

Análise da temperatura superficial terrestre do município de São Luís/MA a partir de imagem orbital do Sensor OLI/Landsat-8

Fabricio Sousa da Silva^{1,2}
Ricardo Sousa Almeida²
Mauricio Eduardo Salgado Rangel^{2,3}

¹Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627–Belo Horizonte – MG, Brasil
fabriciosousasilv@gmail.com

²Universidade Federal do Maranhão – UFMA/DEGEO/GEOPRO
Av. dos Portugueses, 1966 - São Luís - MA, Brasil
ricardo.sousa23@hotmail.com
mauricio.rangel@ufma.br

³Universidade de São Paulo – USP/FFLCH
Caixa Postal 72042 - São Paulo - SP, Brasil
mauriciorangel@usp.br

Abstract. Remote sensing is today an important tool for thermal monitoring the Earth's surface, especially in areas where there is the existence of weather stations to monitor thermal changes, as in many places in Brazil. This research analyzes the behavior of Land Surface Temperature (TST) in São Luís, Maranhão, from the orbital sensor Landsat-8 /OLI for the month of September, a period that includes the interstitium between the rainy and dry season's and thus presents lower seasonal interference for evaluation of surface thermal condition. The results show a high correlation between TST and densely populated areas. The median temperatures are associated with areas of low population density or the presence of extensive areas of exposed soil.

Palavras-chave: Landsat-8, Remote Sensing and Land Surface Temperature, Thermal Changes Landsat-8, Sensoriamento Remoto e Temperatura da Superfície, Mudanças Termiais.

1. Introdução

O advento da tecnologia permitiu o avanço em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo no que se refere ao monitoramento dos acontecimentos na superfície terrestre, auxiliando estudos ambientais em grandes e pequenas escalas.

Dois ferramentas importantes podem ser citadas como oriundas da tecnologia e importantes no monitoramento do clima urbano: (1) as estações meteorológicas automáticas e (2) o uso de imagens de satélite termiais gratuitas.

Florenzano (2002) destaca que as imagens orbitais geradas a partir de plataformas 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.

O estudo do clima urbano também tem sido beneficiado com o uso do Sensoriamento Remoto. 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 em 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/Landsat-5, e os resultados mostraram uma forte correlação entre o crescimento espacial urbano e as temperaturas nesse período. Diante disso, objetivou-se analisar o comportamento da TST nos bairros da cidade de São Luís e correlacioná-la com as características de uso do solo, no ano de 2013 a partir do uso de dados termais do sensor OLI do satélite Landsat-8.

1.2 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 Landsat-8, em comparação aos seus anteriores, Landsat-5/TM e 7/ETM⁺ (figura 1), possui uma melhor resolução radiométrica (16 bits), espectral e espacial na banda que carrega informações termais e que, por tanto, 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-espacializava a temperatura em uma dada área.

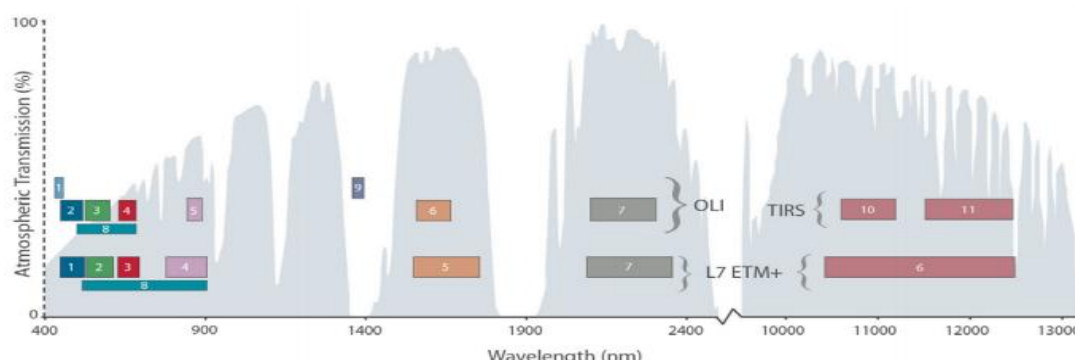


Figura 1: Comparativo entre o OLI e o ETM+, com destaque para o Canal 6 do sensor ETM que evoluiu para duas bandas (10 e 11) no OLI.

Atualmente, o OLI disponibiliza duas bandas termais (10 e 11) com resolução de 100 metros e que podem ainda ser reamostradas para 30 metros. Tais características permitem uma melhor identificação de comportamento térmico e melhora na identificação de potenciais ilhas de calor em ambientes urbanos.

1.3 - 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 um 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 Landsat-5/TM, no monitoramento do clima urbano se deve a implementação 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 identificavam apenas faixas do espectro magnético do visível, vermelho e infravermelho próximo. A partir do Landsat-5/TM,

a identificação do canal do infravermelho termal foi possível, operando na banda 6 (faixa 10,4 - 12,5 μ m).Dentre os estudos que envolvem o clima urbano e o sensoriamento remoto, podem ser citados: Andrade (2007), que, por exemplo, analisou as informações obtidas pelo Landsat-5/TM 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 Landsat-5/TM (que é 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 Landsat-5/TM 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 Landsat-7/ETM+ 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 Landsat-5/TM.

A perspectiva de análise da temperatura da superfície numa escala multitemporal 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, por exemplo, num período de 10 anos a temperatura da superfície aumentou cerca de 5 graus, no qual os materiais das edificações e o uso que se deu a tal localidade estão como fatores 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).

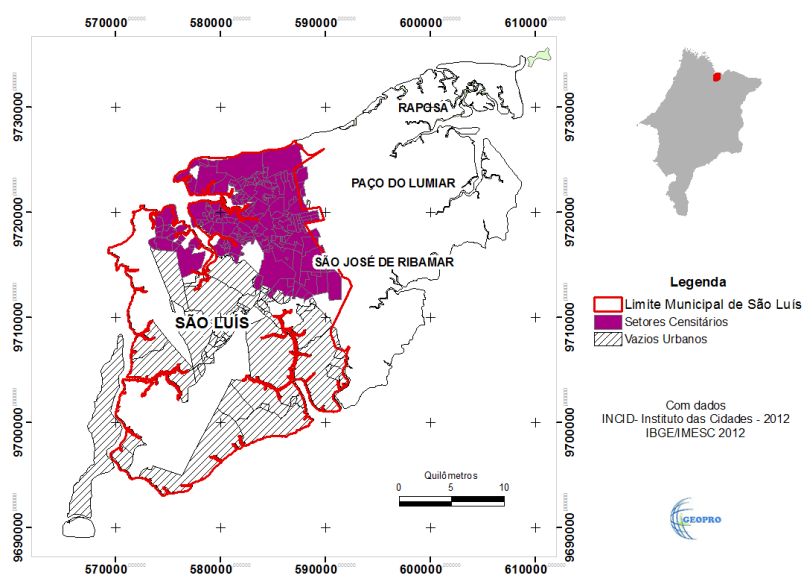


Figura 2: Localização da área de estudo.

2.2. Materiais e Métodos

Foi utilizada uma imagem do satélite Landsat-8/OLI, referente a órbita 219 e ponto 062. A maior dificuldade que o estudo de imagens termais para o monitoramento da TST apresenta é a cobertura de nuvens, sendo, portanto a escolha de imagens limitada. A data selecionada foi a do dia 13 de Setembro de 2013, por se apresentar como um dos meses de transição entre os períodos chuvoso e seco e assim, a sazonalidade das estações não impõe valor a TST, além de apresentara menor quantidade de cobertura de nuvens. A conversão da banda termal do Landsat -8 em valor de temperatura foi realizada a partir da metodologia proposta por Steink et al. (2010), (utilizando a equação 2) disponível de forma automatizada nos módulos Thermal, Reclass, do Idrisi em sua versão *Trial*. Maralet et al. (1985) sugerem que os valores da temperatura superficial sejam obtidos por meio de uma equação que, converte o número digital do pixel (DN) e seu tom de cinza para o nível de radiância da terra conforme o princípio de Planck (equação 1). Para isso, utiliza-se uma predição de temperatura aparente da superfície (T_b) na escala Kelvin. Chander e Marckham (2003) estabeleceram a equação 2 com base nesses pressupostos.

$$L\lambda = offset + gain * DN \quad (1)$$

$$T_b = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L\lambda}\right)+1} \quad (2)$$

Na equação 1, *offset* e o *ganho (gain)* são parâmetros definidos pelo usuário e o *DN* é o valor digital do pixel. Na equação 2, as constantes *k1* e *k2* são especificados nos metadados da imagem, em geral em arquivos *.txt. Para o Landsat-8, as constantes $k_1 = 774.89$ e $k_2 = 1.321.08$. *Tb* é a temperatura do corpo negro (ideal) e *La* o comprimento de onda da radiação.

A falta de precisão nessa equação ocorre pela convenção de que um corpo negro é um material ideal em que não há perda de temperatura, fato que não ocorre. Ferreira (2004) ressalta que ainda não existe um método extremamente satisfatório na identificação de temperatura da superfície por meio de imagens Landsat-8, porém estes são usuais e próximos da realidade.

Assim, outra técnica proposta por Artis e Carnahan (1982), que monitoraram temperatura em Porto Alegre com resultados satisfatórios, com base na lei inversa de Planck, realiza a inserção da emissividade dos corpos e por tanto coloca o seu real valor, chegando por tanto mais próximo da temperatura da superfície. Tal técnica é expressa na equação 3.

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda T_b}{\alpha}\right) * \ln \epsilon} \quad (3)$$

Na equação 3, a *Ts* é a Temperatura da superfície (valor em Kelvin), obtida através da Equação 2; *Tb* é a temperatura ideal de emissão de temperatura se o alvo fosse um corpo negro perfeito (com valor de emissividade = 1); λ é o comprimento de onda médio do infravermelho termal da banda do satélite (para a Landsat-8 -8 11.19 micrômetros); α é dada por hc/K (1.438×10^{-2} m K), onde: *K* é a constante de Stefan-Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K); *h* é a constante de Planck (6.28×10^{-34} J/seg); *c* é a velocidade da luz (dada por 2.998×10^8 m/seg) e $\ln \epsilon$ é o logaritmo natural da emissividade da superfície que pode ser definida de acordo com Bartoliucci e Chang (1988), para a cobertura do solo, que no caso da cidade de São Luís, urbano é igual a 1

O resultado da conversão do canal termal em valor de temperatura foi avaliado através da análise da cobertura do solo utilizando-se das imagens do Google Earth com datas mais próximas da imagem termal processada.

3. Resultados e Discussão

O comportamento atmosférico da cidade, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o dia 13 de Setembro de 2013, registrou uma temperatura do ar de 27° C às 10h. A TST, no mesmo local da estação do INMET e hora, foi de 29 °C, confirmando a tendência de que a cobertura do solo possui uma maior temperatura por conta das propriedades físicas dos alvos que recobrem a superfície, conforme Coelho (2013). Os resultados da distribuição da TST na cidade de São Luís para o dia 13 de setembro foram analisados a partir da malha digital de bairros da cidade, fornecida pelo Instituto das Cidades (INCID) (figura 3) e, nela identificou-se uma variação de TST entre áreas densamente povoadas e vazios urbanos. Para fins de organização, optou-se por uma análise em dois setores: Núcleo Urbano, localizado na porção Norte (Figura 3.a) e Vazios Urbanos na porção Sul (Figura 3.b). Os níveis de TST identificados permitiram uma divisão em três classes, sendo elas: Alta TST (de 31° a 38° C), Média TST (de 30° a 23 ° C) e Baixa TST (de 22 a 17° C).

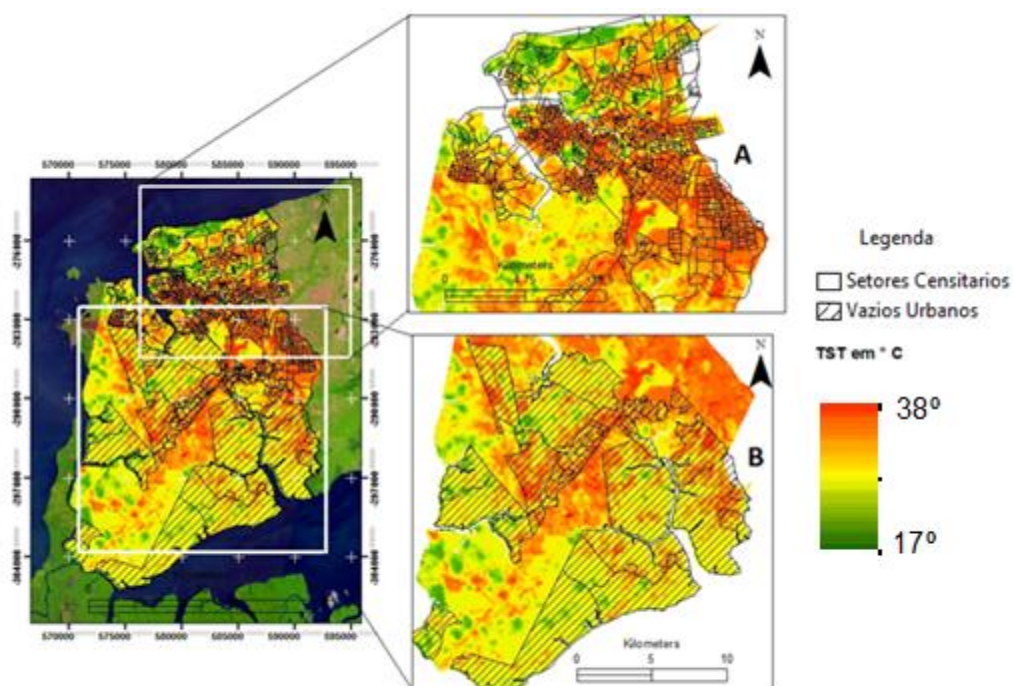


Figura 3: Espacialização da Temperatura. 3a – Porção Norte da Cidade. 3b – Porção Sul da Cidade.

Na figura 3.A, observa-se temperaturas que variam de baixa TST a Alta TST. As baixas TSTs demarcadas com tons esverdeados estão associadas a dois fatores importantes: forte cobertura vegetal no ambiente e/ou cobertura de nuvens. A cobertura de nuvens é verificada principalmente na porção norte e, por tanto nessa localidade, o valor da TST é indefinido. A cobertura vegetal, na qual as baixas TSTs estão associadas, ocorrem principalmente na porção central da Figura 3.A onde os valores estão próximos dos 21°C, classificadas como baixas TST's e que correspondem as áreas de proteção ambiental do sítio do Físico e do Sítio

Piranhengas, nos bairros Coroadinho e Timbiras, respectivamente. As altas TSTs nas demais localidades associam-se a intensa inserção de elementos característicos de retenção de calor, destacando-se a porção central onde situa-se o centro da cidade (Figura 4).



Figura 4: Vista aérea do uso no centro da cidade da área de estudo.

No centro da cidade, configurado como de alta TST com valores acima de 35°C , verifica-se um forte adensamento urbano, onde a dinâmica de alteração superficial, com elementos de retenção de calor, tais como: malha asfáltica, poucas áreas vegetadas e construções, estão fortemente inseridos.

A porção Sul da cidade, apresentada na Figura 4.b apresenta uma área em que há pouca atividade urbana, pouco adensamento populacional, denominada de vazios urbanos, mas que contém a presença de pequenas comunidades rurais e também o distrito industrial do Município (Figura 5) que não insere um valor elevado de temperatura à superfície semelhante ao que ocorre na porção da cidade. As porções demarcadas como vazios urbanos apresentam valores que oscilam entre Médios e Baixos de TST, fato comprovado por Rangel e Araujo (2012) e que se apresenta de igual modo. Essa localidade é marcada pela presença de extensas áreas de solo exposto, estradas vicinais, pouca cobertura asfáltica, vegetação secundária e também herbácea, cultivo de subsistência das comunidades locais além de pequenos cursos hídricos (Figura 5).



Figura 5: Cobertura do solo na localidade de Vazios urbanos

Outro resultado importante está nas áreas que não possuem demarcação de setores censitários, essa área, uma espécie de corredor no sentido Norte-Sul, apresenta uma temperatura mais elevada do que o seu entorno. Essa feição, retilínea com temperaturas mais elevadas que seu entorno observada na figura 4 e 7, é a BR-135, única rodovia que liga o município ao resto do país. A TST ao longo da BR chega a ser identificada como Alta TST, isso ocorre devido a composição do asfalto que tende a reter calor e também pelo grande fluxo de veículos potencializando um maior gradiente térmico.

4. Conclusões

Os resultados obtidos expressam que a tendência de aquecimento de temperatura superficial terrestre na cidade de São Luís que, fora antes identificada por Araújo e Rangel (2012), permanece. A elevação da temperatura continua a corresponderá área de maior adensamento urbano, onde ocorrem as principais dinâmicas de alteração da superfície através a inserção de elementos característicos de retenção de reter calor (como asfalto, remoção da vegetação, intenso fluxo de veículos e, até construções com propriedades térmicas de retenção de calor). Dentro de um ambiente urbano, as áreas verdes mostram o seu potencial de auxílio no conforto térmico, como observado nas reservas florestais da cidade de São Luís. Fora do eixo de adensamento populacional, locais em que há solo exposto, nas zonas de vazios urbanos, ocorre uma TST moderada. Nas localidades não urbanas aparecem também pontos isolados de temperatura elevada, como a BR-135 que, apesar de não estar diretamente associada a crescimento urbano, associa-se ao crescimento de atividades que demanda calor, como tráfego de veículos pesados e, inserção de elementos como asfalto e retirada de vegetação. A maior contribuição do uso dos dados térmicos do Landsat-8 é indicado pela melhor resolução espacial que possui, quando comparado aos sensores anteriores da série. A espacialização da Temperatura obtida nessa pesquisa possuiu uma resolução de 30m, sendo a resolução melhor do que a utilizada por Araújo e Rangel (2012). Tal resultado possibilita uma melhor identificação de TST em áreas que outrora eram suprimidas, como a BR-135, não identificada pela bibliografia em trabalhos anteriores, além de possibilitar uma melhor investigação de potenciais ilhas de calor nesses ambientes com demasiado gradiente térmico.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, da Universidade de São Paulo (PPGGF/USP), ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais (PPGAMSA/UFMG) e ao Curso de Geografia da Universidade Federal do Maranhão (COGEO/UFMA).

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/sbsr/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 Landsat7etm+: 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://martedpi.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.

Chander G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v, 41, n. 11, 2003.

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.

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

Malaret, E; Batolucci, L. A.; Lozano, D. F, A; Mcgillem, C, D. Landsat-4 and LAndsat-5 Thematic Mapper data quality analysis.**Photogrammetric Engineering and remote Sensing**. Vol. 51, n. 9, pag. 1407-1416. 1985.

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.