGRO, and B. BARBOSA. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***,** v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.

[9] W. G. M. BASTIAANSSEN. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. Turkey. *Journal of Hidrology,* Amsterdã, v. 229, p. 87-100. 2000.

[10] R. G. ALLEN, R. TREZZA, and M. TASUMI. *Surface energy balance algorithm for land. Advance training and user's manual, version 1.0.* Kimberly: University of Idaho, 2002.

[11] R. G. ALLEN, M. TASUMI, and R. TREZZA. Satellite based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.

[12] J. W ROUSE, R. H. HAAS, J. A. SCHELL, and D. W. DEERING. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. 1. *Anais.* Washington D.C.: NASA, p. 309–317, 1974.

[13] A. HUETE. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

[14] J. R. JENSEN. *Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2 ed. São José dos Campos-SP: Parênteses, 2009.

[15] A. J. P. ALMEIDA, S. A. M. GUIMARÃES JR, E. L. ANDRADE, and J. V. F. NETO. Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió - AL. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. *Anais*. João Pessoa-PB: INPE, p. 2047-2054, 2015.

[16] M. C. C. T. AMORIM. *O clima urbano de Presidente Prudente/SP.* Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

[17] T. P. F. FREITAS and L. B. SOUZA. Aspectos do clima urbano de Palmas - TO no episódio de outono-inverno. *Caminhos da Geografia,* Uberlândia, v. 17, n. 59, p. 239-246, 2016.