



**Mapeamento da Temperatura da Superfície Continental do  
Perímetro Urbano de Palmas/TO a partir de Imagens Landsat-8**  
Mapping of the Land Surface Temperature of the  
Palmas/TO Urban Perimeter from Landsat-8 Images

Luan Felipe Rodrigues da Luz; Roberta Mara de Oliveira Vergara & Samuel Ferreira da Fonseca

*Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia Civil. Laboratório de Modelagem Numérica. Quadra 109 Norte, Av. NS-15, Alcno-14, Plano Diretor Norte. 77001-090, Palmas, Tocantins, Brasil*

*E-mails: luanfrdl@mail.uft.edu.br; robertaoliveira@mail.uft.edu.br; fonskageo@gmail.com*

Recebido em: 01/08/2019 Aprovado em: 22/10/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2020\\_1\\_42\\_56](http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_42_56)

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar o mapeamento da Temperatura da Superfície Continental (Land Surface Temperature - LST) na área urbana de Palmas/TO, através de mapas temáticos gerados a partir dos produtos Landsat 8. O caminho metodológico consistiu no uso de imagens de satélite nas bandas termais do Landsat 8, nos meses de agosto e dezembro de 2015 a 2017, onde foram processadas em softwares livres como SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) e QGIS (Quantum Geographic Information System). Nas plataformas foram realizados os procedimentos de correção atmosférica e retornados valores de LST. Os resultados apresentaram variações de 20,5°C a 34,5°C para o mês de agosto e de 14,5°C a 19,5°C para dezembro, com exceção do ano de 2015, quando as temperaturas deste último mês variaram entre 24,5°C e 31,5°C. Locais como Parque Cesamar e Parque dos Povos Indígenas se destacam por possuírem uma vasta área verde, apresentando valores inferiores de temperatura de superfície (entre 25°C e 30°C) e obtendo feições mais visíveis no mês de agosto. Apesar do estádio de futebol, aeroporto e a rodoviária apresentarem variações de temperaturas de 16,5°C a 18,5°C em dezembro de 2016, os picos máximos de temperatura (19°C a 19,5°C) ocorreram na área industrial, na porção central do recorte analisado, próximo as quadras 712Sul e 812Sul, e nas quadras ao norte, nos arredores do Parque dos Povos Indígenas.

**Palavras-chave:** Landsat 8; Bandas Termais; Processamento de Imagens

## Abstract

The aim of this paper is to analyze the spatial behavior of the Land Surface Temperature (LST) on the urban area of Palmas, Tocantins State, Brazil, using thematic maps generated from the Landsat 8 products. The methodological path consisted in the use of satellite images in the Landsat 8 thermal bands, during August and December of 2015 to 2017, which were processed in free softwares such as SPRING (Georeferenced Information Processing System) and QGIS (Quantum Geographic Information System). Atmospheric correction procedures were performed on the platforms and the values of LST were returned. The results presented variations between 20.5°C and 34.5°C for August and from 14.5°C to 19.5°C for December, except for the year 2015, when the temperatures of this last month ranged between 24.5°C and 31.5°C. Places such as Cesamar Park and Parque dos Povos Indígenas stand out for having a vast green area, presenting lower values of surface temperature (between 25°C and 30°C) and getting more visible features in August. Although the soccer stadium, airport and road show temperature variations from 16.5°C to 18.5°C in December 2016, the maximum peaks of temperature, (19°C to 19.5°C) occurred in the industrial area, in the central portion of the analyzed cut, next to 712 Sul and 812 Sul, and in the blocks to the north, in the vicinity of the Parque dos Povos Indígenas.

**Keywords:** Landsat 8; Thermal Bands; Image Processing

## 1 Introdução

À medida que as áreas urbanas se desenvolvem, ocorre mudanças na paisagem. Edifícios, estradas e outras infraestruturas substituem terrenos abertos e vegetação. Esse desenvolvimento leva à formação de Ilhas de Calor Urbano (ICU), onde as regiões urbanizadas tendem a registrar temperaturas mais elevadas do que o ambiente rural (EPA, 2011; Barros & Lombardo, 2016).

Peres *et al.* (2018) reforçam que o fenômeno ICU está associado a mudanças nas superfícies que, conforme a expansão da malha urbana, tornam-se mais impermeáveis provocando um aumento da temperatura decorrente do excesso da radiação de acordo com as alterações no equilíbrio natural de energia, massa e momento.

De acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007) os efeitos do aumento de temperatura são sentidos diretamente pela população através da alteração do conforto térmico, qualidade do ar e outros fatores que modificam a qualidade de vida. O aumento da Temperatura da Superfície Continental (*Land Surface Temperature* - LST), devido a taxa de ocupação urbana desordenada, tem sido um efeito negativo e principal causador de alterações climáticas locais, que refletirão nos parâmetros atmosféricos globais, ainda que não haja consenso sobre as reais causas de tais fenômenos; se antrópico ou natural (Assis & Abreu, 2010). A alta variação da LST é um dos principais fatores que influenciam na qualidade de vida humana, sobretudo no recinto urbano, onde o componente antrópico se faz presente em maior intensidade, atuando, dessa forma, na dinâmica do microclima, pois a atividade humana eleva o lançamento de particulados na atmosfera, gera supressão vegetal, e amplia as áreas pavimentadas, refletindo no comportamento climático (Fonseca *et al.*, 2014; Espinoza & Martín-vide, 2014).

Ao longo do processo de desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto, impulsionado pela corrida espacial do século passado, surgiram inúmeros sensores orbitais com objetivo de gerar informações sobre a superfície terrestre. No início da década de 1990, os Estados Unidos surgiram com o programa espacial inovador EOS (*Earth Observing*

*System*) com objetivos que foram além do mapeamento terrestre, como também a quantificação de parâmetros geofísicos e biofísicos para estudos de modelagem numérica (Shimabukuro & Ponzoni, 2017).

A família de satélites Landsat teve início com o lançamento do Landsat 1, em 1972, que levava a bordo aquele que seria o primeiro sensor bem-sucedido de observação da Terra, o denominado *Multispectral Scanner System* (MSS). O sensor *Thematic Mapper* (TM) começou a ser utilizado dez anos mais tarde, quando, em 1982, foi colocado a bordo do satélite Landsat 4. O mais longo satélite do programa Landsat foi o Landsat 5, também levando a bordo o sensor TM, que foi lançado em 1984 e cessado em 2013, mas que gerou imagens de excelente qualidade até 2011, algo inédito até então em termos de período de tempo em órbita e em funcionamento (Rosa, 2005, 2009; Fonseca *et al.*, 2018). Já o satélite Landsat 7 foi lançado em 1999, levando a bordo o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), com o incremento de uma banda pancromática em relação ao seu antecessor, o TM/Landsat 5. O Landsat 8, lançado em 11 de fevereiro de 2013, trouxe inovações com a substituição do sensor TM pelo *Operational Land Imager* (OLI), o estreitamento das faixas espectrais e a inclusão das bandas Costeira/Aerossol, Termal e Cirrus (USGS, 2018).

Vários estudos têm sido realizados nesta perspectiva, usando, ora imagem MODIS (Espinoza & Martín-vide, 2014; Gamarra *et al.*, 2014; Pires, 2015; Corrêa *et al.*, 2016) ora dados da série Landsat (Pinto *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017). Nesses trabalhos, é possível observar que os valores obtidos da LST se dão através de sensores acoplados aos satélites, os quais são responsáveis por detectar a radiação termal emitida pela superfície terrestre. Obtendo assim, dados confiáveis de temperatura.

Ademais, os dados gerados nesse tipo de estudo favorecem diretamente os trabalhos voltados ao planejamento urbano, e atividades que visam o desenvolvimento sustentável da cidade. Além disso, favorece os planejadores urbanos, identificando os pontos que carecem de maior atenção quanto ao controle do clima urbano. E ainda, coloca em relevo as localidades que são passíveis de ocorrência de certas

patologias, considerando, sobretudo, a variabilidade espacial da temperatura de superfície da área de estudo, auxiliando na busca de qualidade de vida nos espaços citadinos (Steinke *et al.*, 2010; Corrêa *et al.*, 2016).

O objetivo deste trabalho foi identificar a temperatura de superfície continental no perímetro urbano de Palmas/TO a partir dos produtos Landsat 8, nos meses de agosto e dezembro, abrangendo os períodos de estiagem e chuva, respectivamente, entre os anos de 2015 e 2017. Além disso, apresentar a aplicabilidade do sensoriamento remoto como metodologia na descrição da LST, tendo como referência os trabalhos de Azevedo & Souza (2013); Pires (2015); Alves (2016) e Pinto *et al.* (2016).

## 1.1 Caracterização da Área de Estudo

Planejada em 1989 e instalada em 1990, o objeto de estudo (Figura 1), a cidade de Palmas, no Tocantins, é a capital mais nova do país, apresentando área de 2.218,942 km<sup>2</sup>, com população de 228.332 habitantes e densidade demográfica de 102,90 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Disposta na faixa Aw segundo a classificação de Köppen, a condição climática é descrita como úmida com moderada deficiência hídrica no inverno, possuindo duas estações bem definidas, período seco e chuvoso (Peel *et al.*, 2007).

De acordo com o Plano Diretor de Palmas, o perímetro urbano é dividido em 5 regiões principais, sendo elas Sul (Aureny's, Taquaralto, Setor Lago

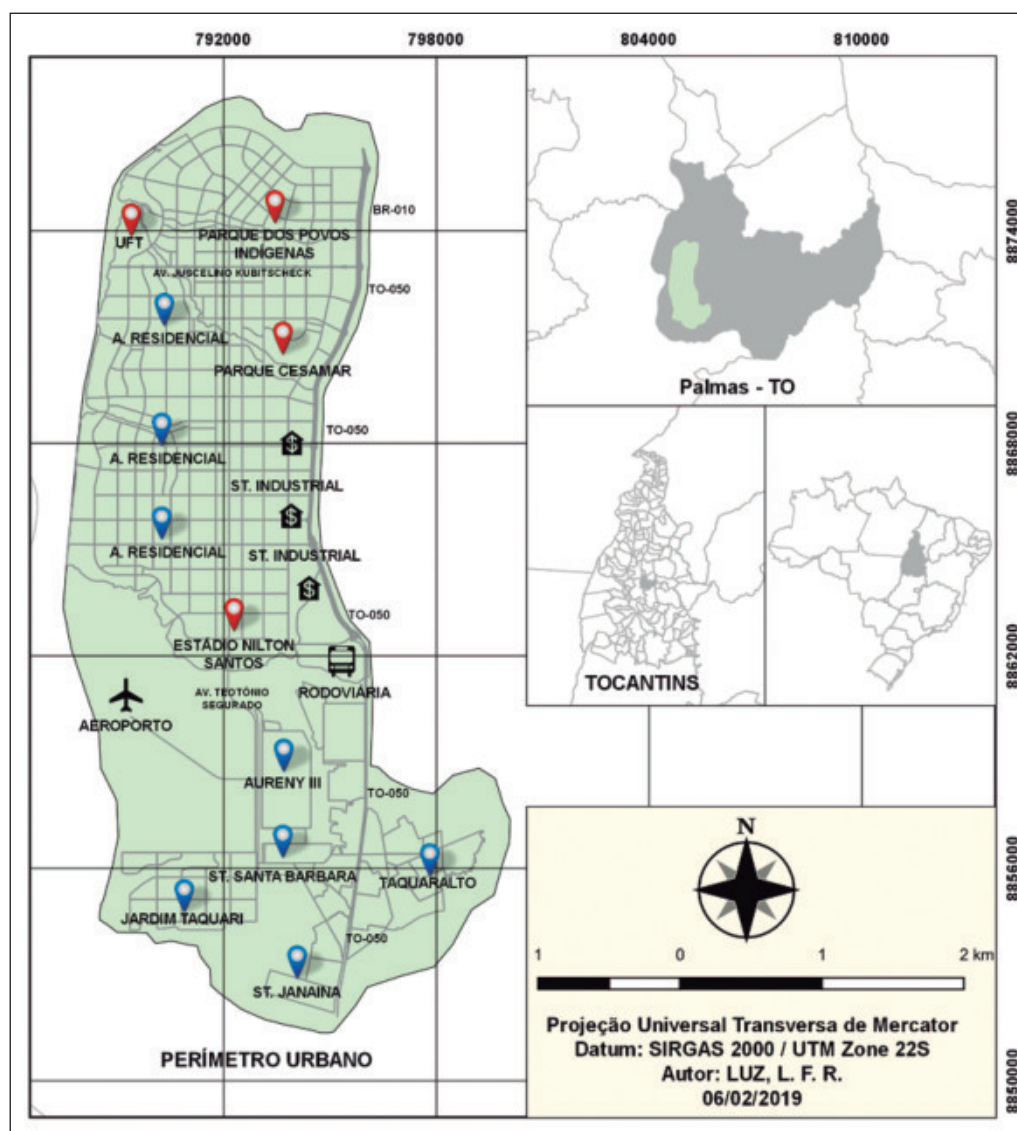


Figura 1 Localização do perímetro urbano de Palmas/TO (adaptado de SEPLAN, 2017).

Sul), Arse (Área Residencial Sudeste), Arso (Área Residencial Sudoeste), Arne (Área Residencial Nordeste) e Arno (Área Residencial Noroeste). Essa divisão ocorre com a utilização das Av. Teotônio Segurado e Av. Juscelino Kubitschek como eixos que delimitam espacialmente a malha urbana.

A Figura 2 apresenta a distribuição da chuva e temperatura ao longo de uma série climatológica com levantamento histórico de 30 anos. É possível identificar as épocas mais quentes e frias de cada mês, além de verificar os períodos de chuva e estiagem. O mês de julho é o mais seco com precipitação de 1mm/mês, sendo janeiro, o mês de maior precipitação, apresentando uma média de 296mm/mês. Setembro apresenta a maior temperatura entre as demais, média de 28°C. Já o mês que apresenta menor temperatura, segundo o levantamento, é o mês de junho com média de 25,9°C (INMET, 2018).

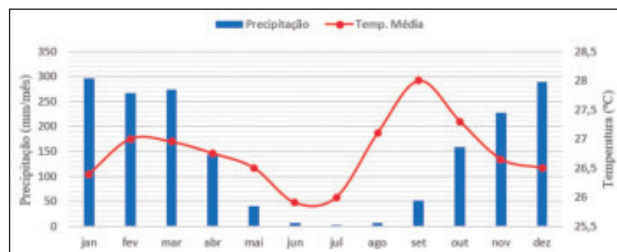


Figura 2 Série Histórica de Temperatura (°C) e Precipitação (mm/mês) em Palmas/TO 1981-2010 (adaptado de INMET, 2018).

## 2 Metodologia

A etapa inicial consistiu na seleção e validação dos dados referentes ao núcleo urbano do município de Palmas/TO através dos critérios *Land and Scene Cloud Cover* (Cobertura de nuvens) abaixo de 50% afim de garantir que a área de estudo não apresentasse condições desfavoráveis em relação as nuvens, sendo que essas apontam valores totalmente discrepantes em relação ao valor real obtido da superfície. O presente estudo utilizou imagens do satélite da série Landsat, órbita/ponto 222/067, sendo Landsat 8, sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) a principal fonte do produto utilizado. Essas imagens possuem bandas que operam na região do infravermelho termal, que permitiram estimar valores de temperatura de superfície de alvos sobre a superfície terrestre.

Os sensores TIRS1 e TIRS2 (Tabela 1), produzem imagens com resolução espacial de 100,0 m, e foram reamostradas para 30,0 m.

SATÉLITE	BANDA	SENSOR	COMPR. DE ONDA (micrometros) $\mu$ m	RES. ESPACIAL
LANDSAT 8	10 Thermal	TIRS 1	10,60 – 11,19	100,0 m
LANDSAT 8	11 Thermal	TIRS2	11,50 – 12,51	100,0 m

Tabela 1 Sistemas de Sensores Landsat 8 TIRS (adaptado de INPE, 2018).

A segunda etapa teve como foco as rotinas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Foram utilizadas as imagens e produtos validados que recobrem todo o perímetro urbano de Palmas/TO entre os anos 2015 e 2017, nos meses de agosto e dezembro, obtendo pelo menos um mês do período chuvoso e do período de estiagem. Das 128 imagens à disposição, as selecionadas do período chuvoso foram aquelas que não constaram excesso de nuvens no mesmo mês do ano seguinte, sendo limitado até 2017 pelo fato do mês de dezembro, no ano seguinte, apresentar nuvens que cobriram áreas significantes do perímetro urbano. Já as imagens do período de estiagem, por possuírem poucas nuvens, possibilitaram maior variedade na escolha. Sendo assim, fez-se necessário optar por um dos meses mais críticos de estiagem segundo o ciclo hidrológico, disposto anteriormente, e a qualidade das imagens em termos de cobertura de nuvem.

Cabe ressaltar que as imagens termais utilizadas, tanto para o mês de agosto quanto para dezembro, foram coletadas em dias diferentes de cada mês. Na Tabela 2, são apresentadas algumas características dos produtos fornecidos pela NASA (*National Aeronautics Space Administration*) e USGS (*United States Geological Survey*).

PRODUTO	CENA	ANO	MÊS	DIA	HORA-UTC
LC08_L1TP	222/067	2015	Agosto	27	13:19:06
LC08_L1TP	222/067	2015	Dezembro	1	13:19:27
LC08_L1TP	222/067	2016	Agosto	29	13:19:28
LC08_L1TP	222/067	2016	Dezembro	3	13:19:38
LC08_L1TP	222/067	2017	Agosto	16	13:19:21
LC08_L1TP	222/067	2017	Dezembro	6	13:19:27

Tabela 2 Descrição dos produtos Landsat 8 (adaptado de USGS, 2018).



Azevedo & Souza (2013) e Alves (2016), em seus trabalhos, utilizam o modelo de Malaret *et al.* (1985) e aplicação do algoritmo METRIC (*Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration*), desenvolvido por Allen *et al.* (2005). A metodologia consiste na obtenção da emissividade superficial através dos valores de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) e IAF (Índice de Área Foliar). Esse fator é aplicado como correção da temperatura de brilho na Equação 7.

Lucena *et al.* (2013), em sua metodologia, obtêm primeiramente os valores da temperatura de brilho para, posteriormente aplicar um fator  $\Delta T$  na aquisição da LST. O Fator  $\Delta T$  associa a transmissividade e emissividade superficial como parâmetro de correção. A emissividade superficial foi obtida pela expressão de Van de Griend & Owe (1993), onde é utilizado valores de NDVI. Já a transmissividade foi obtida pela relação empírica de Souza & Silva (2005).

Pinto *et al.* (2016) aplicam a proposta de Artis & Carnahan (1982) que associam LST com a lei inversa de Planck. A metodologia consiste na interação da temperatura de brilho com o comprimento de onda médio do infravermelho termal, emissividade da superfície e as constantes de Planck e Stefan-Boltzmann.

Este trabalho, assim como Pires (2015), seguiu a proposta adotada por Barsi (2003), de modo que os valores de radiância, inseridos na Equação 7, foram corrigidos anteriormente com os parâmetros

de radiância emitida e recebida, transmissividade e emissividade superficial. Assim, a aplicação direta dos valores de radiação corrigidos ( $L_p$ ) retorna os dados de LST. Abaixo, segue o fluxograma de trabalho (Figura 3):

Na etapa inicial de cálculo, os dados fornecidos no arquivo de metadados do Landsat 8 foram convertidos em valores de refletância planetária TOA (*Top of Atmosphere*), sem correções, aplicando a Equação 1.

$$\rho_{\lambda}' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}'$  – Refletância Espectral TOA (Watts/m<sup>2</sup>\*sr\*ad\* $\mu$ m);

$M_p$  – Fator multiplicativo escalonado específico de banda fornecido no arquivo de metadado (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

$Q_{cal}$  – Produto padrão quantificado e calibrado por valores de pixel (DN) referente a cada banda de imagem;

$A_p$  – Fator aditivo escalonado específico de banda fornecido no arquivo de metadado (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, onde x é o número da banda).

Em seguida, é efetuado o cálculo da refletância corrigido (Equação 2), e do índice de vegetação normalizado (NDVI), Equação 3. No caso do Landsat 8, diferente das séries anteriores, não foram

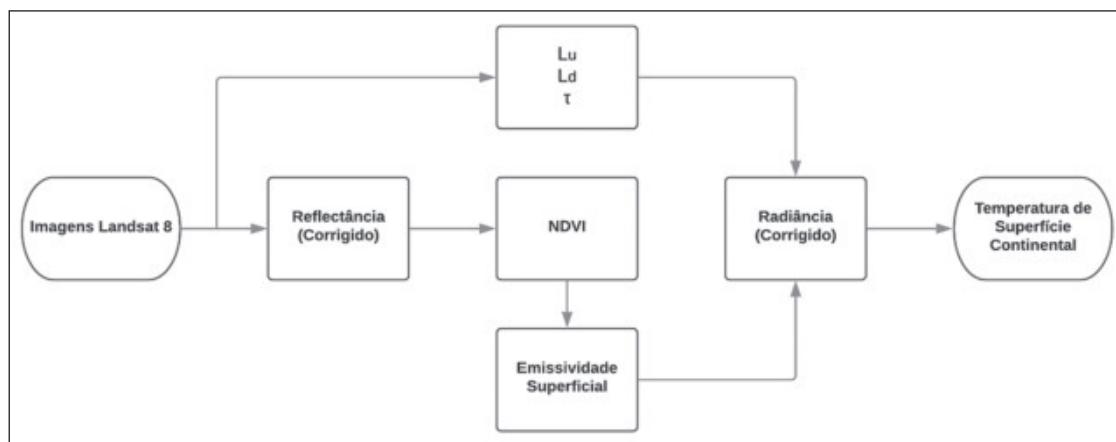


Figura 3 Fluxograma de processamento (adaptado de Pires, 2015).

publicados os valores da irradiância solar média exoatmosférica (Esun) porque não são mais necessários para a conversão em refletância (USGS, 2018; NASA, 2018a). Logo:

$$\rho_i = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos \theta_{SE}} \quad (2)$$

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (3)$$

Onde:

$\rho_i$  – Refletância corrigida das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho);

$\rho_{\lambda}'$  – Radiância Espectral TOA (Watts/m<sup>2</sup>\*s-rad\* $\mu$ m);

$\Theta_{SE}$  – Ângulo zenital solar (SUN\_ELEVATION).

Os valores de emissividade da superfície são obtidos através do algoritmo de Van de Griend & Owe (1993) que relaciona emissividade com NDVI, Equação 4:

$$\varepsilon_i = 1,009 + 0,047 \ln NDVI \quad (4)$$

Os procedimentos de correção radiométrica, em que consiste na conversão de valores de radiância para temperatura, segue com referência nos valores obtidos no topo da atmosfera (TOA). A correção parte do sugerido pela USGS através da equação 5:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (5)$$

Onde:

$L_{\lambda}$  – Radiância Espectral TOA (Watts/m<sup>2</sup>\*s-rad\* $\mu$ m);

$M_L$  – Fator multiplicativo escalonado específico de banda fornecido no arquivo de metadado (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

$Q_{cal}$  – Produto padrão quantificado e calibrado por valores de pixel (DN) referente a cada banda de imagem;

$A_L$  – Fator aditivo escalonado específico de banda fornecido no arquivo de metadado (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, onde x é o número da banda).

Para obter os dados de LST foram calculados os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida da superfície através do site da NASA (2018b). Os dados obtidos de cada produto estão de acordo com a Tabela 3.

PRODUTO	ANO	MÊS	DIA	HORA (UTC)	T	L <sub>u</sub>	L <sub>d</sub>
LC08_L1TP	2015	Agosto	27	13:19:06	0.60	3.41	5.27
LC08_L1TP	2015	Dezembro	1	13:19:27	0.69	2.78	4.41
LC08_L1TP	2016	Agosto	29	13:19:28	0.72	2.20	3.57
LC08_L1TP	2016	Dezembro	3	13:19:38	0.51	4.00	6.04
LC08_L1TP	2017	Agosto	16	13:19:21	0.75	2.10	3.41
LC08_L1TP	2017	Dezembro	6	13:19:27	0.50	4.09	6.17

Tabela 3 Dados para correção atmosférica Landsat 8 (adaptado de USGS, 2018).

Após realização dos cálculos, foi efetuado o cálculo da radiância ( $L_T$ ) através da equação 6 (Barsi *et al.*, 2003).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - (1 - \varepsilon)L_d}{\tau \varepsilon} \quad (6)$$

Onde:

$L_T$  – Radiância de um alvo negro de temperatura cinética (Watts/m<sup>2</sup>\*srad\* $\mu$ m);

$L_{TOA}$  – Radiância Espectral TOA (Watts/m<sup>2</sup>\*s-rad\* $\mu$ m);

$\tau$  – Transmissividade da Atmosfera;

$\varepsilon$  – Emissividade da Superfície;

$L_u$  – Radiância Emitida pela Superfície (Watts/m<sup>2</sup>\*srad\* $\mu$ m);

$L_d$  – Radiância Recebida pela Superfície (Watts/m<sup>2</sup>\*srad\* $\mu$ m).

Vale notar que o procedimento leva em conta tanto a influência atmosférica quanto a de emissividade no sinal gravado pelo instrumento a bordo do satélite. Apesar da metodologia adotada por Lucena *et al.* (2013) utilizar o parâmetro  $\Delta T$ , ao final, na correção da temperatura de brilho. O método acima dispõe isso inicialmente, necessitando previamente somente a sua aplicação na Equação 7.

Dando procedimento no cálculo da LST, o valor de  $L_{\lambda}$  corresponde ao valor obtido de  $L_T$  (Barsi *et*

al., 2003). Logo, os dados de temperatura adquiridos apresentam correção atmosférica e possuem unidade em Kelvin (K) nos quais foram convertidos para graus Celsius (°C) posteriormente.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_T} + 1\right)} \quad (7)$$

Onde:

$T_s$  – Temperatura de Superfície Continental em graus kelvin (k);

$L_T$  – Radiância Espectral corrigido (Watts/m<sup>2</sup>\*srad\*µm);

$K_1$  – Constante de conversão termal específica de banda fornecido no arquivo metadado (K1\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

$K_2$  – Constante de conversão termal específica de banda fornecido no arquivo metadado (K2\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda).

Com as imagens e seus valores de LST, é realizada a apresentação do produto através de mapas temais. Os *softwares* utilizados para processamento de imagens e toda a geração de mapas foram aplicativos de Domínio Público ou *softwares* livres como SPRING (Câmara *et al.*, 1996) e Quantum GIS - QGIS.

### 3 Resultados e Discussão

Essa seção está dividida em duas subseções; uma representando os valores no período de estiagem e outra no período chuvoso. Essa divisão facilita a compreensão da variabilidade espacial.

Com auxílio da Figura 1 e as divisões por setores (Sul, Arse, Arso, Arne, Arno), que são adotados pela Prefeitura de Palmas para organização do plano diretor, espera-se uma melhor facilidade na identificação das localidades e pontos específicos citados.

#### 3.1 Análise do Período de Estiagem

Como observado na Figura 4, a variação do mês de agosto de 2015 foi de 10°C no perímetro

urbano do município estudado. Destacam-se os picos de temperatura, na faixa de 33,5°C a 34,5°C, em setores industriais (2), nas proximidades da rodovia TO-050, das avenidas com alto fluxo de pessoas, e em pontos específicos como rodoviária, estádio de futebol (2) e aeroporto (1). Observa-se também a influência da vegetação em meio a arquitetura da cidade com função de amenizar a temperatura (Steinke *et al.*, 2010). As regiões norte e sul apresentaram variações de até 5°C devido a arborização. Locais como Parque Cesamar (2) e Parque dos Povos Indígenas (4), se destacam por possuírem vasta área verde, portanto apresentando valores de temperatura inferiores em relação as demais localidades (entre 25°C e 30°C).

Nos referidos parques, a presença da vegetação atua como fator atenuante nas altas temperaturas. Esse resultado amplia a discussão em torno da preservação e manutenção de áreas verdes nas cidades. Visto que tais áreas são responsáveis por amenizar e contribuir com o bem-estar da população através da diminuição das ilhas de calor e desconforto térmico provenientes da impermeabilização do solo. (Assis & Abreu, 2010; Steinke *et al.*, 2010).

A Figura 5 apresenta a maior variação de temperatura superficial entre os meses de agosto (14°C) do período estudado (2015 a 2017). Os locais que apresentaram os máximos e mínimos de temperatura foram os mesmos do ano anterior, com ressalva que no extremo sul houve um aumento na abrangência de temperatura do Setor Morada do Sol e Praia dos Buritis (1), além do acréscimo nas áreas verdes ao sul do aeroporto. Ademais, observou-se a concentração das maiores temperaturas na porção mais a oeste na área de estudo (3) como reflexo das atividades de construção civil voltadas a infraestrutura urbana designadas a atender as necessidades da região.

Nota-se também que há uma faixa longitudinal em tom de azul, próximo ao estádio Nilton Santos (2), onde, devido a presença de uma nuvem na imagem original, que acabou passando nos critérios de filtragem, os valores identificados nessa região tornaram-se discrepantes.

A LST em 2017 apresenta uma distribuição semelhante aos valores identificados em 2015, com amplitude de 11°C (Figura 6). Percebe-se que as dis-

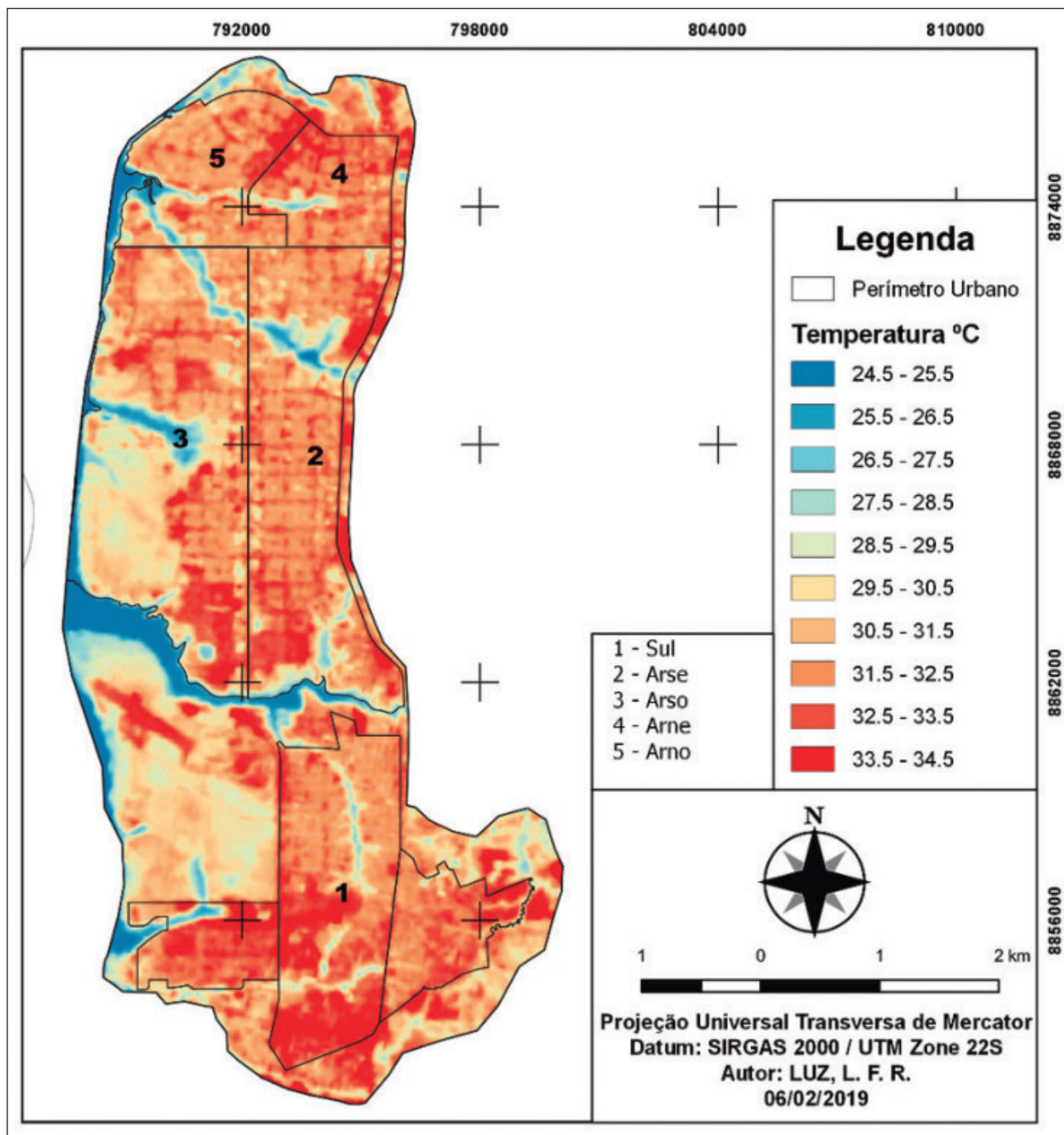


Figura 4 Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2015.

persões das temperaturas mais elevadas ocorreram em áreas menores. Em algumas áreas verdes, entre os setores Santa Bárbara e Janaína (1), por exemplo, predominam temperaturas mais baixas em relação àquelas encontradas em 2015.

Apesar de uma suavização da temperatura em alguns pontos, é visível o aumento da LST em outros locais. O local principal corresponde a área situada entre o aeroporto e a Av. Teotônio Segurado (1), onde ocorreram temperaturas entre 34°C e 34,5°C.



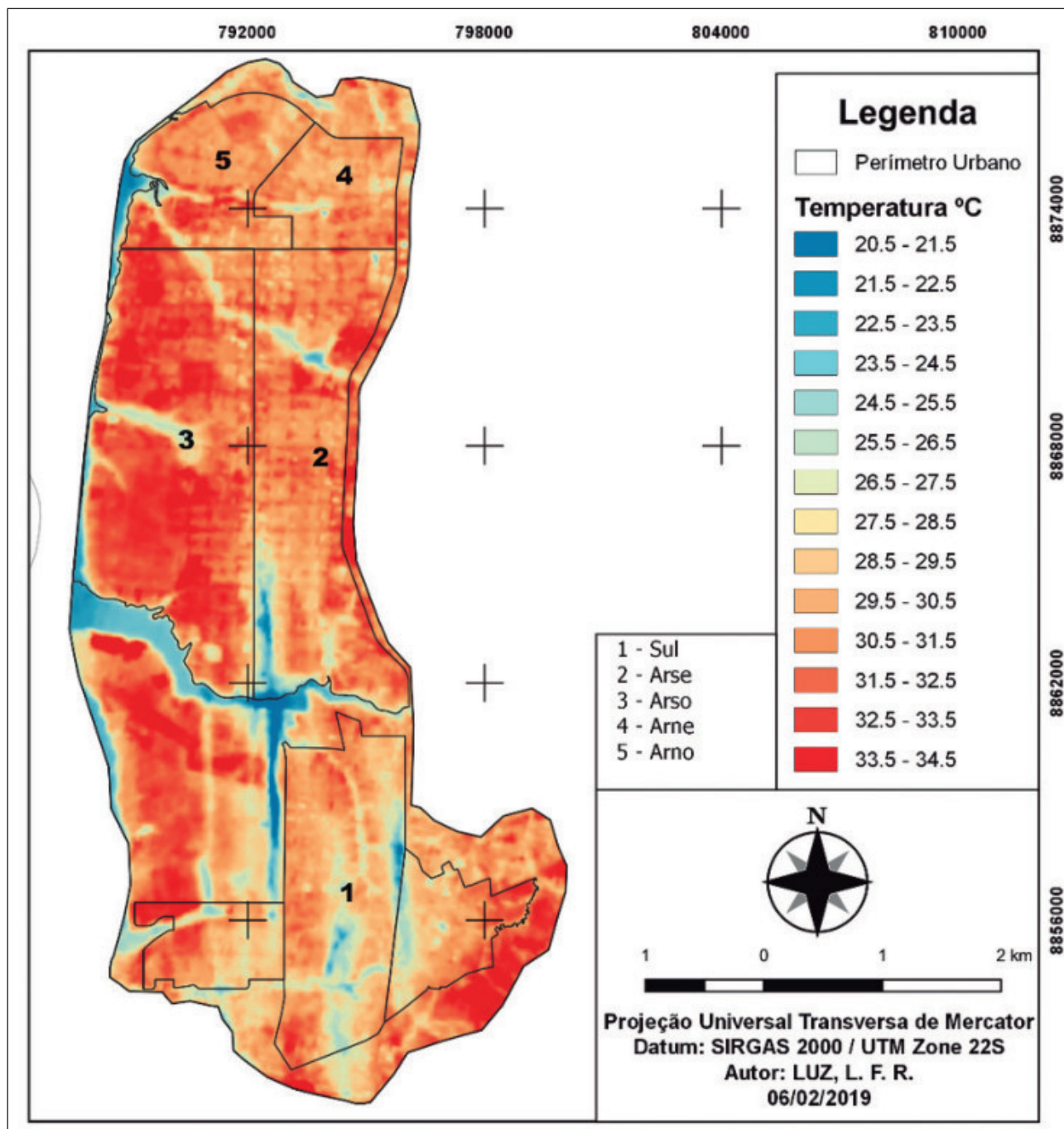


Figura 5 Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2016.

Esses resultados estão diretamente relacionados com pesquisas pretéritas realizadas em outras cidades, destacando o aumento da temperatura em recintos urbanizados, devido as alterações antrópicas nesses (Steink *et al.*, 2010; Corrêa *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017). E ainda, como observado nos mapas, principalmente, nos anos de 2015 e 2017, a porção oeste da área de estudo, permaneceu com as temperaturas mais amenas no período analisado.

### 3.2 Análise do Período Chuvoso

Conforme observado na Figura 7, os resultados para o mês de dezembro (2015) confirmam uma redução nos valores de temperatura devido ao início do período chuvoso na região, situação que auxilia nas oscilações dos elementos climáticos. Esse ano apresenta uma redução na variação de temperatura para 7°C, e também, em seu valor máximo para

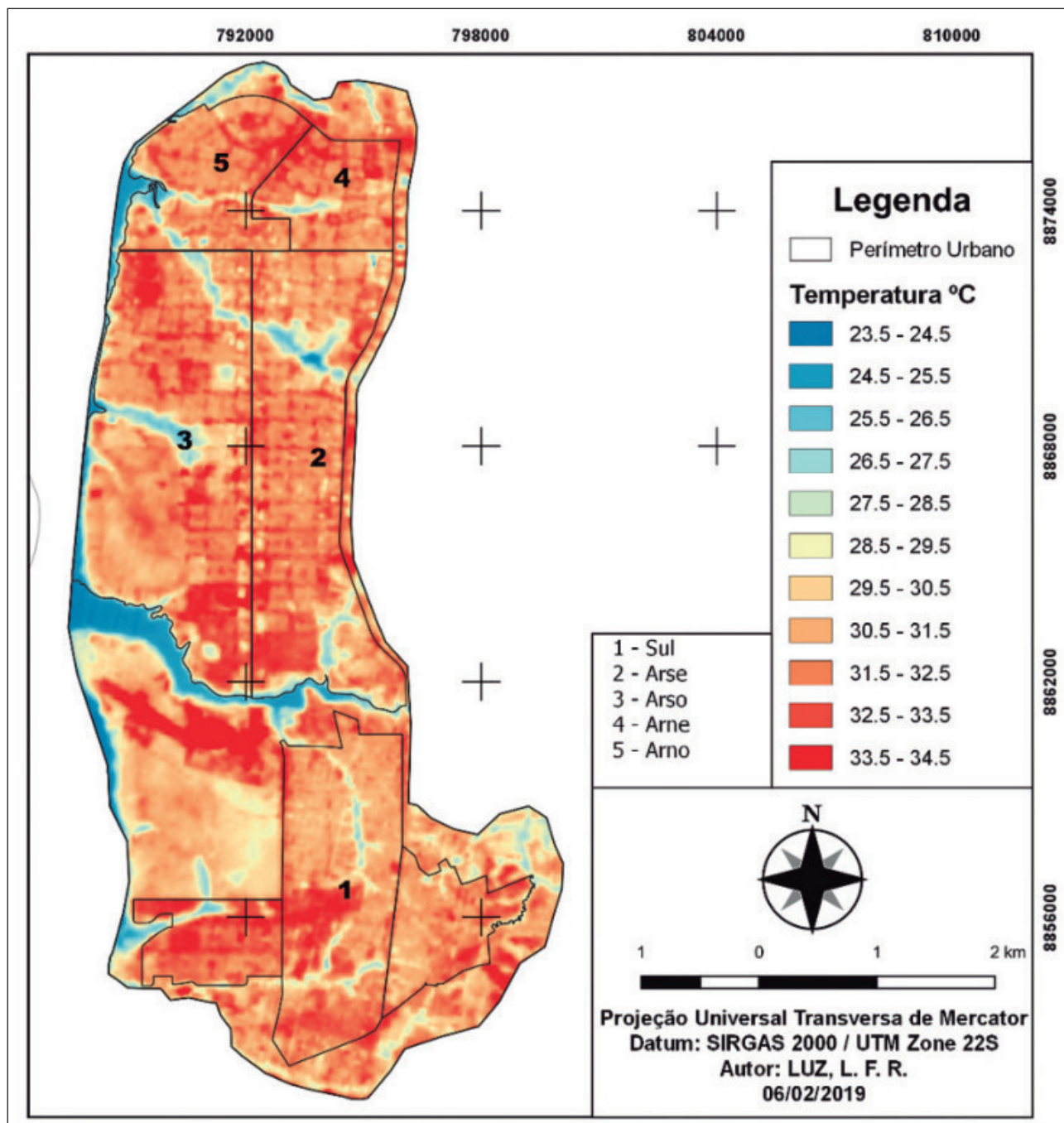


Figura 6 Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2017.

31,5°C. Como o esperado, as maiores temperaturas ainda continuam evidenciadas nos locais com contínua atividade antrópica, assim como as temperaturas mínimas ocorrem nas áreas menos densas.

Observa-se que os picos de temperaturas estão dispostos na porção leste da área de estudo, localizados no eixo da rodovia TO-050 e suas proximidades, variando entre 27,5°C e 31,5°C. O oposto é também

verdadeiro para a porção oeste do núcleo urbano (3 e 5). Este resultado pode ser reflexo da influência do lago artificial disposto imediatamente à oeste do perímetro urbano de Palmas.

Em relação ao mês de dezembro de 2016, os valores da LST reduziram, apresentando máxima de 19,5°C e amplitude de 5°C (Figura 8). Ape-

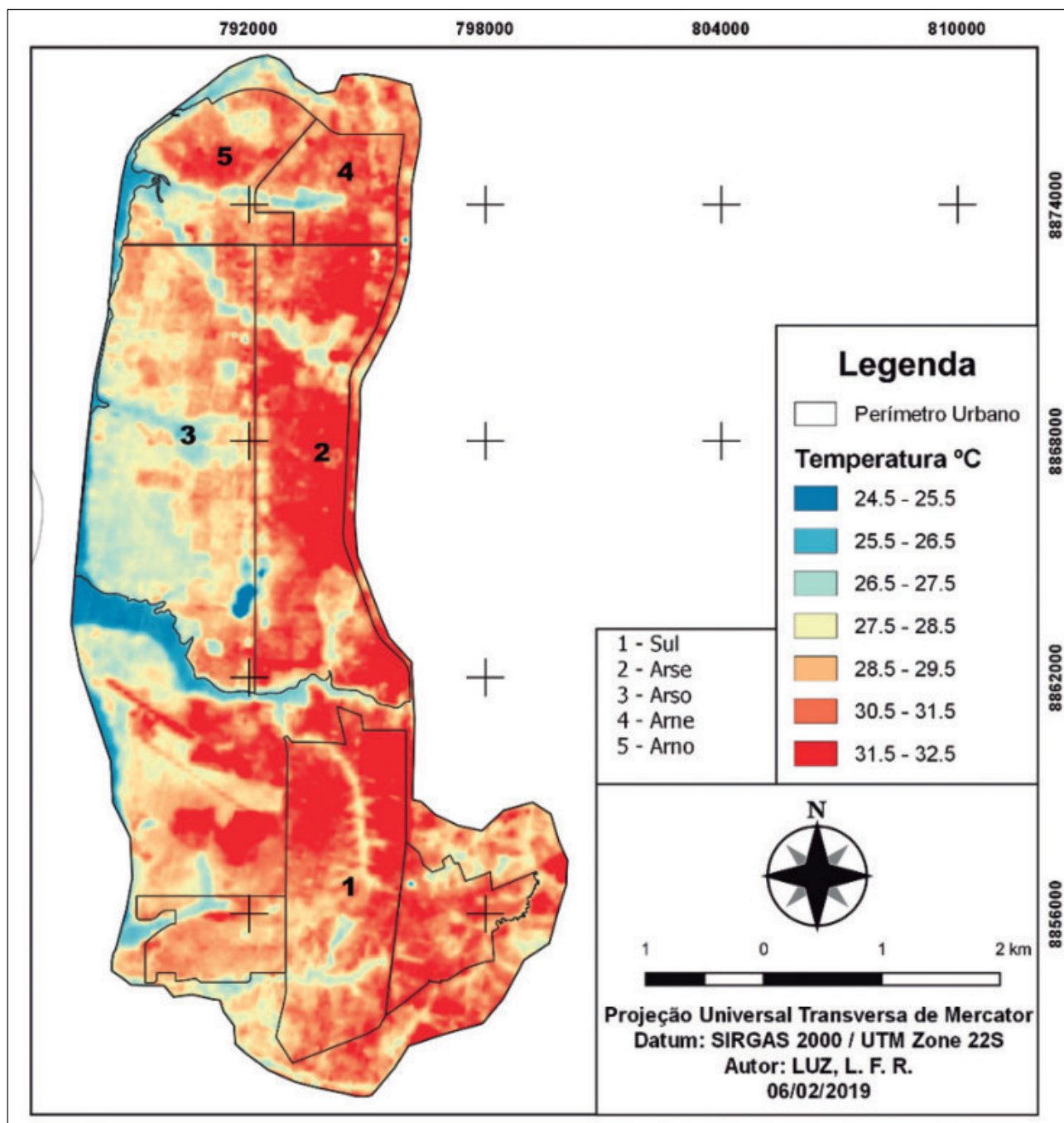


Figura 7 Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2015.

sar do estádio de futebol, aeroporto e a rodoviária apresentarem variações de temperaturas de 16,5°C a 18,5°C, os picos máximos de temperatura (19°C a 19°C) ocorreram na parte industrial mais ao centro do mapa (2), próximo as quadras 712Sul e 812Sul, e nas quadras ao norte ao redor do Parque dos Povos Indígenas (4 e 5).

Observando a Figura 9, a máxima temperatura obtida foi de 19,5°C com variação de 4°C no período chuvoso de 2017. É possível verificar que em dezembro do ano mencionado, grande parte da região sul (1), em direção as Aurenys, Taquari e Taquaralto, e quadras a leste da Av. Teotônio Segurado (2 e 4), assumiram valores maiores de temperatura



em relação ao ano anterior, sofrendo acréscimo de até 3,5°C em algumas quadras.

E, diferente do encontrado por Alves *et al.*, (2017) em Iporã/GO, para pontos de solo exposto, onde as temperaturas foram maiores, em Palmas/TO ocorreu o oposto. Em áreas de loteamentos ainda não construídos, sobretudo no período chuvoso,

ocorreram baixas temperaturas, assemelhando-se, em certa medida, aos corpos hídricos.

### 3.3 Análise Geral dos Resultados

Nota-se que os picos de temperaturas estão presentes, principalmente, em locais que possuem

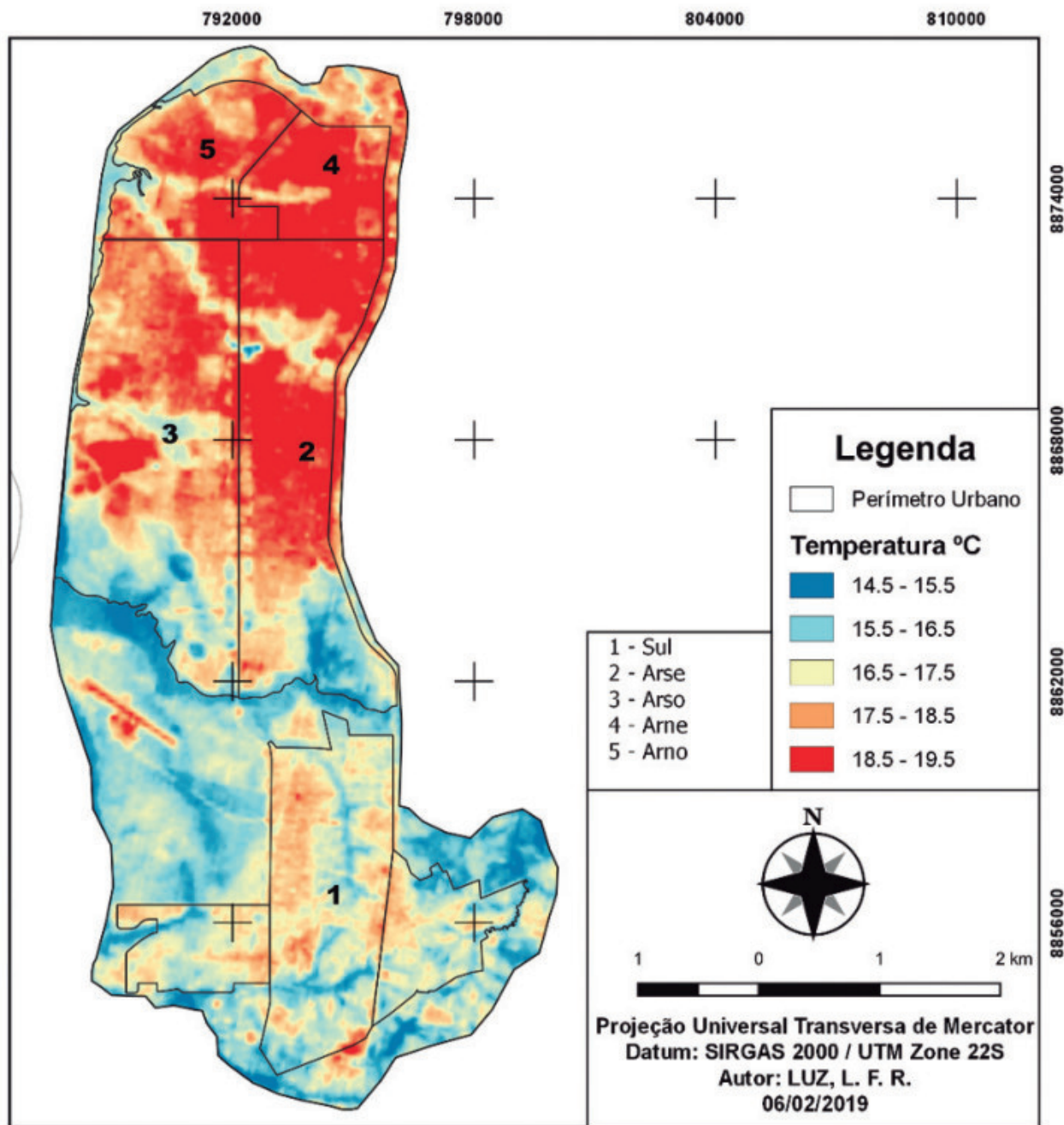


Figura 8 Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2016.



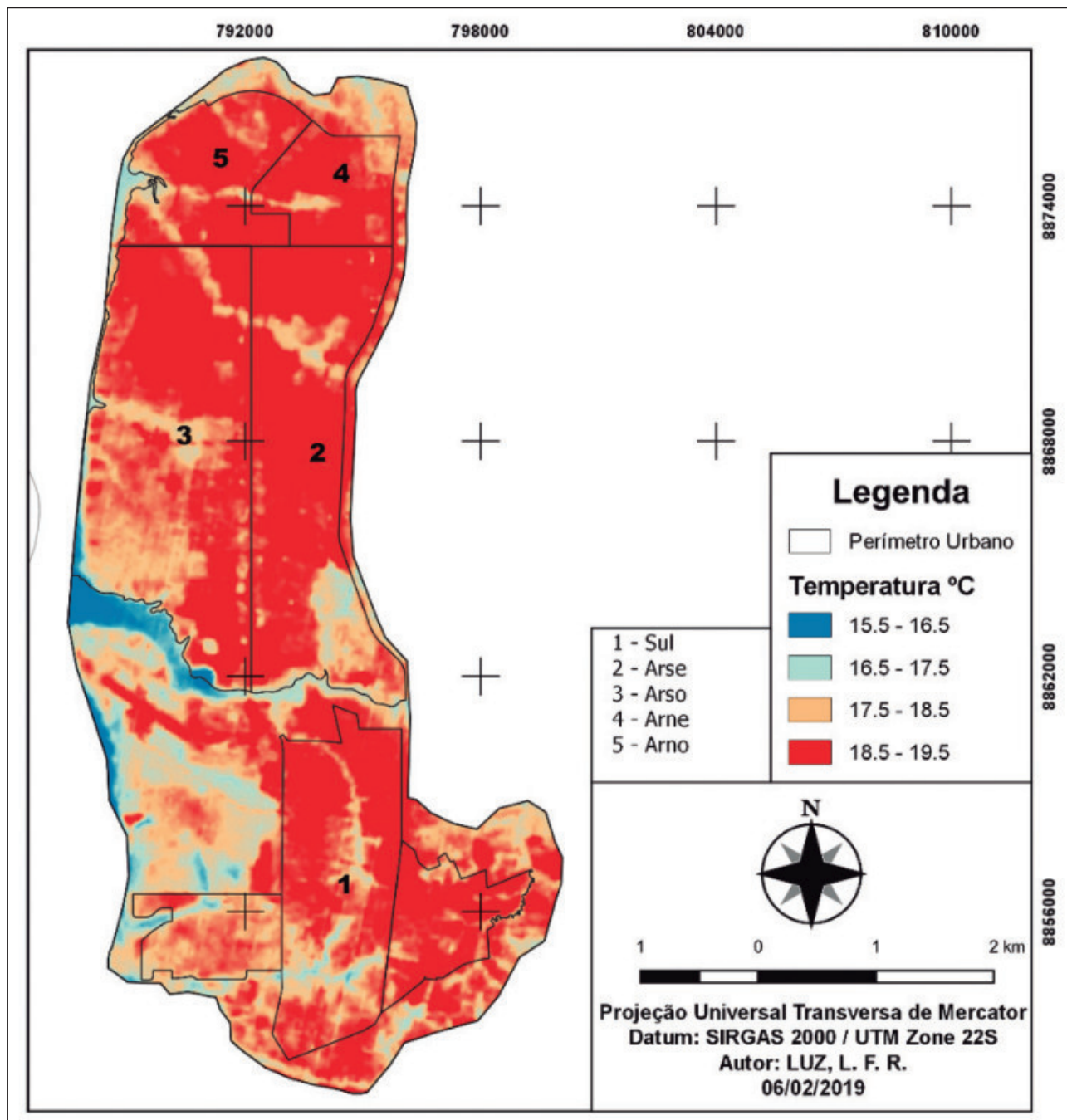


Figura 9 Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2017.

maior atividade humana e menor cobertura vegetal. Além disso, fica visível que os setores industriais, aeroporto, rodoviária, pista de rolamento e áreas com pouca vegetação apresentam temperaturas mais elevadas. Esse resultado é similar ao encontrado por Assis & Abreu (2010); em uma análise para Belo Horizonte/MG, posto que ambas as capitais, embora planejadas, sofrem ocupação desordenada,

implicando em efeitos no microclima. Mesmo que esses autores se apropriaram de outra metodologia, a relação entre calor e adensamento urbano foi também detectada.

Em relação ao período chuvoso, os valores de temperatura foram mais baixos devido ao início das precipitações na cidade. Fica nítido que em dezem-

bro de 2015 os valores dessa variável foram maiores que nos anos seguintes. É possível notar a influência dos setores mais desenvolvidos nos picos de temperatura conforme as observações realizadas no mês de agosto nos respectivos anos, assim como os pontos de mínimos, onde os valores apontados ocorreram devido a grande influência exercida pela vegetação e corpos hídricos nas áreas adjacentes.

Esses resultados, tanto do período de estiagem, quanto chuvoso, estão de acordo com a literatura (Steinke *et al.*, 2010; Corrêa *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017). Alves *et al.*, (2017) asseguram que a presença de vegetação e de corpos hídricos, possibilitam menores temperaturas nas áreas urbanas. Os resultados ora encontrados, apontam nessa mesma direção, o que mostra a característica satisfatória em relação ao método utilizado.

#### 4 Considerações Finais

As áreas mais úmidas, naturalmente, apresentaram valores mais baixos de temperatura de superfície que os demais locais. Os canais de drenagem, por exemplo, bem como a Mata Ciliar/Galeria dos mesmos, foram identificados com menores temperaturas, o que é esperado para tais ambientes. Observou-se ainda, que no período de estiagem a variabilidade espacial da temperatura torna-se mais visível em Palmas/TO. Os valores de temperatura de superfície apontaram maior amplitude, sobretudo, em 2016 (20,5°C a 34,5°C).

As áreas da cidade com maior desenvolvimento urbano foram onde apontaram os valores mais altos de temperatura. A influência tecnológica, que vai desde as características dos materiais construtivos, arranjos das edificações, intensidade do tráfego de pessoas e veículos, influenciam bastante no acréscimo de temperatura dessas localidades.

A principal contribuição deste trabalho consistiu em mostrar a relação entre área verde e LST no núcleo urbano de Palmas/TO. Isso evidencia a necessidade de se planejar melhor o recinto urbano, considerando, entre outras questões, a importância da vegetação enquanto barreira contra as ilhas de calor.

Uma das principais limitações deste trabalho consiste na ausência de imagens adequadamente propícias para aplicação das técnicas utilizadas. Além disso, a escassez de estações meteorológicas na área de estudo é um fator limitante, pois, os valores encontrados, se interpolados para áreas mais extensas, podem mascarar a realidade, comprometendo os resultados, quando comparados com dados obtidos remotamente.

Sugere-se a realização de estudos mais detalhados, comparando uso do solo urbano com informações meteorológicas e os diversos tipos de materiais que compõem o espaço da cidade, obtendo, dessa forma, maior compreensão da interferência antrópica no microclima de Palmas.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Modelagem Numérica da Universidade Federal do Tocantins (UFT) pela disponibilidade dos materiais de estudos e flexibilidade de acesso ao acervo. Aos colegas e professores do laboratório pela sua disponibilidade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

#### 6 Referências

- Allen, R.G.; Tasumi, M.; Morse, A. & Trezza, R. 2005. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage Systems*, 19: 251-268.
- Alves, E.D.L. 2016. Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla. *RA'EGA: Espaço Geográfico em Análise*, 38: 345-364.
- Alves, E.D.L.; Anjos, M. & Lopes, A. 2017. Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície: o caso da cidade de Iporá, Brasil. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 2: 5-21.
- Artis, D.A. & Carnahan, W.H. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4): 313-329.
- Assis, W.L. & Abreu, M.L. 2010. O clima urbano de Belo Horizonte: análise témporo-espacial do campo térmico e hídrico. *Revista de Ciências Humanas*, 10: 47-63.
- Azevedo, G.F. & Souza, N.M. 2013. Uso de imagens Landsat TM 5 para análise da temperatura de superfície do Distrito Federal. In: ANAIS DO XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. INPE, Foz do Iguaçu, p. 1869-1876.
- Barros, H.R. & Lombardo, M.A. 2016. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geosp* –

- Espaço Tempo*, 20(1): 160-177.
- Barsi, J.A.; Barker, J.L. & Schott, J.R. 2003. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. *IEEE*, p. 3014-3016.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. & Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20(3): 395-403.
- Corrêa, P.B.; Candido, L.A.; Souza, R.A.F.; Andreoli, R.V. & Kayano, M.T. 2016. Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Manaus/AM: Um Estudo a Partir de Dados de Sensoriamento Remoto, Modelagem e Estações Meteorológicas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31: 167-176.
- EPA. 2011. Environmental Protection Agency. Reducing urban heat islands: compendium of strategies. *Urban Heat Island Basics*, 22p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basics-compendium.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2019.
- Espinoza, P.S. & Martín-vide, J. 2014. El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superfície del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57: 123-141.
- Fonseca, S.F.; Santos, D.C. & Trindade, W.M. 2014. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na classificação e avaliação da distribuição das espécies arbóreas nas praças de Buritizeiro/MG. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 18(2): 109-122.
- Fonseca, S.F.; Silva, A.C. & Senna, J.A. 2018. Técnicas de Geoprocessamento aplicadas na Identificação de usos da terra no entorno das turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. *RA'EGA - Espaço Geográfico em Análise*, 43: 124-139.
- Gamarra, N.L.R.; Corrêa, M.P. & Targino, A.C.L. 2014. 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*, 29: 537-550.
- IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>>. Acesso em: 27 fev. 2018.
- INMET. 2018. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 27 fev. 2018.
- INPE. 2018. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/dgi/documentacao/satelites>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- Lucena, A.J.; Rotunno Filho, O.C.; França, J.R.A.; Peres, L.F. & Xavier, L.N.R. 2013. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and Applied Climatology*, 111: 497-511.
- Malaret, E.; Bartolucci, L.A.; Lozano, D.F.; Anuta, P.E. & McGillem, C.D. 1985. Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9): 1407-1416.
- Mendonça, F.A. & Danni-Oliveira, I.M. 2007. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. *Oficina de Texto*, 206p.
- NASA. 2018. National Aeronautics Space Administration. Landsat 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Update. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-update-volume-8-issue-2-2014#2a>>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- NASA. 2018. National Aeronautics Space Administration. Atmospheric Correction Parameter Calculator. Disponível em: <<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 07 abr. 2018.
- Peel, M.C.; Finlayson, B.L. & McMahon T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, 4(2): 439-473.
- Peres, L.F.; Lucena, A.J.; Rotunno Filho, O.C. & França, J.R.A. 2018. 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*, 64: 104-116.
- Pires, E.G. 2015. Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias. *Revista Interface*, 10: 113-144.
- Pinto, J.L.C.; Silva, F.S.; Elmiro, M.A.T. & Nobrega, R.A.A. 2016. Análise comparativa dos mapeamentos de temperaturas obtidos por imagens termais e medidas de campo em Belo Horizonte/MG. In: ANAIS do II Modelagem de Sistemas Ambientais e Gestão da Paisagem: Desafios e aplicações. *IGC-UFMG*, p. 107-118.
- Rosa, R. 2005. Geotecnologias na Geografia Aplicada. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, 16: 81-90.
- Rosa, R. 2009. Introdução ao Sensoriamento Remoto. *Editora EDUFU*, 7: 264p.
- SEPLAN. 2017. Secretaria da Fazenda e Planejamento. Governo do Estado do Tocantins. Base de dados. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/bases-ve-toriais/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.
- Shimabukuro, Y.E. & Ponzoni, F.J. 2007. Mistura Espectral: modelo linear e aplicação. *Oficina de Textos*, 127 p.
- Souza, J.D. & Silva, B.B. 2005. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(4): 349-358.
- Steinke, V.A.; Steinke, E.T. & Saito, C.H. 2010. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina/DF. *Revista Brasileira de Climatologia*, 6: 37-56.
- USGS. 2018. United States Geological Survey. Using the USGS Landsat 8 data. Disponível em: <[https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- Van de Griend, A.A. & Owe, M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6): 1119-1131.