

## Avaliação da temperatura superficial terrestre do município de São Luís/MA usando imagens dos sensores TM/LANDSAT-5 e OLI/LANDSAT-8

Fabrcio Sousa da Silva<sup>1,2</sup>  
Mauricio Eduardo Salgado Rangel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Secretaria Municipal de Fazenda de São Luís  
Av. Guaxenduba, S/N–São Luís – MA, Brasil  
fabriciosousasilv@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Maranhão – UFMA/DEGEO/GEOPRO  
Laboratório de Geoprocessamento e Análise Espacial  
Av. dos Portugueses, 1966 - São Luís - MA, Brasil  
mauricio.rangel@ufma.br

**Abstract.** Remote sensing is a prominent tool in thermal monitoring of the Earth's surface, particularly in locations where there are no weather stations to monitor thermal changes, as in many places in Brazil. This research analyzes the behavior of the Earth's surface temperature (TST) in São Luís, Maranhão, from Landsat TM5 and OLI8 / OLI orbital sensors for the years 1999, 2005, 2010 and 2015. The results show a mean thermal variation in Each class of Use and occupation and also showed a relation between the change in vegetation rates and increase of TST. Urban areas and exposed soils appear in all analyzed years as classes with higher thermal mean and that have interference in sensitive environments such as vegetation and mangrove.

**Palavras-chave:** Remote Sensing and Land Surface Temperature, Thermal Changes, Sensoriamento Remoto e Temperatura da Superfície, Mudanças Termiais.

### 1. Introdução

A evolução tecnológica favoreceu o avanço em diversas áreas científicas, das quais citam-se aquelas que se preocupam com o monitoramento dos acontecimentos superficiais terrestres, auxiliando em diferentes escalas os mais variados temas ambientais.

As estações meteorológicas automáticas e o uso de imagens de satélite termiais gratuitas são exemplos de ferramentas importantes oriundas da evolução tecnológica e importantes no monitoramento do clima urbano.

No que se refere à capacidade de obtenção de informações mediante imagens de satélite, Florenzano (2002) destaca que as imagens orbitais possibilitam uma visão abrangente e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre e a realização de variados estudos, bem como a realização de comparativos, tendo, portanto, aplicação em várias áreas das ciências da terra.

São diversas as aplicações do sensoriamento remoto nos estudos ambientais, Coelho e Correa (2013) ressaltam que a climatologia veio ganhando destaque nessas aplicações a partir do surgimento de satélites para monitoramento em escala regional das condições climáticas como, por exemplo, o GOES, METEOSAT entre outros gerenciados pelo NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), sob jurisdição da NASA.

No estudo do clima urbano por imagens orbitais, destacam-se os trabalhos de Barbosa e Vechia (2006) em São Carlos, Nascimento (2001) em Goiânia, todos identificando ilhas de calor; Andrade et. al (2007) comparando a acurácia de informações termiais entre diferentes sensores orbitais TM e HSS; Bias et. al (2003) mapeando ilhas de calor e Araújo e Rangel (2012) monitorando o uso e cobertura do solo no município de São Luís e correlacionando-o com a distribuição da temperatura da superfície terrestre (TST). Neste sentido, observa-se que o crescimento urbano da Cidade de São Luís já apresenta reflexos no conforto térmico urbano. Araújo e Rangel (2012) avaliaram como o crescimento urbano determinou as variações térmicas urbanas no período de 1992 a 2010, com o uso do Sensor TM do Landsat-5, e os

resultados mostraram o crescimento espacial urbano e aumento da TST em localidades de adensamento urbano. Diante disso, objetivou-se analisar o comportamento da TST no município de São Luís e correlacioná-la com as características de uso do solo, valendo-se de imagens termais dos sensores TM5 e OLI8 para os anos de 1999, 2005, 2010 e 2015.

### 1.1. Histórico e importância da série Landsat para os estudos da Terra

O programa Landsat é um dos mais prósperos no setor do Sensoriamento Remoto por conta de fatores como: boa resolução, caráter global e periódico das observações e a fácil disponibilização de dados. Diversos usos são possíveis a partir de suas imagens. Suas aplicações perpassam pelo monitoramento de queimadas, alterações urbanas, análise de sedimentos, dinâmica dos oceanos, geomorfologia, hidrogeologia, climatologia entre outras.

O sensor OLI-8, em comparação aos seus anteriores, TM-5 e ETM+7 (figura 1), possui uma melhor resolução radiométrica (16 bits), espectral e espacial na banda que carrega informações termais e que, portanto, pode ser aplicado ao monitoramento da TST urbana com melhores resultados. Nos sensores anteriores, a banda termal, banda 6, possuía uma resolução espacial de 120 m, o que super-especializava a temperatura em uma dada área. Recentemente, o USGS passou a disponibilizar as imagens termais do sensor TM-5 também em 30 metros.

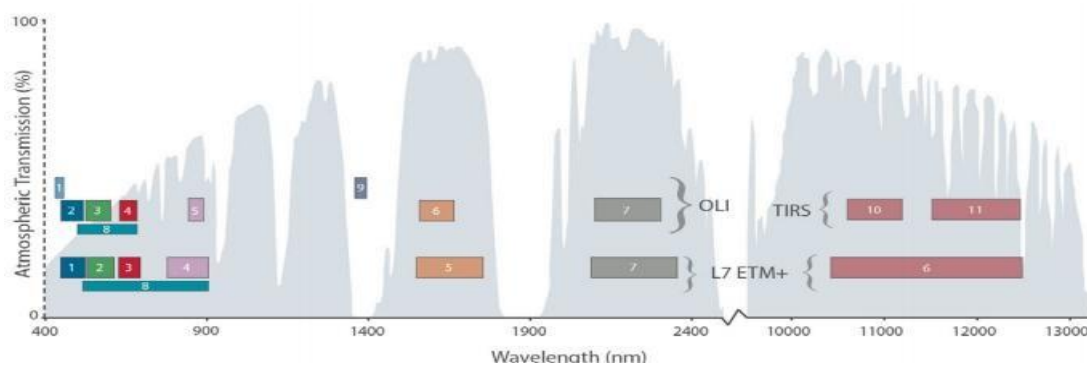


Figura 1: Comparativo entre o OLI e o ETM+, com destaque para o Canal 6 do sensor ETM que evoluiu para duas bandas (10 e 11) no OLI.

Fonte: USGS (2014)

Atualmente, o OLI-8 é dotado de duas bandas termais (10 e 11) com resolução de 30 metros. Tais características permitem uma melhor identificação de comportamento térmico e melhora na identificação de potenciais ilhas de calor em ambientes urbanos, além de possibilitar correlações de áreas entre usos e coberturas do solo obtidas a partir de respostas espectrais.

### 1.2. Estudos de temperatura a partir de bandas termais do Landsat

Nos últimos anos, o avanço das técnicas de captação de imagens por satélite ajudou o sensoriamento remoto a adentrar num novo campo de pesquisa: os estudos termais da superfície terrestre. Destacam-se principalmente pesquisas de monitoramento do clima urbano, devido à proximidade das informações extraídas orbitalmente e in loco. O advento do uso de imagens de satélite, principalmente a partir do sensor TM-5, no monitoramento do clima urbano se deve ao desenvolvimento de um canal que apresenta sensibilidade a fenômenos relativos aos contrastes térmicos, sendo usual na detecção de propriedades termais de várias feições como: solos, vegetação e água.

Os primeiros sensores eram capacitados apenas para imagear faixas do espectro magnético visível, vermelho e infravermelho próximo. A partir do sensor TM-5, a identificação do canal do infravermelho termal foi possível, operando na banda 6 (faixa 10,4-

12,5 $\mu$ m). Dentre os estudos que utilizam o sensoriamento remoto para o monitoramento do clima urbano, podem ser citados: Andrade (2007), que, por exemplo, analisou as informações obtidas pelo TM-5 com as obtidas através de outros sensores aerotransportados. Nesta investigação, o maior problema foi a homogeneização das temperaturas por conta da baixa resolução espacial do TM-5 (que era de 90 metros) e da alta resolução do sensor HSS, porém os resultados apresentados mostram uma forte aproximação dos dados termais do sensor TM (baixa resolução) com o sensor mais acurado HSS (maior resolução). Nesse mesmo sentido, Bias et. al (2003) realizaram um mapeamento termal utilizando apenas imagens TM-5 para identificação térmica de ilhas de calor e imagens Ikonos para verificação da acurácia dessas temperaturas no Distrito Federal e, perceberam uma forte aproximação de ambos os resultados entre os resultados de diferentes resoluções espaciais.

Barbosa e Vechia (2006) identificaram potenciais ilhas de calor na cidade de São Carlos a partir do uso multitemporal do canal 6 do ETM+7 e, em seguida, comparou-as com o uso do solo urbano, estabelecendo uma relação de forte adensamento urbano e maiores índices de temperatura superficial terrestre. Tal correlação entre uso urbano e temperaturas de superfície elevadas também foram verificadas por Nascimento (2001) a partir de um comparativo multitemporal de 30 anos sobre a evolução e o comportamento das ilhas de calor na cidade de Goiânia com o uso do sensor TM-5.

A perspectiva de análise da temperatura da superfície, numa escala multitemporal (1992 a 2002), também foi verificada por Araújo e Rangel (2012), que realizaram o monitoramento de 10 anos sobre o uso e ocupação da cidade de São Luís e a correlação entre essa dinâmica e o aumento da temperatura e ilhas de calor. Os autores verificaram que, num período de 10 anos, a temperatura da superfície aumentou cerca de 5 graus, nos quais o incremento urbano (materiais das edificações e o uso que se deu a tais localidades) foi analisado como fator de contribuição para o aumento de temperatura.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Localização da Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida na área do município de São Luís, capital do Estado do Maranhão (figura 2).

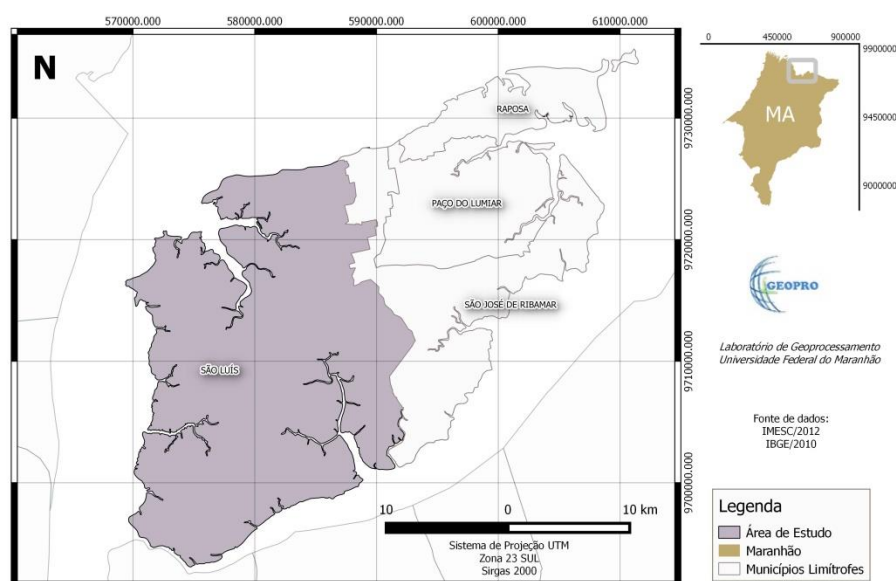


Figura 2: Localização da área de estudo.

Fonte: Dados da Pesquisa

## 2.2 Materiais e Métodos

Foram utilizadas quatro imagens da série Landsat, correspondente aos sensores TM-5 e OLI-8, referentes à órbita 220 e ponto 062. A maior dificuldade que o estudo de imagens termais para o monitoramento da TST apresenta é sem dúvida a cobertura de nuvens, sendo, portanto limitada a escolha de imagens. A sazonalidade é outro fator que interfere diretamente nos estudos termais comparativos. Diante disso, escolheram-se imagens representativas de períodos transicionais entre o chuvoso e o seco na área de estudo, evitando a interferência sazonal. As datas selecionadas estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1. Quadro de imagens selecionadas

Sensor	Data	Bandas
TM-5	30/06/1999	1,2,3,6(Termal)
TM-5	16/07/2005	1,2,3,6(Termal)
TM-5	15/08/2010	1,2,3,6(Termal)
OLI-8	25/07/2015	2,3,4,10(Termal)

A conversão das bandas termais, dos diferentes sensores, em valor de temperatura foi realizada a partir da metodologia proposta pela USGS, em ambiente do Sistema de Informação Geográfica QGIS. Esta metodologia é baseada em coeficientes de calibração radiométrica para canais do infravermelho termal da série Landsat visando à obtenção de temperaturas em Kelvin (equação 1). Os valores radiométricos calibrados de cada pixel foram transformados em temperatura aparente, em graus kelvin, e posteriormente convertidas em Celsius, conforme destaca Jensen (2009) (equação 2).

$$i\lambda = ML.QCal + AL \quad (eq.1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts/( m<sup>2</sup> sr μm).

$ML$ = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda Termal.

$QCal$ = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN na banda termal.

$AL$ = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda termal.

$$Trad = \frac{K2}{Ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right)+1} \quad (eq.2)$$

Onde:

$Trad$ = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K).

$K1$ = Constante de calibração 1.

$K2$ = Constante de calibração 2.

$i\lambda$ = Radiancia espectral em Watts/( m<sup>2</sup> sr μm).

Com o intuito de apoiar a análise térmica, realizou-se um mapeamento dos diferentes tipos de usos e cobertura do solo através da classificação supervisionada de *MaxVer* para os anos de interesse. Esse método de classificação é baseado na coleta de amostras representativas, e, conforme destaca Fitz (2008), o algoritmo utiliza a média e a covariância dos pixels coletados e calcula a probabilidade de um pixel externo a essas amostras pertencer a elas. A classificação foi realizada em ambiente QGIS, através do algoritmo SCP, e contou com a composição colorida, para o Sensor TM5, das bandas: (R)1, (G)2 e (B)3. Para o Sensor OLI-8, utilizaram-se as bandas R(2), (G)3 e (B)4. Posteriormente, executou-se uma estatística de valores termais para cada classe em busca da obtenção dos valores médios termais totais para as classes de referência.

Por fim, realizou-se ainda, um levantamento da vegetação através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), também em ambiente QGIS, para os anos de 1999 e 2015, objetivando buscar relações entre temperatura e cobertura do solo além da influência termal dessas coberturas em regiões vizinhas.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta os valores de temperaturas superficiais para o município de São Luís nos 4 anos de interesse, através da conversão dos níveis de cinza termais dos sensores TM-5 e OLI-8. Ela apresenta, para o ano de 1999, temperatura máxima de 29.1°C e uma mínima de 20°C. Para o ano de 2005, observou-se uma pequena variação térmica na qual a temperatura máxima foi de 29.5°C e a mínima de 23.4°C. Para 2005, observa-se em relação ao ano anterior, um avanço térmico principalmente na porção norte da cidade, além do maior adensamento urbano na porção centro norte. O ano de 2010 apresentou uma máxima de 34.1°C, 6°C em relação ao ano anterior avaliado e, temperatura mínima de 17.5°C. A temperatura mínima para o ano de 2010 associa-se a coberturas de nuvens, podendo ser mais elevada que esta, conforme se apresenta a tendência de elevação das mínimas temperaturas. A análise para o ano de 2014 apresentou as maiores temperaturas entre os demais analisados: máxima de 39.4°C e mínima de 24°C. Este mesmo ano se caracterizou pelo avanço das temperaturas em todas as direções do município, destacando-se o corredor norte sul, no qual se concentram atividades industriais, comunidades agrícolas e a nova frente de ocupação municipal.

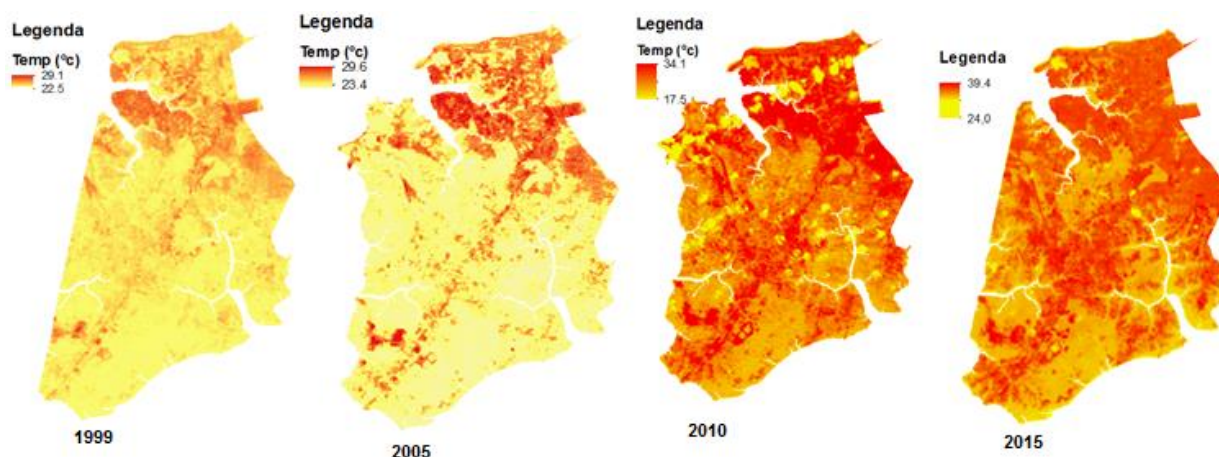


Figura 3. Distribuição da TST ao longo dos anos avaliados em São Luís-MA.

A classificação supervisionada contou com as seguintes classes: corpos hídricos, vegetação e mangue, solo exposto e área urbana. Verificou-se que, de 1999 à 2015, estas classes apresentaram transições, com supressões ou ganhos, e tiveram seu quantitativo de áreas modificadas. Contudo, o maior destaque ocorreu quando verificadas as médias termais dentro de cada classe, no ano inicial (1999) e final da pesquisa (2015). Tais fatores confirmaram estatisticamente o que é observado a partir da espacialização (figura 3): aumento e espalhamento da TST em todas as direções no Município de São Luís. As maiores médias termais estão associadas ao solo exposto e área urbana para o ano inicial e final (gráfico 1).

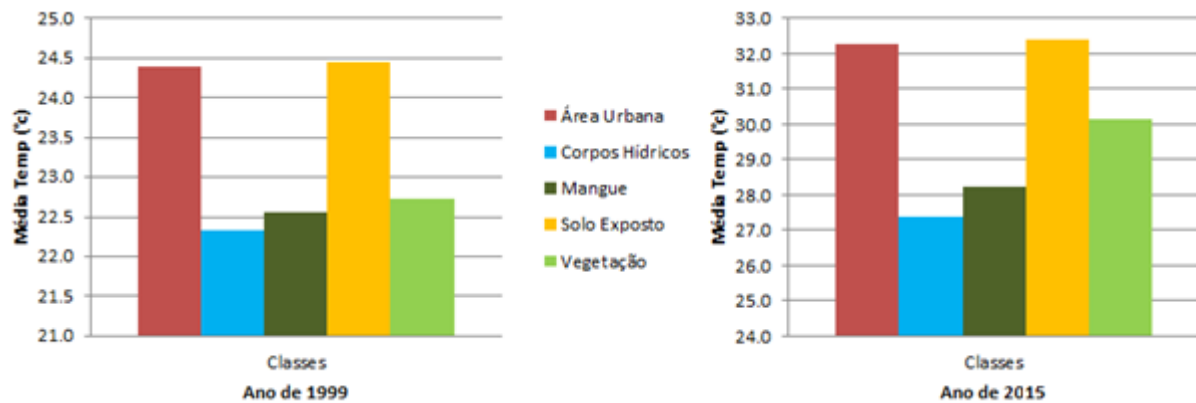


Gráfico 1: Comparativo entre médias das classes nos anos de 1999 e 2015.

O aumento da TST das classes urbana e solo exposto é aproximadamente igual, comparando 1999 e 2015, com um aumento em torno de 10°C, demonstrando que estes ambientes se comportam de maneira semelhante quanto à retenção de calor. As classes de vegetação e mangue possuem 8°C de aumento, quando comparados os mesmos anos. Para a vegetação de mangue, o aumento da média em 8°C é explicado pela interferência das classes vizinhas (tais como solo exposto e área urbana), essas classes vizinhas chegam a ter uma máxima de temperatura de 39°C em 2015.

Localidades com existência de vegetação apresentaram temperaturas heterogêneas, frutos da interferência externa das classes vizinhas nos ambientes. Ao comparar os índices de vegetação no ano inicial (1999) e final (2015) da pesquisa e, que contempla o período de desenvolvimento urbano do município, observou-se que, a vegetação foi destacadamente suprimida, principalmente no corredor norte sul, onde ocorreu uma inserção urbana que, como verificada na figura 3, apresenta uma elevada TST (figura4).

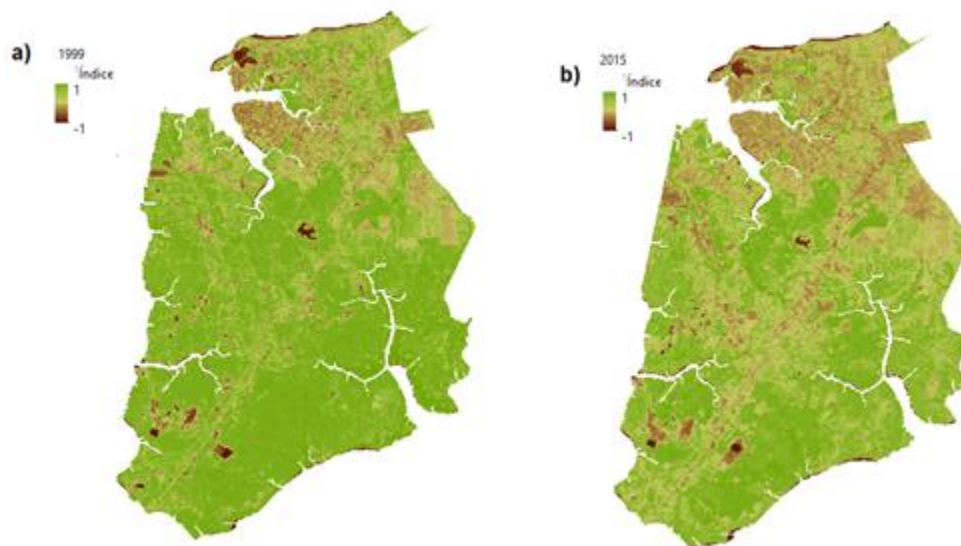


Figura 4: a) Distribuição do NDVI para o ano de 1999. b) Distribuição do NDVI para o ano de 2015.

Quando se avaliam as médias do índice de vegetação (que varia de -1 a 1 onde, 1 é igual a vegetação e -1 ausência de vegetação) em conjunto com as médias de temperatura, observou-se que, em áreas de manguezal, a média do NDVI foi de 0.5 e a média de temperatura para este ambiente foi de 22.5°C, para o ano de 1999. Quando avaliado o NDVI e a média de temperatura para o ambiente urbano, em 1999, observou-se 0.2 para a vegetação e 24.5° para temperatura.

Para o ano de 2015, a vegetação de mangue apresentou uma menor média de NDVI, em comparação com o ano inicial da pesquisa, sendo essa média igual a 0.09 (o que mostra uma perda da classe, verificada pelos processos de conversão do uso do solo em ambiente urbano e também em solo exposto) e uma média de temperatura de 28.5 °C, maior do que a do ano de início da pesquisa. A área urbanizada apresentou, para 2015, a mesma média de NDVI do ano inicial da pesquisa, ou seja, 0.2. A temperatura do ambiente urbano, por sua vez, apresentou uma elevação da média, atingindo pouco mais de 32°C.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos expressam que a tendência de aquecimento de temperatura superficial terrestre, na cidade de São Luís que, fora antes identificado por Araújo e Rangel (2012), até o ano de 2010, continuando até 2015. Em comparação com o trabalho mencionado, observou-se que, a elevação da temperatura continua a corresponder à área de maior adensamento urbano, mas que também começa a tomar várias direções, acompanhando o fluxo do desenvolvimento urbano, mediante a inserção de elementos característicos de retenção de calor (como asfalto, remoção da vegetação, intenso fluxo de veículos, e até mesmo construções com propriedades térmicas de retenção de calor). Além disso, tanto o solo exposto quanto áreas urbanizadas têm se mostrado como elementos de cobertura do solo importantes na absorção de calor e interferência em ambientes próximos.

A análise para o período de 16 anos também revelou que as classes, de um modo geral, têm sofrido elevação da temperatura. Essas elevações decorrem, também, da influência das classes vizinhas. Isso fica evidenciado quando se observa as variações térmicas, principalmente intraclasse nos anos analisados, conforme foi verificado em ambientes de mangue, cuja temperatura média foi elevada em 8°C, sofrendo influência térmica de ambientes urbanos e, principalmente de áreas de solo exposto.

Ressalta-se também que, a manutenção da média do índice de vegetação em ambiente urbano com 0,2 (para 1999 e 2015) não favoreceu a manutenção das médias térmicas, demonstrando que o adensamento urbano tem ocasionado maiores retenções de calor.

Tais resultados possibilitam uma melhor identificação comportamental da TST nas classes de uso e ocupação e ainda permitem analisar quais as dimensões de interferência externa em ambientes extremamente frágeis, como áreas de manguezais.

#### Agradecimentos

Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Maranhão (DEGEO/UFMA), ao Laboratório de Geoprocessamento e Análise Espacial (GEOPRO/DEGEO/UFMA) e ao Setor de Cartografia e Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Fazenda de São Luís (SEMFAZ).

#### Referências Bibliográficas

- Andrade, L. L et al. Estudo de ilhas de calor na cidade de São José dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto São José dos Campos: INPE 2007. Artigos, p 174-180. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbst/2007/11.19.19.44>>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- Araújo, R. R., Rangel, M. E. S. Crescimento Urbano e Variações Térmicas em São Luis-MA. Revista GEONORTE, Ed especial, V.2, p.308-318, 2012.
- Artis, D. A.; Carnahan, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. Remote Sensing of Environment, v,12, p. 313-329, 1982.
- Barbosa, R. V. R., F. A. S. Vechia. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat-7 ETM+. estudo de caso em São Carlos (SP). Revista Minerva – Pesquisa e

Tecnologia, V.6, pg. 273-278, 2006.

Bias, E. de S., Baptista, G. M. de M., Lombardo, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbana, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003. P. 1741-1748. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/>>

Bartoliucci L.A., Chang M. Look-up Tables to Convert Landsat TM Thermal IR Data to Water Surface Temperatures. Geocarto International, v.3, p.61-67, 1988.

Coelho, A. L. N., W. S. C. Correa. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia E Aplicações. Revista Geográfica Acadêmica/RGA, V.7, pg. 31-45, 2013.

Fitz, Paulo Roberto. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Florenzano, T. G. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.100p.

Jensen, John R. Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

Nascimento, D. T. F. Análise da Evolução do Fenômeno de Ilhas de Calor no Município de Goiânia/GO (1986-2010). 2011, 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

Portal Landsat. Landsat Missions Glovis. Disponível em <http://landsat.usgs.gov/index.php> , acesso em 30 de abril de 2014.

Steinke, V. A et al. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. Revista Brasileira de Climatologia. V.6,p. 37-56, 2010.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 EUA. Acesso em 06 de novembro 2014. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>.