



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUAN FELIPE RODRIGUES DA LUZ

**MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL DO
PERÍMETRO URBANO DE PALMAS/TO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT-8**

**Palmas (TO)
2019**

LUAN FELIPE RODRIGUES DA LUZ

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL DO PERÍMETRO
URBANO DE PALMAS/TO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT-8

Monografia apresentada à UFT – Universidade
Federal do Tocantins – Campus Universitário
de Palmas, para obtenção do título de Gradu-
ando em Engenharia Civil.

Orientador(a): Ma. Roberta Mara de Oliveira
Vergara.

Palmas (TO)
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

L979m Luz, Luan Felipe Rodrigues da.

Mapeamento da temperatura da superfície continental do perímetro urbano de Palmas/TO a partir de imagens Landsat-8. / Luan Felipe Rodrigues da Luz. – Palmas, TO, 2019.

49 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019. Orientadora : Roberta Mara de Oliveira Vergara

1. Landsat 8. 2. Bandas Termais. 3. Processamento de Imagens. 4. LST. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

LUAN FELIPE RODRIGUES DA LUZ

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL DO PERÍMETRO
URBANO DE PALMAS/TO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT-8

Monografia apresentada à UFT – Universidade
Federal do Tocantins – Campus Universitário
de Palmas, para obtenção do título de
Graduando em Engenharia Civil.

Orientador(a): Ma. Roberta Mara de Oliveira
Vergara.

Data de Aprovação: 26/06/19

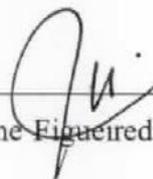
Banca examinadora:



Prof. (a) Ma. Roberta Mara de Oliveira Vergara



Prof. Me. Samuel Ferreira da Fonseca



Prof. Dr. Girlene Figueiredo Maciel

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter me guiado até aqui e ser o ponto de refúgio e conforto em todos os momentos da minha vida.

A minha mãe, que sempre me guiou no caminho do estudo, sempre me manteve de cabeça erguida perante todas as dificuldades e ensinou a valor do respeito quando remeter-se ao próximo.

Agradeço a minha família por todo o apoio em minhas escolhas, sempre positivos e motivando-me a seguir em frente.

A Prof. Me. Roberta Mara de Oliveira Vergara, pela sugestão de tema e acompanhamento no desenvolvimento deste trabalho. Além das, oportunidades e indicações das quais possibilitaram um crescimento pessoal.

Ao Prof. Me. Samuel Ferreira da Fonseca, que contribuiu fortemente com orientações e ideias das quais foram fundamentais para a disposição final do trabalho.

Ao Instituto de Geociência – UFRJ (IGEO), pela oportunidade de publicação, e avaliação e instruções oferecidas pelos seus revisores.

Ao Laboratório de Modelagem Numérica da Universidade Federal do Tocantins (UFT) pela disponibilidade dos materiais de estudos e flexibilidade de acesso ao acervo.

E por fim, aos amigos, colegas e professores pela sua disponibilidade e apoio, tanto emocional quanto educacional, para o desenvolvimento do trabalho.

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 retornado 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 o mês 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 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, LST.

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 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, LST.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Características operacionais do Landsat 8.....	16
Quadro 2 – Características básicas de superfície e atmosfera das Ilhas de Calor Urbano (ICU).	24
Tabela 1 – Atenuação da radiação solar em árvores.	26
Tabela 2 – Sistemas de sensores Landsat 8 TIRS.	29
Tabela 3 – Descrição dos produtos Landsat 8.	29
Tabela 4 – Dados para correção atmosférica Landsat 8.	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um sistema de sensor.....	15
Figura 2 – Representação padrão de temperatura do ar em área urbana.	18
Figura 3 – Perfil clássico das ilhas de calor urbano.	20
Figura 4 – Comportamento das superfícies impermeáveis e evapotranspiração.....	21
Figura 5 – Energia superficial urbana.....	21
Figura 6 – Temperatura de Superfície (°C) em agosto 2002-2005 (a) e agosto 2009-2012 (b) em Manaus/AM.....	22
Figura 7 – Disposição e densidade da estrutura vegetal para classificação de estrutura arbórea.	25
Figura 8 – Localização do perímetro urbano de Palmas/TO.	27
Figura 9 – Série histórica de temperatura (°C) e precipitação (mm/mês) em Palmas-TO (1981-2010).....	28
Figura 10 – Fluxograma de processamento.....	30
Figura 11 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2015.....	36
Figura 12 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2016.....	37
Figura 13 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2017.....	38
Figura 14 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2015.	39
Figura 15 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2016.	40
Figura 16 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2017.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Considerações Iniciais	10
1.2	Objetivo Geral	11
1.3	Objetivos Específicos	12
1.4	Justificativa	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Sensoriamento Remoto	14
2.1.1	Sensores Termiais.....	14
2.1.2	Landsat 8	15
2.1.3	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	16
2.2	Clima Urbano	17
2.2.1	Características do Clima Urbano.....	17
2.2.2	Ambiente Construído	20
2.3	Ilha De Calor Urbano (ICU)	22
2.4	Efeitos Da Vegetação No Clima Urbano	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	Caracterização da Área de Estudo	27
3.2	Materiais e Procedimentos	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Análise do Período de Estiagem	35
4.2	Análise do Período Chuvoso	38
4.3	Análise Geral dos Resultados	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

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 passar por temperaturas mais elevadas do que o ambiente rural (EPA, 2011; BARROS e 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 e Danni (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 e 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 e 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 e 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).

Atualmente, o manuseio de geotecnologias associado ao processamento de imagens de satélites tem possibilitado uma precisa análise espacial da distribuição térmica de áreas de estudo através de dados infravermelho termal. Vários estudos têm sido realizados nesta perspectiva, usando, ora imagem MODIS (ESPINOZA e 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, onde são responsáveis por detectar a radiação termal emitida pela superfície terrestre, obtendo assim uma área amplificada de dados de temperatura.

1.2 Objetivo Geral

Determinar a influência da ocupação urbana no comportamento e variação de temperatura de superfície no perímetro urbano de Palmas-TO através de mapas temáticos gerados a partir dos produtos Landsat 8.

1.3 Objetivos Específicos

- Elaborar banco de dados de imagens no perímetro urbano de Palmas/TO, referente ao mês de agosto e dezembro, no período de 2015 a 2017, com critério de filtragem *Land Cloud Cover* e *Scene Cloud Cover*;
- Realizar análise temporal das variações de temperatura superficial;
- Elaborar mapas temáticos, com dados obtidos do núcleo urbano de Palmas/TO, e;
- Verificar a variabilidade climática da área urbana de Palmas/TO, com auxílio dos mapas elaborados do objeto de estudo;

1.4 Justificativa

Muitos trabalhos, a alguns anos, veem sendo apresentados na área de sensoriamento remoto em torno da análise espacial de temperatura superficial, tais como: Azevedo e Souza (2013), e Barros e Lombado (2016); voltados, respectivamente, para o Distrito Federal e São Paulo.

No núcleo urbano de Palmas/TO se percebe a necessidade de trabalhos específicos, voltados a caracterização e análise da influência climática, decorrente do uso e ocupação do solo. Contudo, pode-se citar algumas pesquisas recentes, que buscam potencializar estudos na região, como a de Pires (2015), e Pires e Ferreira Junior (2015), que apresentaram estudos térmicos do território tocantinense, abrangendo toda a sua extensão; e outro em torno da Usina Hidrelétrica (UHE) Luís Eduardo Magalhães, entre os municípios de Palmas e Porto Nacional. Outro trabalho de grande relevância foi realizado por Pinheiro *et al.* (2018), seu estudo teve como objetivo apontar as áreas com potencial a serem arborizadas e pontuar as regiões onde há insuficiência ou inadequação da aplicação de arborização em torno da cidade.

Ademais, os dados gerados nesse tipo de estudo favorecem diretamente as 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).

Apesar do núcleo urbano de Palmas apresentar diversas espécies vegetativas que auxiliem na redução de temperatura, ainda é esperado uma variação da temperatura de superfície próximas aos 10°C entre localidades com maior concentração destas áreas verde e regiões com maior intensidade de atividade humana. Com a metodologia aplicada, foi possível quantificar estas variações e visualizar o comportamento espacial dessas áreas ao longo do tempo.

Dessa forma, essa pesquisa se justifica pela sua viabilidade técnica, e capacidade de abrir caminho para a elaboração de trabalhos futuros, voltados ao sensoriamento remoto. Além de incentivar o uso das técnicas de geoprocessamento como suporte aos estudos da Engenharia Civil, o que poderá resultar em avanços significativos em termos de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico está subdividido em 4 (quatro) tópicos importantes. O primeiro tópico abordará sobre sensoriamento remoto e sua contribuição para os estudos voltados a recursos renováveis e não renováveis. O segundo assunto abeira-se sobre o clima urbano, onde descreve suas principais características e influência dos arranjos das cidades. O item 3 visa descrever o fenômeno Ilha de Calor Urbano desde seus principais potencializadores quanto aos meios de mitigar os efeitos provenientes deste fenômeno. Já o último tópico ressalta a importância da vegetação na atenuação de temperaturas elevadas, além de destacar a influência das espécies e arranjos que, aplicados de formas adequadas, podem influenciar no desempenho de parques, bosques ou ruas arborizadas quanto a essas atenuações.

2.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido como a ciência pela qual se obtêm informações (dados) sem a necessidade do contato direto com os objetos.

Para Moreira (2001) o Sensoriamento Remoto é um conjunto de atividades utilizadas para obter informações a respeito dos recursos naturais, renováveis e não renováveis do planeta Terra, através de dispositivos (sensores) acoplados em aviões, satélites ou até mesmo na superfície.

A aplicação de técnicas como o SR em estudos de clima urbano, conforme Barbosa e Vecchia (2007) apud Vieira e Machado (2018), vem colaborando com notoriedade em estudos voltados a ilha de calor e anomalias térmicas.

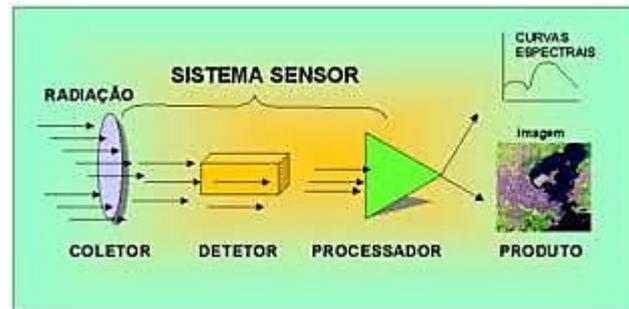
Souza *et al.* (2016) reforça que a utilização do sensoriamento remoto tem gerado resultados satisfatórios, consistentes e importantes para o monitoramento e gerenciamento de recursos naturais, sobretudo quando aplicada em áreas urbanas.

2.1.1 Sensores Termiais

A troca de energia por radiação ocorre pela permutação entre uma superfície mais quente para outra mais fria através de ondas eletromagnéticas. A troca por radiação ocorre entre todos os corpos que possuem temperatura acima do zero absoluto, e através desse conceito é

que são obtidos dados de temperatura com a aplicação de sensores termais. A Figura 1 descreve o procedimento de captação e geração de dados.

Figura 1 – Componentes de um sistema de sensor.



Fonte: Extraído de Moreira (2001).

Moreira (2001) afirma que, de maneira geral, os corpos da superfície da Terra encontram-se a temperatura média de aproximadamente 27°C , e que nessa temperatura, a radiação dos corpos encontra-se ao redor de $9,6\ \mu\text{m}$, possibilitando que os equipamentos, que atuam entre os limites da faixa espectral de $8\ \mu\text{m}$ a $14\ \mu\text{m}$ (Janela atmosférica), obtenham informação da radiação emitida pelos alvos.

Sendo a Temperatura de superfície um dado importante para os estudos de climatologia urbana, Pires (2015) ressalta a importância dos sensores termais para obtenção destes, além da possibilidade de visualização em diferentes escalas e tempo.

2.1.2 Landsat 8

A série teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (National Aeronautics Space Administration - NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Denominado inicialmente de ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), o projeto seguia como o primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo, alterando sua nomenclatura para Landsat posteriormente, em 1975. Atualmente, o Landsat 8 marca a continuidade da série. O satélite opera com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+ a bordo das plataformas anteriores, gerando repetitivos dados multiespectrais de alta resolução da superfície da Terra em escala global (INPE, 2018; NASA, 2018; USGS, 2018). O Quadro 1 fornece alguns dados relacionados a operação do Lst8.

Quadro 1 – Características operacionais do Landsat 8.

Instrumento/Sensor	OLI E TIRS
Situação Atual	Ativo
Lançamento	11/02/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário de Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15m Multiespectral: 30m Termal: 100m reamostrada para 30m.

Fonte: Adaptado de INPE (2018).

2.1.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é uma forma de mensurar valores digitais, de uma combinação de bandas espectrais, em um quantitativo de biomassa ou vigor vegetativo.

O índice de vegetação é formado pela combinação de bandas espectrais que podem ser adicionadas, subtraídas, divididas ou multiplicadas, a fim de produzir valores únicos que indiquem a quantidade ou vigor vegetativo de uma determinada área. Um índice de vegetação com alto valor de brilho indica pixels cobertos por uma alta proporção de vegetação viva, ou seja, saudável (SANTOS *et al*, 2010).

O NDVI está diretamente associado a capacidade da vegetação em refletir o infravermelho. A vegetação, em seu estado saudável, possui maior capacidade de reflectância. As folhas verdes possuem uma reflectância de 20% ou menor para a faixa de 0,5 a 0,7 μ m (verde para vermelho) e cerca de 60% na faixa de 0,7 a 1,3 μ m (próximo ao infravermelho). O valor obtido é normalizado entre o intervalo de -1 a 1 (KUMAR *et al*, 2012).

A forma mais simples de obter o índice de vegetação é pela razão entre duas bandas espectrais. A Normalização (Equação 1), utiliza as faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Sua aplicação torna a vegetação aparente em tons mais claros e valores próximos a +1. Já áreas com ausência de vegetação são apresentadas em tons mais escuros, próximos a -1 (SANTOS *et al.*, 2010; LIMA e AMORIM, 2011).

$$NDVI = \frac{IV-VM}{IV+VM} \quad (1)$$

Onde:

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

IV – Banda do Infravermelho Próximo;

VM – Banda do Vermelho.

2.2 Clima Urbano

Nos últimos séculos, a atividade antrópica associada ao desenvolvimento tecnológico e urbanístico tem distanciado a sociedade e a natureza devido as características dos materiais empregados nas cidades.

Com a intensificação dos efeitos climáticos, impulsionado pelo crescimento desordenado das cidades, é perceptível zonas com maior concentração de calor que provocam a sensação de desconforto e redução da qualidade de vida. Como forma de atenuação, é fundamental um planejamento urbanístico com o objetivo de reduzir essas zonas intensivas de calor. A readequação dos materiais ou processo de arborização das áreas específicas são as alternativas mais recorridas de aplicação.

2.2.1 Características do Clima Urbano

O clima urbano é produzido pela ação do homem sobre a natureza e se relaciona à produção de condições diferenciadas de conforto e desconforto térmico, à poluição do ar, às chuvas intensas, às inundações e aos desmoronamentos das vertentes dos morros caracterizados como eventos de grande custo social (LOMBARDO, 1985).

Como parte do clima global, o clima urbano, caracterizado pelas interações de macro e microescalas, também passam por transformações. Estas transformações estão diretamente relacionadas ao crescimento desordenado das áreas urbanizadas provocando a degradação do meio natural (PINTO *et al.*, 2016). Nas últimas décadas, as cidades apresentaram grande crescimento da população, do espaço e de atividades, transformando drasticamente tanto o ambiente natural como o ambiente construído. Esse novo ambiente construído vem sofrendo significativa

alteração climática, com prejuízo para a qualidade de vida das populações (LABAKI *et al.*, 2011).

Gartland (2010) explica que a constituição dos materiais utilizados em construção absorve e retém mais calor do sol em relação aos naturais. Ainda em raciocínio, a autora esclarece que um dos principais fatores é que a maioria dos materiais de construção são impermeáveis e estanques, dificultando a dispersão de calor devido à falta de umidade. Outro fator está associado a combinação de pavimentos e materiais mais escuros com características que favorecem a absorção e armazenagem de energia solar.

De acordo com Lombardo (2009), as mudanças climáticas no ambiente urbano geram condicionantes significativos, sendo eles: modificação dos balanços radioativo e energético; aumento da temperatura de superfície e do ar (associados a Ilha de Calor); diminuição da velocidade média do vento; aumento da poluição atmosférica; diminuição da visibilidade e aumento da precipitação convectiva. A Figura 2 mostra como é o padrão das ilustrações dos traçados de isoterma em que possuem o comportamento similar à de ilhas, denominadas ilhas de calor.

Figura 2 – Representação padrão de temperatura do ar em área urbana.



Fonte: Extraído de EPA (2011).

O fato de as cidades apresentarem maiores temperaturas em relação a áreas rurais está associado a energia absorvida e dissipada de cada região. King e Davis (2007) apontam alguns dos principais fatores de aquecimento das cidades, sendo eles:

- Em áreas rurais, durante o dia, a energia solar absorvida próxima do solo evapora a umidade presente na vegetação e no solo pelo mecanismo de resfriamento por evapotranspiração. Em cidades, os materiais presentes em construções, ruas e calçadas absorvem a maioria da energia solar emitida;
- Por terem menor porcentagem de água, em relação a áreas rurais, as cidades possuem menor poder de resfriamento evaporativo, contribuindo para temperaturas mais elevadas;
- O calor emitido pelas construções e veículos vão eventualmente para atmosfera, colaborando diretamente para o aquecimento das cidades. A contribuição destes objetos chega a um terço da energia solar recebida;
- As propriedades térmicas dos materiais de construções como asfalto, tijolo e concreto favorecem a elevadas temperaturas por serem mais eficazes a condução de calor do que a vegetação;
- A tipologia estrutural dos altos edifícios gera condições para o aquecimento. Durante o dia, a energia solar é aprisionada pelas reflexões dos prédios, enquanto a perda de energia infravermelha é reduzida pela absorção;
- A diferença de temperatura entre a cidade e arredores também é função das escalas sinóticas do vento. Fortes ventos reduzem a temperatura constante pela mistura feita entre o ar rural e urbano;
- A ilha de calor pode aumentar a nebulosidade e precipitação na cidade, com a circulação térmica no cenário entre cidade e arredores.

Estudos recentes mostram diferentes modos de agir e mitigar os efeitos do clima. O trabalho de Chang; Li e Chang (2007) apontam os principais meios de intervenção:

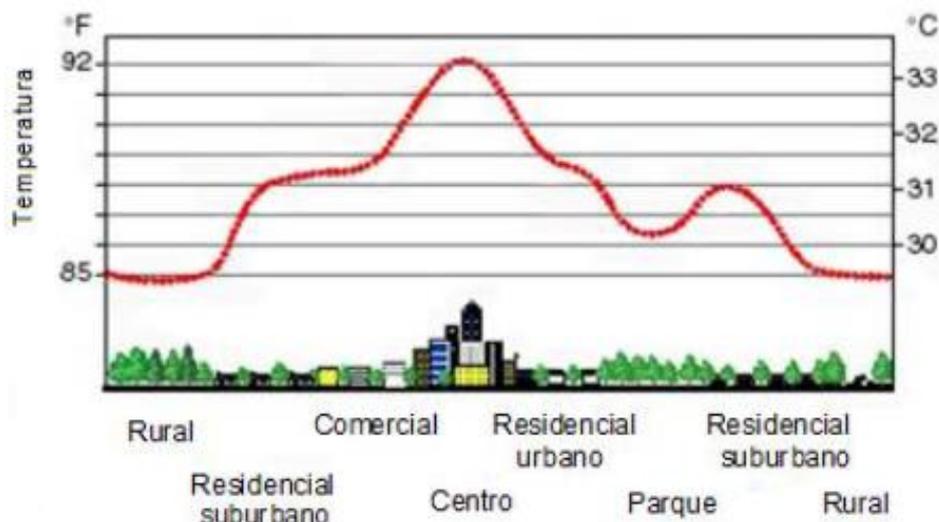
- Modificação da geometria urbana;
- Uso de superfícies de diferentes albedos;
- Políticas e medidas para aumentar a eficiência no uso de energia;
- Gerenciamento do trânsito de veículos e sistema de transporte;
- Uso de superfícies permeáveis;
- Uso de superfície com vegetação.

2.2.2 Ambiente Construído

O processo de urbanização é uma das principais interferências da mudança na natureza da superfície do solo e nas propriedades atmosféricas presente na camada limite urbana. A resultante destas transformações são mudanças dos ventos regionais; na geometria da radiação solar e da insolação e emissão de poluentes, propiciando a temperaturas mais elevadas nas zonas urbanas consolidadas em relação as zonas periféricas ou rurais. (LOMBARDO, 2009).

As alterações climáticas apresentam maior nitidez em cidades desenvolvidas e caracterizada por áreas densamente construída (Figura 3), onde apresentam temperaturas mais elevadas quando que comparadas ao seu entorno, criando um fenômeno chamado de “Ilhas de Calor Urbano” (LEAL, 2012).

Figura 3 – Perfil clássico das ilhas de calor urbano.



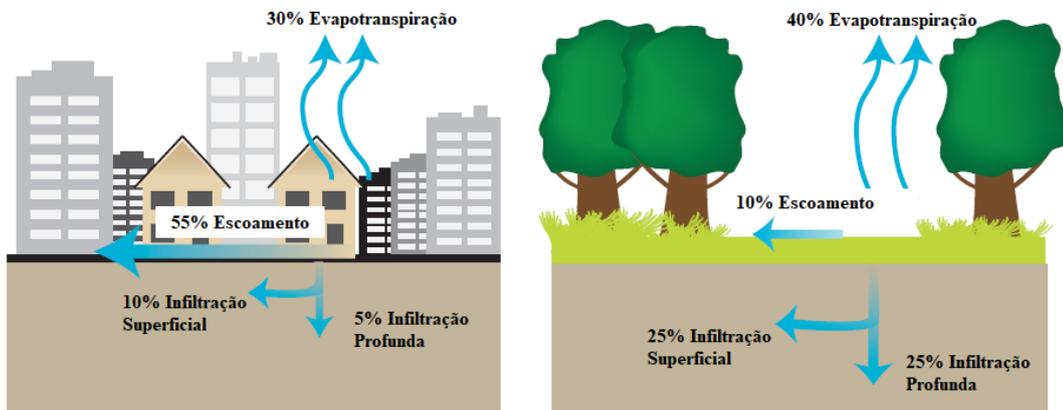
Fonte: Extraído de Leal (2012).

Diferente das áreas rurais, onde possuem um maior volume de arvore e vegetação, as áreas urbanas, são caracterizadas por superfícies secas e impermeáveis, como telhados, calçadas, estradas e estacionamentos. À medida que as cidades seguem se desenvolvendo, ocorre a diminuição das áreas verdes e aumento de superfícies pavimentadas e cobertas por edificações. O resultado dessa combinação (Figura 4), é o decréscimo de umidade e sombra, contribuindo significativamente no aumento temperatura (EPA, 2011).

As previsões do aumento de temperatura estão associadas aos vários cenários futuros de acordo com diversos parâmetros: evolução da população; o tipo de energia utilizada e indicadores de ordem econômica social, ambiental, tecnológica e política. (LOMBARDO, 2009).

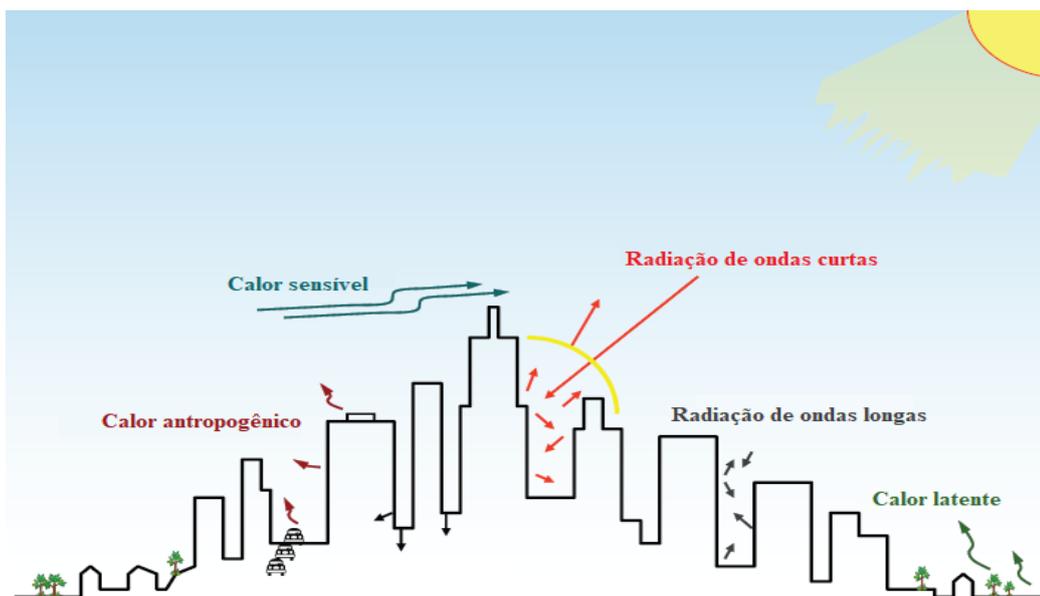
Portanto, a energia superficial emitida varia de região para região dependendo das características antrópicas locais, Figura 5.

Figura 4 – Comportamento das superfícies impermeáveis e evapotranspiração.



Fonte: Adaptado de EPA (2011).

Figura 5 – Energia superficial urbana.

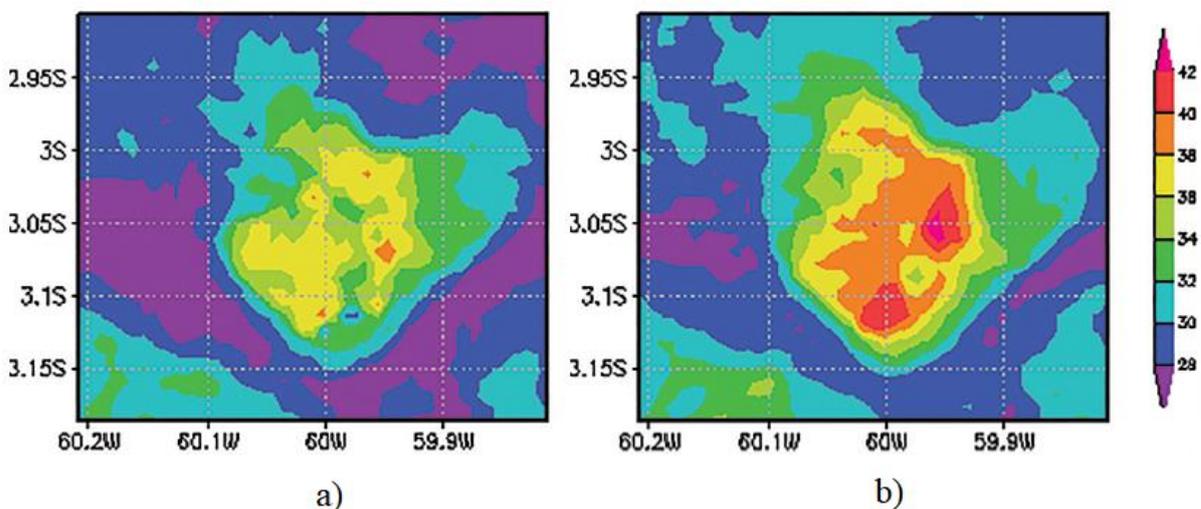


Fonte: Adaptado de EPA (2011).

Lombardo (2009) ainda explica que as pequenas bacias hidrográficas são mais vulneráveis as condições de degradação devido as ações antrópicas, e principalmente, ao ordenamento da ocupação urbana deficiente. O autor frisa que tem sido desenvolvido medidas de caráter preventivo e destinados a mitigar os efeitos das cheias, inundações e poluições, integrando esses impactos no planejamento e desenho urbanos.

O trabalho de Corrêa *et al.* (2016) na cidade de Manaus/AM (Figura 6), evidencia que para algumas áreas, era comum apresentar valores de temperatura bem menores, e que com o passar dos anos, as mesmas apontaram aumento de temperatura devido ao aglomeração e crescimento da densidade construtiva (casas, prédios, ruas) e da atividade humana no local. O processo de desenvolvimento, interligado as mudanças no uso e ocupação do solo, afetam diretamente na perda de áreas agrícolas e florestais, seguido do aumento de áreas estéreis e superfícies impermeáveis, atuando significante no acrescimento de temperatura em determinadas regiões (KUMAR *et. al.*, 2012).

Figura 6 – Temperatura de Superfície (°C) em agosto 2002-2005 (a) e agosto 2009-2012 (b) em Manaus/AM



Fonte: Extraído de Corrêa (2016).

2.3 Ilha De Calor Urbano (ICU)

As Ilhas de Calor Urbano são consideradas anomalias térmicas caracterizadas pela elevação de temperatura em determinadas áreas quando comparada a outras em sua proximidade. Elas podem ser observadas em diferentes escalas, sendo mais evidente na comparação entre grandes áreas urbanas e rurais (COLTRI, 2016 apud LEAL, 2012).

Para Vieira e Machado (2018), as Ilhas de Calor Urbano são comuns em áreas urbanizadas devido a aglomeração e atividade humana, onde estas atuam como principais contribuintes na elevação de temperatura de superfície e da atmosfera em suas proximidades, assim gerando microclimas urbanos.

Sabe-se que as ICU's não resultam apenas da ação de um simples fator, e sim das características da superfície; atmosfera urbana; capacidade calorífica dos materiais de construção; redução de áreas verdes; radiação de ondas longas devido a poluição atmosférica (ARYA, 2001; GARTLAND, 2010 apud CORRÊA *et al.*, 2016). Sua natureza complexa se relaciona com inúmeros fatores climáticos, além da dinâmica com variáveis como habitação e saúde pública (BARROS e LOMBARDO, 2016). Estes fatores estão presentes em meios provindos das atividades humanas, tráfegos intensos e padrões construtivos onde influenciam no incremento de calor e poluentes, além da falta ou redução de agentes minimizadores.

Oke (1981) e Kumar *et al.* (2012), citam as principais causas que levam a formação de ICUs e aumento da temperatura de superfície, entre elas estão:

- Aumento da entrada de radiação de ondas longas. Processo intensivo de absorção e emissão pelos poluentes da atmosfera urbana;
- Menores perdas de radiação de ondas longas devido ao comportamento de *canyons* pela disposição de prédios e edifícios;
- Maior absorção da radiação de ondas curtas pela superfície urbana devido aos efeitos das construções no albedo;
- Ampla estocagem de calor durante o dia devido à alta capacidade térmica e condutividade dos materiais urbanos e gerando grande emissão de radiação durante a noite;
- Aumento das descargas térmicas antropogênicas oriundas do consumo de energia devido a utilização de aparelhos com características de geração de calor em seu funcionamento como aquecedores e refrigeradores, transportes e operações industriais;
- Diminuição de evaporação devido a retirada e redução da vegetação e superfícies líquidas. Aumentando o fluxo de calor sensível com a baixa do fluxo de calor latente e/ou evapotranspiração.

Ilhas de calor urbano de superfície normalmente estão presentes dia e noite, mas tendem a ser mais fortes durante o dia devido a exposição ao sol. Em média, a diferença nas temperaturas da superfície durante o dia entre as áreas rurais é 10 a 15 ° C; a diferença na temperatura da superfície noturna é tipicamente menor, de 5 a 10 ° C. A magnitude das ilhas de calor urbanas varia conforme as estações, devido as mudanças na intensidade do sol, cobrimento do solo e

alterações climáticas. Como resultado de tal variação, as ilhas urbanas de calor são normalmente maiores no verão (EPA, 2011). No Quadro 2 são apresentadas algumas características das ilhas de calor de superfície e atmosféricas.

Quadro 2 – Características básicas de superfície e atmosfera das Ilhas de Calor Urbano (ICU).

Característica	Superfície ICU	Atmosfera ICU
Desenvolvimento Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Presente em todos os momentos do dia e da noite. • Maior intensidade durante o dia e o verão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser pequeno ou inexistente durante o dia. • Maior intensidade à noite ou antes do amanhecer e no inverno.
Intensidade Máxima (Condições de ICU mais intensas)	Maior variação espacial e temporal: <ul style="list-style-type: none"> • Dia: 10 a 15°C. • Noite: 5 a 10°C. 	Menor Variação: <ul style="list-style-type: none"> • Dia: -1 a 3°C. • Noite: 7 a 12°C.
Método Típico de Identificação	Medição indireta: <ul style="list-style-type: none"> • Sensoriamento Remoto. 	Medição direta: <ul style="list-style-type: none"> • Estações Meteorológicas fixas. • Travessas Móveis.
Descrição Típica	<ul style="list-style-type: none"> • Imagem Térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa Isotérmico • Gráfico de Temperatura

Fonte: Adaptado de EPA (2011).

2.4 Efeitos Da Vegetação No Clima Urbano

Entende-se que cidade compostas por ruas, avenidas, praças e jardins bem arborizados são fatores indispensáveis na busca por qualidade de vida da população. As árvores, isoladas ou em grupos, atenuam grande parte da radiação incidente, impedindo que seu conjunto atinja o solo ou as construções. A vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação por

meio do sombreamento e da evapotranspiração. O sombreamento ameniza a radiação solar incidente e o aquecimento das superfícies, reduzindo assim, a temperatura superficial e, através da evapotranspiração, ocorre o resfriamento das folhas e do ar adjacente, devido à retirada de calor latente (LABAKI *et al.*, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2017).

Nos aglomerados urbanos, há uma série de variáveis que precisam ser consideradas nas tomadas de decisões, entre essas variáveis, é importante pensar nos aspectos futuros da arborização (FONSECA *et al.*, 2014). A disposição de vegetação, em meio urbano, apresenta diversas variações conforme o planejamento e sua eficiência depende diretamente do seu arranjo, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Disposição e densidade da estrutura vegetal para classificação de estrutura arbórea.



Fonte: Peixoto; Labaki e Santos (1995) apud Labaki *et al.* (2011).

Com a expansão das cidades, há uma diminuição significativa das áreas verdes e de suas superfícies líquidas, que são substituídas pelo asfalto e pelo concreto, resultando em áreas impermeabilizadas e favorecendo a ocorrência de ilhas de calor (MONTEIRO, 2003). As tipologias de florestar urbanas, como ruas arborizadas, canteiros centrais de ruas e avenidas, praças, parques, bosques, jardins públicos e quitais de residências, vem contribuindo no resfriamento e mitigação dos efeitos de ilha de calor (SOLECKIA *et al.*, 2005).

Lombardo (2009) ressalta que em áreas urbanas, os espaços verdes constituem uma importante forma de adaptação as alterações climáticas devido sua contribuição para a melhoria das condições microclimáticas da área envolvente e para a mitigação da ilha de calor, além do seu potencial em assimilar gás carbono e outros poluentes atmosféricos.

Os espaços urbanos com a presença de cobertura vegetal têm um efeito amenizador do aquecimento térmico gerado pelas edificações e superfícies pavimentadas (GIOVANI, 1998). O planejamento de florestas urbanas como parques, bosques e arborização de ruas, são medidas

mais eficientes que promovem mudanças no microclima urbano. Este tipo de planejamento leva em consideração as zonas mais afetadas pelos efeitos de ilhas de calor (LEAL, 2012).

Levantamentos feitos por Bartholomei (2003) ressaltam a importância da escolha de espécies que compõem a área verde de interesse. Com seus resultados é possível verificar a atenuação da radiação solar (Tabela 1), onde constata-se que dependendo da espécie adotada a um certo ambiente, obtêm-se variações notáveis de eficiência.

Tabela 1 – Atenuação da radiação solar em árvores.

Espécie Analisada	Atenuação da Radiação Solar (%)	α (Erro Padrão da Média)
Senna spectabilis	88,6	$\pm 1,3$
Schinus molle	73,6	$\pm 1,3$
Bauhinia variegata	81,7	$\pm 2,0$
Coringium jambolana	92,8	$\pm 0,4$
Clitoria fairchildiana (sem folha)	70,2	$\pm 2,6$
Clitoria fairchildiana (com folha)	78,6	$\pm 0,8$
Cedrela fissilis (sem folha)	29,9	$\pm 1,9$
Cedrela fissilis (com folha)	75,6	$\pm 1,2$
Ficus benjamina	86,3	$\pm 1,3$

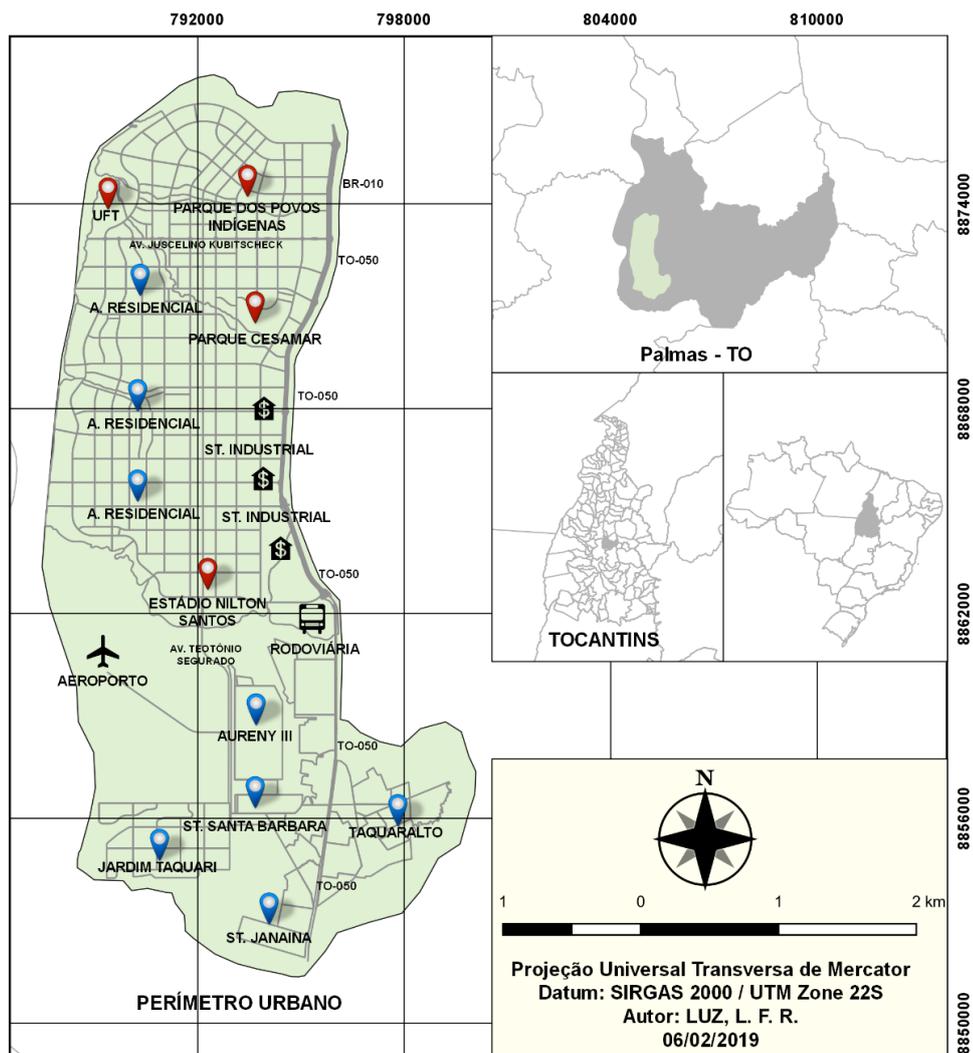
Fonte: Adaptado de Bartholomei (2003).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Planejada em 1989 e instalada em 1990 com intuito de integrar o espaço urbano com as paisagens naturais, o objeto de estudo (Figura 8), a cidade de Palmas, no Tocantins, apresenta uma área territorial de 2.218,942 km², com população de 228.332 habitantes e densidade demográfica de 102,90 hab/km² (IBGE, 2010). Disposta na faixa Aw, segundo a classificação climática de Köppen, Palmas/TO é descrita como úmida com moderada deficiência hídrica no inverno, possuindo duas estações bem definidas, período seco e chuvoso (PEEL *et al.*, 2007).

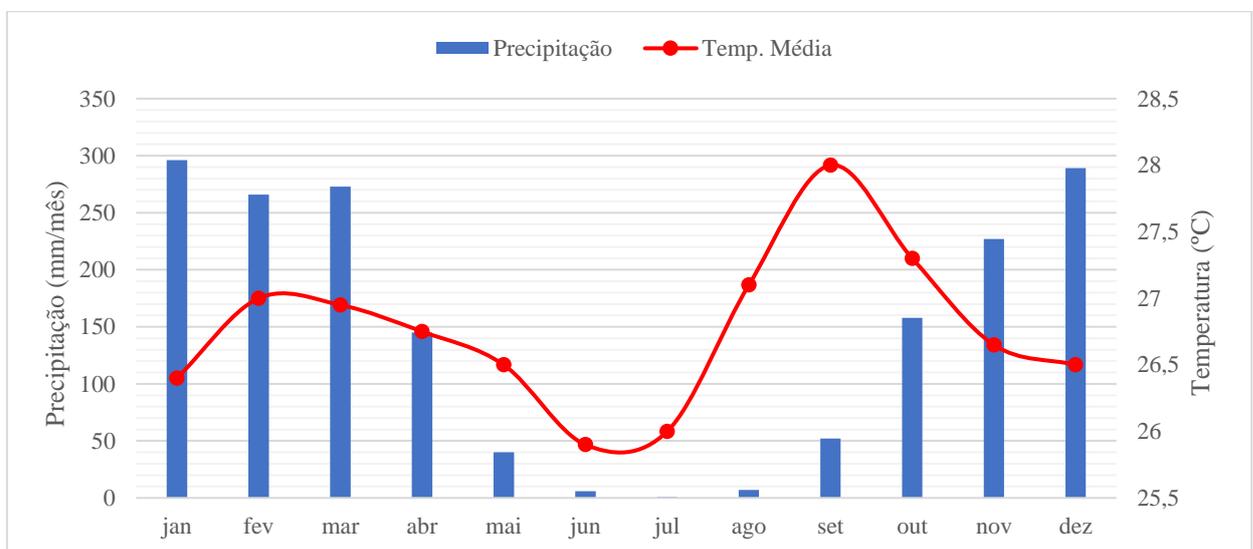
Figura 8 – Localização do perímetro urbano de Palmas/TO.



Fonte: Adaptado de SEPLAN (2018).

Os dados abaixo (Figura 9) representam 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, sendo janeiro, o mês de maior precipitação, apresentando uma média de 296mm. 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.

Figura 9 – Série histórica de temperatura (°C) e precipitação (mm/mês) em Palmas-TO (1981-2010).



Fonte: Adaptado de INMET (2018).

3.2 Materiais e Procedimentos

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 valores reais obtidos da superfície. O presente estudo utilizou imagens do satélite da série Landsat orbita/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 2), produzem imagens com resolução espacial de 100,0 m e foram reamostradas para 30,0 m.

Tabela 2 – Sistemas de sensores Landsat 8 TIRS.

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

Fonte: 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 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 de relevância para análise 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 3, são apresentadas algumas características dos produtos fornecidos pela NASA (*National Aeronautics Space Administration*) e USGS (*United States Geological Survey*).

Tabela 3 – Descrição dos produtos Landsat 8.

PRODUTO	CENA	ANO	MÊS	DIA	HORA-UTC
LC08_L1TP	222/067	2015	Agosto	27	13:19:06
LC08_L1TP	222/067	2015	Dezembro	01	13:19:27
LC08_L1TP	222/067	2016	Agosto	29	13:19:28
LC08_L1TP	222/067	2016	Dezembro	03	13:19:38
LC08_L1TP	222/067	2017	Agosto	16	13:19:21
LC08_L1TP	222/067	2017	Dezembro	06	13:19:27

Fonte: Adaptado de USGS (2018).

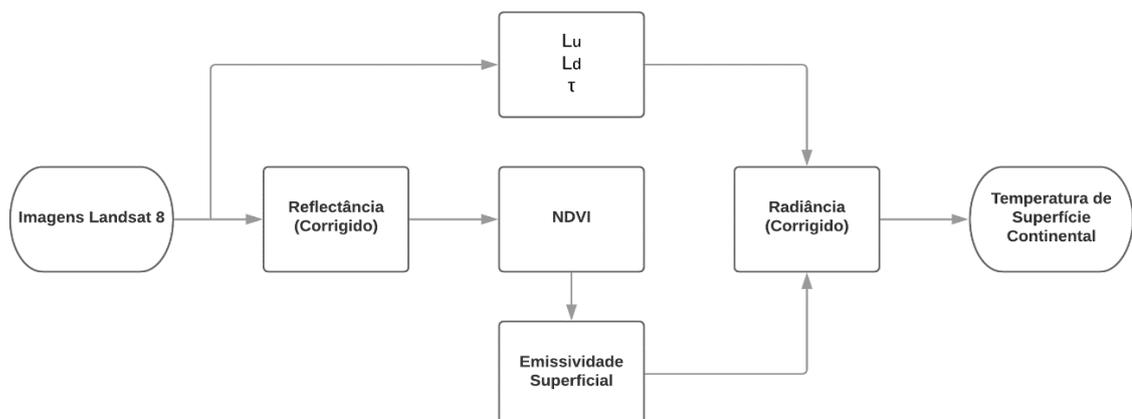
Azevedo e Souza (2013) e Alves (2016), em seus trabalhos, utilizam o modelo de Maret *et al.* (1985) e aplicação do algoritmo METRIC (*Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration*), desenvolvido por Allen *et al.* (2005). A metodologia consiste na obtenção da emissividade superficial através dos valores de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), SAVI (Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo) 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 ΔT na aquisição da LST. O Fator ΔT associa a transmissividade e emissividade superficial como parâmetro de correção. A emissividade superficial foi obtida pela expressão de Van de Griend e Owe (1993), onde é utilizado valores de NDVI. Já a transmissividade foi obtida pela relação empírica de Souza e Silva (2005).

Pinto *et al.* (2016) aplicam a proposta de Artis e Carnahan (1982) onde associa 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 Incidência e Emitância, transmissividade e emissividade superficial. Assim, a aplicação direta dos valores de radiação corrigidos (L_T) retorna os dados de LST. Abaixo, segue o fluxograma de trabalho (Figura 10):

Figura 10 – Fluxograma de processamento.



Fonte: Autor.

Na etapa inicial de cálculo, os dados fornecidos no arquivo de metadados do Landsat 8 são convertidos em valores de refletância planetária TOA (sem correção) e aplicado na Equação 2.

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

Onde:

ρ_{λ}' – Refletância Espectral TOA (Watts/m²*srad* μ m);

M_{ρ} – 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_{ρ} – 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 3), e do índice de vegetação normalizado (NDVI), Equação 4. No caso do Landsat 8, diferente dos satélites anteriores, a USGS e a NASA decidiram não publicar os valores da irradiância solar média exoatmosférica (E_{sun}) porque não são mais necessários para a conversão em refletância. Logo:

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

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (4)$$

Onde:

ρ_i – Refletância corrigida das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho);

ρ_{λ}' – Radiância Espectral TOA (Watts/m²*srad* μ m);

θ_{SE} – Ângulo zenital solar (SUN_ELEVATION).

Os valores de emissividade da superfície são obtidos através do algoritmo de Van de Griend e Owe (1993) que relaciona emissividade com NDVI, Equação 5:

$$\varepsilon_i = 1,009 + 0,047 \ln NDVI \quad (5)$$

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 6:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (6)$$

Onde:

L_λ – Radiância Espectral TOA (Watts/m²*srad*μm);

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 são calculados os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida da superfície através do site da NASA (disponível em: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>). Os dados dos produtos utilizados seguem de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Dados para correção atmosférica Landsat 8.

PRODUTO	ANO	MÊS	DIA	HORA (UTC)	T	L_u	L_d
LC08_L1TP	2015	Agosto	27	13:19:06	0.60	3.41	5.27
LC08_L1TP	2015	Dezembro	01	13:19:24	0.69	2.78	4.41
LC08_L1TP	2016	Agosto	29	13:19:28	0.72	2.20	3.57
LC08_L1TP	2016	Dezembro	03	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	06	13:18:27	0.50	4.09	6.17

Fonte: Adaptado de USGS (2018).

Após realização dos cálculos, é efetuado o cálculo da radiância (L_T) através da equação 7 (BARSI *et al.*, 2003).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - (1-\epsilon)L_d}{\tau\epsilon} \quad (7)$$

Onde:

L_T – Radiância de um alvo negro de temperatura cinética (Watts/m²*srad*μm);

L_{TOA} – Radiância Espectral TOA (Watts/m²*srad*μm);

τ – Transmissividade da Atmosfera;

ϵ – Emissividade da Superfície;

L_u – Radiância Emitida pela Superfície (Watts/m²*srad*μm);

L_d – Radiância Recebida pela Superfície (Watts/m²*srad*μm).

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 ΔT , ao final, na correção da temperatura de brilho. O método acima dispõe isso inicialmente, necessitando previamente somente a sua aplicação na Equação 8.

No cálculo da LST, o valor de L_λ 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), os quais foram convertidos para graus Celsius (°C) posteriormente.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_T} + 1\right)} \quad (8)$$

Onde:

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

L_T – Radiância Espectral corrigido (Watts/m²*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.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção está dividida em duas subseções; uma representando os valores para o período de estiagem, a outra, para o período chuvoso. Essa divisão facilita a compreensão da variabilidade espacial.

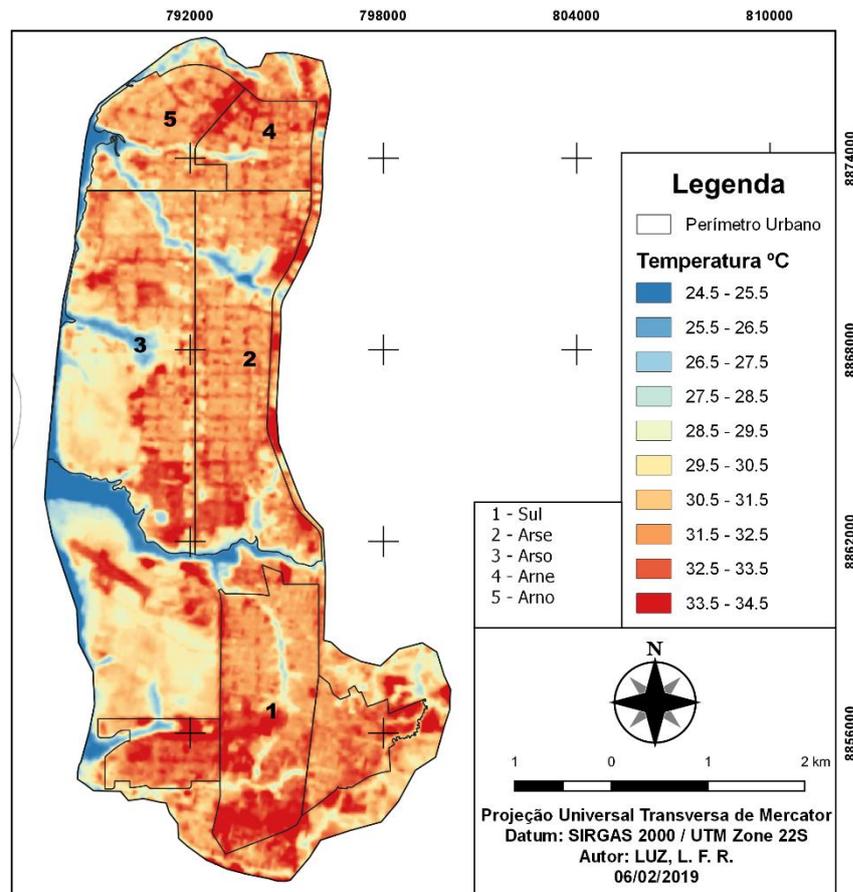
Com auxílio da Figura 1 e as divisões por setores (Sul, Arse, Arso, Arne, Arno), que são adotados pela Prefeitura de Palmas para organização do plano diretor, espera-se uma melhor facilidade na identificação das localidades e pontos específicos citados.

4.1 Análise do Período de Estiagem

Como observado na Figura 11, a variação de temperatura 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). Tanto nas regiões situadas ao norte e quanto ao 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 inferiores de temperatura superficial (entre 25°C e 30°C), em relação a outros locais.

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, pois, essas contribuem para o bem-estar da população, e a impermeabilização do solo tende a gerar Ilhas de Calor (ASSIS e ABREU, 2010; STEINKE *et al.*, 2010).

Figura 11 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2015.

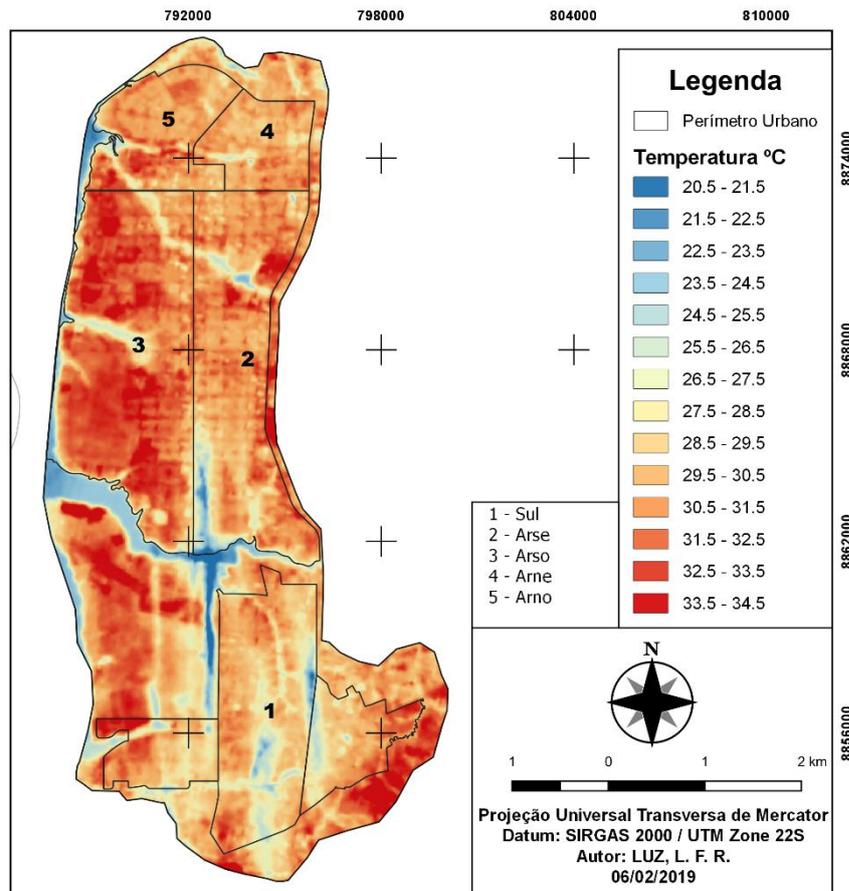


Fonte: Autor

A Figura 12 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 temperaturas elevadas próximo ao Setor Morada do Sol e Praia dos Buritis (1), além do acréscimo nas áreas verde 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.

Figura 12 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2016.

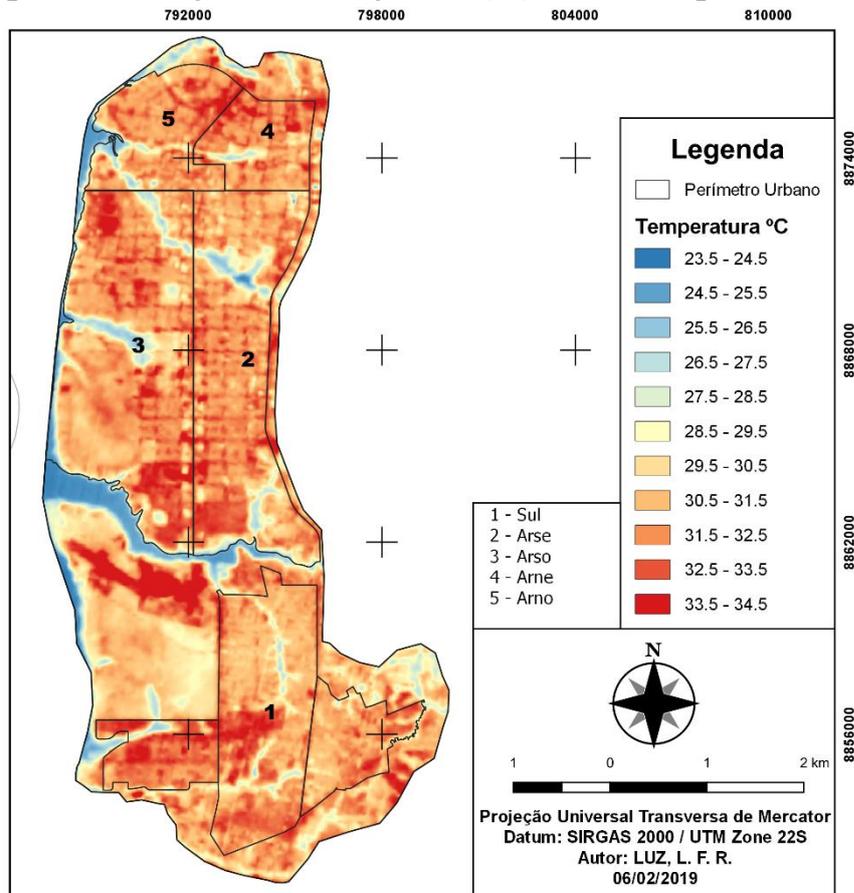


Fonte: Autor.

A LST em 2017 apresenta uma distribuição semelhante aos valores identificados em 2015, com amplitude de 11°C (Figura 13). Percebe-se que as dispersões 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 às 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 à área situada entre o aeroporto e a Av. Teotônio Segurado (1), onde ocorreram temperaturas entre 34°C e 34,5°C. Esses resultados estão diretamente relacionados com pesquisas pretéritas realizadas em outras cidades, destacando o aumento da temperatura em recintos urbanizados, devido às alterações antrópicas nesses (STEINKE *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.

Figura 13 – Temperatura de superfície (°C) do mês de agosto de 2017.



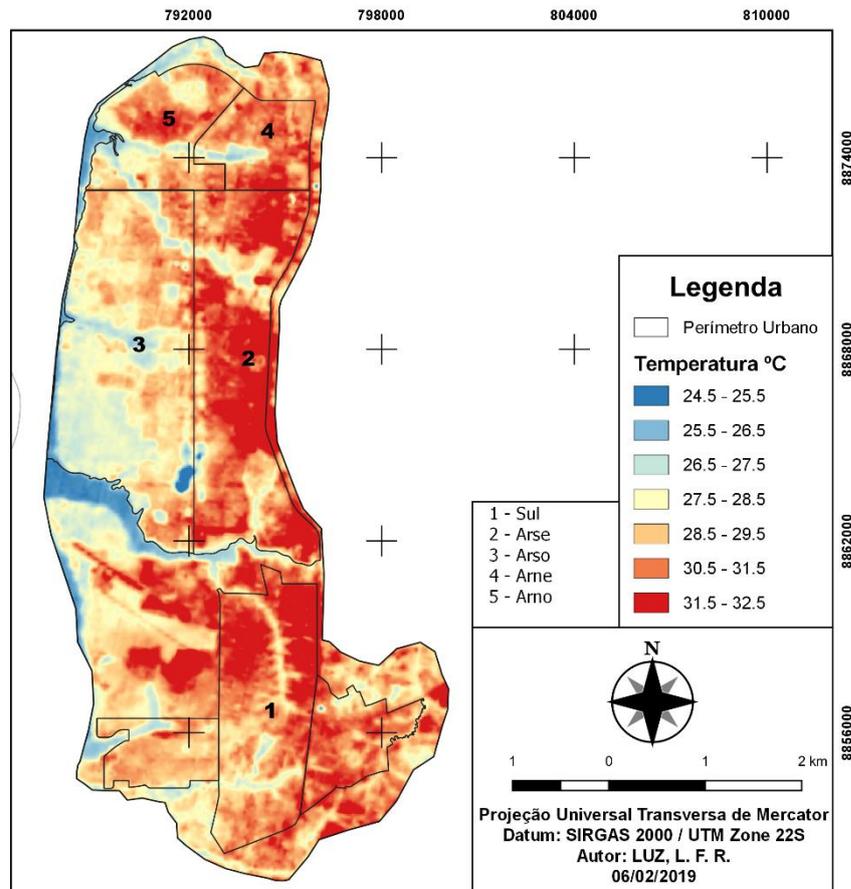
Fonte: Autor.

4.2 Análise do Período Chuvoso

Conforme observado na Figura 14, os resultados para o mês de dezembro (2015) confirmam uma redução nos valores de temperatura devido ao início do período chuvoso na região 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 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 reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães, localizado a margem à oeste do perímetro urbano de Palmas.

Figura 14 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2015.



Fonte: Autor.

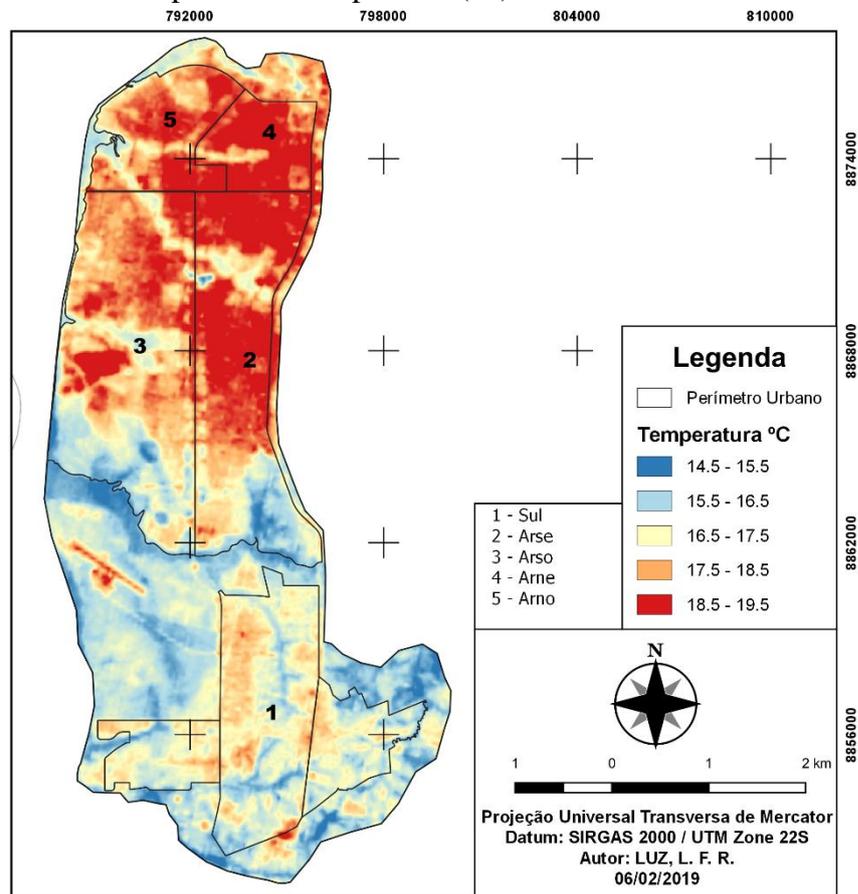
Em relação ao mês de dezembro de 2016, os valores da LST reduziram, apresentando máxima de 19,5°C e amplitude de 5°C (Figura 15). Apesar do estádio de futebol, aeroporto e a rodoviária apresentarem variações de temperaturas de 16,5°C a 18,5°C, os picos máximos de temperatura, 19°C a 19,5°C, ocorreram 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 16, a máxima temperatura obtida foi de 19,5°C com variação de 4°C, no período chuvoso, para 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 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

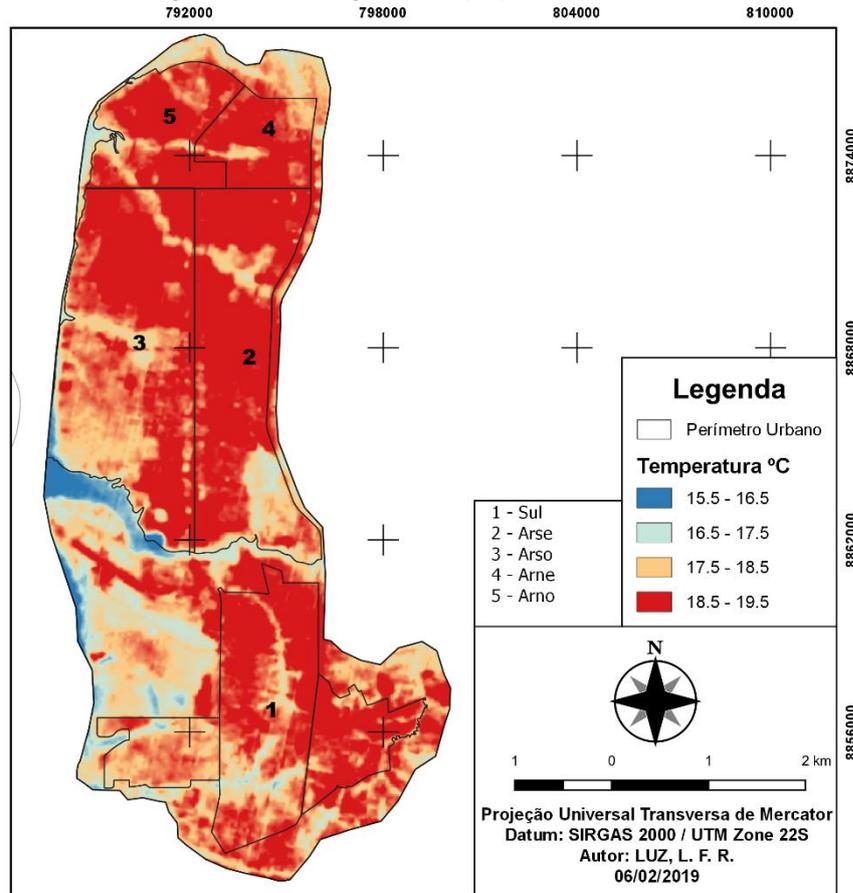
loteamentos ainda não construídos, sobretudo no período chuvoso, ocorreram baixas temperaturas, assemelhando-se, em certa medida, aos corpos hídricos.

Figura 15 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2016.



Fonte: Autor.

Figura 16 – Temperatura de superfície (°C) do mês de dezembro de 2017.



Fonte: Autor.

4.3 Análise Geral dos Resultados

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

5 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 das cidades com maior desenvolvimento urbano foram onde apontaram os picos mais elevados de temperatura. A influência tecnológica, que vai desde as características dos materiais construtivos, arranjos das edificações, intensidade do tráfego de pessoas e veículos, influência bastante no incremento de temperatura nessas localidades. Com destaque para o aeroporto e vias expressas, onde foi possível visualizar suas feições bem definidas em todos os mapas.

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.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. *et al.* A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, 2005. vol.19, p.251-268.
- ALVES, E. D. L. Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla. Curitiba-PR: **RA'EGA: Espaço Geográfico em Análise**, 2016. v.38, p.345-364.
- ALVES, E. D. L.; ANJOS, M.; LOPES, A. Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície: o caso da cidade de Iporá, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, 2017. v. 2, p.5-21.
- ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, 1982. vol. 12, n.4, p.313-329.
- ASSIS, W. L.; ABREU, M. L. O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e hígrico. Viçosa: **Revista de Ciências Humanas**, 2010. v. 10, p.47-63.
- AZEVEDO, G. F.; SOUZA, N. M. 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-PR, 2013. 8 p.
- BARROS, H.R.; LOMBADO, M.A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço Tempo**, 2016. v.20, n. 1, p.160-177. Disponível em:< <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97783>>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- BARSI, J.A.; BARKER, J. L; SCHOTT, J. R. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. Toulouse (França): **IEEE**, 2003. p.3014-3016.
- BARTHOLOMEI, C. L. B. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Campinas: Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, 2003. 189p.
- CÂMARA G.; SOUZA R. C. M.; FRITAS U. M; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, 1996. v.20, n.3, p.395-403.

CHANG, C.; LI, M.; CHANG, S. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. Amsterdam: **Landscape and Urban Planning**, 2007. v.80, p.386-395.

CORRÊA, P. B. *et al.* 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**, 2016. v. 31, p.167-176.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC)**. Curitiba: Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, 2007. p.11-22.

Environmental Protection Agency (EPA). Reducing urban heat islands: compendium of strategies. **Urban Heat Island Basics**, 2011. 22 p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompndium.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2019.

ESPINOZA, P. S.; MARTÍN-VIDE, J. El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. **Revista de Geografía Norte Grande**, 2014. v.57, p.123-141.

FONSECA, S. F.; SANTOS, D. C.; TRINDADE, W. M. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na classificação e avaliação da distribuição das espécies arbóreas nas praças de Buritizeiro/MG. Santa Maria: **Geografia Ensino & Pesquisa**, 2014. v. 18, n. 2, p.109-122.

FONSECA, S. F.; SILVA, A. C.; SENNA, J. A. 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**, 2018. v. 43, p. 124-139.

GAMARRA, N. L. R; CORRÊA, M. P.; TARGINO, A. C. L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina - PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2014. v. 29, p.537-550.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. **Oficina de Textos**, São Paulo, 2010. 223p.

GIOVONI, B. Climate considerations in building and urban design. **Jhon Wiley & Sons**, Nova Iorque, 1998. 480p.

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.

JÚNIOR, J. A. S. *et al.* Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2013. v.28, nº4, p.419-428.

KING, V. J.; DAVIS, C. A case study of urban heat islands in the Carolinas. Oxford: **Environmental Hazards**, 2007. v. 7, p.353-359.

KRÜGER, E. L.; GONZALEZ, D. E. G. Impactos da Alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, 2016. v.16, nº3, p.89-106.

KUMAR, K. S.; BHASKAR P.; PADMAKUMARI, K. Estimation of land surface temperature to study urban heat island effect using landsat tm+ image. **International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)**, 2012. v.4, nº2, p.771-778.

LABAKI, L. C. *et al.* Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudo em ruas de pedestre no estado de São Paulo. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, 2012. v.12, nº1, p.167-183.

LABAKI, L. C. *et al.* Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. Belo Horizonte: **Fórum Patrimônio**, 2011. v.4, nº1, p.23-42.

LEAL, Luciana. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR**. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2012. 172 f.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*. INPE: Curitiba, 2011. p.1028-1035.

LOMBARDO, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: **Hucitec/Lalekla**, 1985. 244p.

LOMBARDO, M.A. Análise das mudanças climáticas nas metrópoles: o exemplo de São Paulo e Lisboa. São Paulo: **UNESP**, 2009. p.111-146.

LUCENA, A.J. *et al.* Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Theoretical and Applied Climatology**, 2013. p.497-511.

MALARET, E. *et al.* Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 1985. vol.51, n.9, p.1407-1416.

MENDOÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: **Oficina de Texto**, 2007. 206p.

MONTEIRO, C. A. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um clima. Florianópolis: **Geosul**, 2003. v.5, n.9, p.80-114.

MOREIRA, M. A. Sensoriamento Remoto e Metodologias de aplicação. São José dos Campos: **Instituto Nacional de Pesquisa (INPE)**, 2001. p.99-110.

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.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. Chichester: **Journal of Climatology**, 1981. v. 1, p.237-254.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; T. A. MCMAHON. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union**, 2007. vol.4, n.2, p.439-473.

PERES, L.F. *et al.* The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2018. v. 64, p.104-116.

PIRES, E. G. Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias. Porto Nacional: **INTERFACE**, 2015. vol.10, p.113-144.

PIRES, Érica Gonçalves; JR FERREIRA Laerte Guimarães. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. **INPE: João Pessoa-PB**, 2015. 8 p.

PINTO, J. L. C.; SILVA, F. S.; ELMIRO, M. A.; NOBRAGA, R. A. A. Impacto da implantação do BRT na arborização da região central de Palmas, Tocantins. **ANAIS do II Modelagem de Sistemas Ambientais e Gestão da Paisagem: Desafios e aplicações**. IGC-UFMG: Belo Horizonte/MG, 2016. p.107-118.

PINHEIRO, R. T.; MARCELINO, D. G.; MOURA, D. R. de. Análise comparativa dos mapeamentos de temperaturas obtidos por imagens termais e medidas de campo em Belo Horizonte/MG. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**. SER|UFPR: Curitiba/PR, v. 46, 2018. p.211-228.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Editora EDUFU, 2009. 264p.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, (USP), 2005. vol.16, p.81-90.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas. **CAUFES**, Alegre/ES, 2010. 153 p.

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-vetoriais/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

SHIMABUKURO, Y.E.; PONZONI, F.J. Mistura Espectral: modelo linear e aplicação. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2007. 127 p.

SOLECKIA, W. C. *et al.* Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. Oxford: **Environmental Hazards**, 2005. v.6, p.39-49.

SOUZA, J.D.; SILVA, B.B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2005. vol.23, n.4, p.349-358.

SOUZA, J. F; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura de superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, 2016. v. 16, n.1, p.21-37.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina/DF. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2010. v. 6, p.37-56.

USGS. 2018. United States Geological Survey. **Using the USGS Landsat 8 data**. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em: 05 mar. 2018.

VAN DE GRIEND, A.A. & OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, 1993. vol.14, n.6, p.1119-1131.

VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia – MG. Londrina: **Geographia Opportuno Tempore**, 2018. v.4, n°3, p.137-160.