

## VI-241 – MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO ESTADO DE GOIÁS A PARTIR DE IMAGENS TERMAIS DO SATÉLITE LANDSAT 7

**Maira Ferreira da Silva Rodrigues<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Goiás.

**Hugo José Ribeiro<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Geoprocessamento, Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

**Antônio Albuquerque<sup>(3)</sup>**

Doutor em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior (UBI). Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Faculdade de Engenharia, UBI, Covilhã, Portugal.

**Paulo Sérgio Scalize<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil e Biomédico, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor Associado I na Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua SB 06, 158 – Residencial Solar Bougainville – Goiânia – GO – CEP: 74393-366 – Brasil – Tel: (62) 3575-8362 – email: mairafsr@gmail.com

### RESUMO

A temperatura é um parâmetro importante no monitoramento da qualidade da água, podendo influenciar desde a quantidade de microrganismos à concentração de cloro residual na água em sistemas de abastecimento de água, bem como indicar qual a faixa da concentração e fluoreto na água. Uma vez que a temperatura da água do seu sistema de distribuição está relacionada à temperatura do ambiente, esta pode ser utilizada como referência no monitoramento da qualidade da água. Não há estações meteorológicas em todos os municípios do estado de Goiás, o que impede a obtenção de dados de temperatura do ar para os mesmos. Estudos têm mostrado que a temperatura de superfície obtida através do sensoriamento remoto apresenta valores muito próximos à temperatura do ar. Utilizando imagens da banda termal do satélite Landsat-ETM+, o objetivo desse trabalho foi calcular a temperatura de superfície dos municípios do estado de Goiás e analisar a proximidade da mesma com a temperatura do ar da região, avaliando seu uso em locais onde não há estações meteorológicas. Os resultados mostraram que a temperatura de superfície é um pouco superior a temperatura do ar, sendo que para os meses chuvosos a obtenção dos dados de temperatura de superfície é dificultada devido à presença de nuvens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Temperatura de Superfície, Sensoriamento Remoto, Landsat 7, Infravermelho Termal, Goiás.

### INTRODUÇÃO

Ao se tratar de água potável vários fatores podem estar relacionados à qualidade da mesma, desde fatores ambientais até operações técnicas. Chung (2003) afirma que dentre os fatores ambientais que mais influenciam a qualidade da água, a temperatura é um dos que tem maior efeito, influenciando no decaimento do cloro e na concentração de microrganismos em sistemas de distribuição de água. Segundo Scheili et al. (2016) a temperatura impacta direta e indiretamente em vários parâmetros de qualidade da água em sistemas de distribuição, como o pH, o decaimento do cloro (MONTEIRO, 2015; KOHPAEL et al., 2011) e a formação de subprodutos da desinfecção (LI et al., 2013).

Sendo a temperatura um parâmetro importante na qualidade da água esta deve ser monitorada tanto na captação quanto no sistema de distribuição, a fim de aumentar a eficiência no seu tratamento e sua distribuição. A temperatura no sistema de distribuição é diretamente relacionada à temperatura ambiente. No Brasil, inclusive no estado de Goiás, não há estações meteorológicas suficientes para fornecer dados de temperatura de todos os municípios, principalmente na região norte do estado, pois as estações se concentram no centro-sudeste do estado (INMET, 2017).

O sensoriamento remoto tem sido uma alternativa para obter dados de temperatura da superfície terrestre. Através da energia radiante dos alvos terrestres, os sensores são capazes de detectar e registrar a concentração do fluxo radiante emitido pelos alvos terrestres, que é chamada de temperatura radiante (JENSEN, 2009), a partir da qual podemos determinar a temperatura de superfície.

Em estudos realizados sobre a temperatura de superfície em diferentes regiões, esta apresentou valores muito próximos à temperatura do ar. Um trabalho de Pires e Ferreira (2015) sobre a temperatura de superfície na área do entorno da UHE de Luís Eduardo de Magalhães, entre os municípios de Palmas e Porto Nacional, no estado do Tocantins, utilizando imagens dos satélites Landsat-7 e Landsat-8 mostrou que a temperatura de superfície encontrada diferiu 0,4°C da temperatura do ar da região no mesmo dia estudado. Em outro trabalho, realizado por Coelho e Correa (2013), onde se determinou a temperatura de superfície do município de Vitória, no Espírito Santo, com uso de imagem do satélite Landsat 8, a temperatura de superfície obtida variou 1,5°C da temperatura do ar.

A obtenção de valores de temperaturas ao longo de uma determinada região possibilitará detectar tendências e/ou influências de parâmetros diversos, os quais podem ser impactados por diferentes temperaturas. Assim, torna-se fundamental possuir um maior número de dados de temperatura permitindo uma correlação com esses parâmetros, o que auxiliara na identificação de possíveis problemas e sua resolução.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calcular a temperatura de superfície dos municípios do estado de Goiás, através de dados provenientes do sensor ETM+ do satélite norte-americano Landsat-7, criando um banco de dados e possibilitando sua utilização no tratamento da água distribuída a população.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende 225 municípios do estado de Goiás, localizado no centro oeste do Brasil. Segundo a classificação de Köppen – Geiger o clima é tropical com estação seca no inverno (Aw) em quase todo o estado e temperado úmido com verão quente e inverno seco (Cwa) em uma parte do Sudoeste e Nordeste do estado (CARDOSO e MARUZZO, 2014). Para calcular a temperatura de superfície do estado de Goiás, foram adquiridas imagens do satélite Landsat-7/ETM+, órbitas 220 a 224, pontos 69 a 73, disponibilizadas no site da USGS (United States Geological Survey) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), nos anos de 2011 a 2013, sendo utilizadas todas as imagens disponíveis do período.

A resolução temporal do Landsat-7/ETM+ é de 16 dias, portanto são geradas duas imagens por ponto a cada mês, de onde foram obtidas as máximas temperaturas utilizadas nesse estudo. Como a área de interesse é a urbana, pois é onde se localiza o sistema de abastecimento de água, utilizou-se o perímetro urbano para delimitar a área a qual foi calculada a temperatura de superfície.

Devido a ruídos e vazios nas imagens provocados por um problema no equipamento SLC (Scan Line Correction) a partir de maio de 2003, todas as imagens precisam ser tratadas. Para isso, foi utilizado o algoritmo de interpolação Landsat gapfill, produzido especificamente para a solução do problema de ruído nas imagens Landsat-7/ETM+. O algoritmo foi executado no software ENVI 4.7. A imagem termal não foi afetada radiometricamente pelo problema no SLC (USGS, 2017), portanto podem ser usadas sem receio para determinação da temperatura de superfície.

Para calcular a temperatura de superfície utilizaram-se as imagens do infravermelho termal, correspondente a banda 6 do Landsat-7/ETM+, que possui intervalo espectral de 10.4 um a 12.5 um e resolução espacial de 60 metros, reamostrada para 30 metros. Para converter os níveis de cinza da imagem termal em radiância e após em temperatura, utilizou-se a ferramenta Raster Calculator, do software ArcGis 10.2 da Esri. Primeiramente, converteram-se os níveis de cinza em radiância, através da Equação 1 (IRISH, 2000).

$$L\lambda = ((L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}) / (Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{cal min}})) * (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{cal min}}) + L_{\min\lambda} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$L\lambda$ : radiância espectral (Watts/ (m<sup>2</sup> sr μm));

$L_{\max\lambda}$ : radiância espectral máxima (12.65 Watts/ (m<sup>2</sup> sr μm));

$L_{min\lambda}$ : radiância espectral mínima (3.2 Watts/ (m<sup>2</sup> sr μm);  
 Qcal max: valor máximo do pixel em níveis de cinza (DN = 255);  
 Qcal min: valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN = 1);  
 Qcal: Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN).

Posteriormente a radiância foi convertida em temperatura através da Equação 2 (IRISH, 2000). As constantes K1 e K2 foram obtidas no arquivo metadados, que são baixados juntamente com as imagens no site da USGS.

$$T_k = K_2 / (\ln(K_1/L\lambda + 1)) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Tk: temperatura de superfície em kelvin;  
 K1: constante de calibração 1 (666,09 Watts/ (m<sup>2</sup> sr μm);  
 K2: constante de calibração 2 (1282,71 K);  
 Lλ: radiância espectral (Watts/ (m<sup>2</sup> sr μm).

Para converter a temperatura de Kelvin para graus Celsius, subtraiu-se o valor da temperatura em kelvin no ponto de congelamento da água, como mostra a Equação 3.

$$T_c = T_k - 273.15 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Tc: temperatura em °C;  
 Tk: temperatura em kelvin, obtida da Equação 2.

Após a determinação das temperaturas de superfície, aplicou-se um filtro nas imagens para descartar valores espúrios de temperatura, uma vez que em Goiás as temperaturas não atingem valores abaixo de 0°C, estas temperaturas negativas são de nuvens presentes no momento da passagem do satélite, e foram descartadas para não subestimar os resultados.

Para preencher os vazios nos pontos onde haviam nuvens foi feita uma interpolação utilizando o interpolador Distância Inversa Ponderada do termo em inglês *InverseDistanceWeighted (IDW)*. Em termos matemáticos o interpolador IDW utiliza duas equações (4 e 5) em sua formulação, considerando a distância entre a célula que terá o valor interpolado e as amostras com valor conhecido. Além de um peso que é atribuído, ou seja, quanto mais próximo o ponto a ser calculado estiver da amostra, maior é o seu peso ou influência (GOODCHILD et al., 2005).

$$Z(x) = \sum w_i * z_i / \sum w_i \quad (\text{Equação 4})$$

$$w_i = 1/d_i^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

z(x) - Valor a ser interpolado.  
 z<sub>i</sub> - Valor conhecido.  
 w<sub>i</sub> - Peso.  
 d<sub>i</sub> - Distância entre as amostras e o valor a ser interpolado.

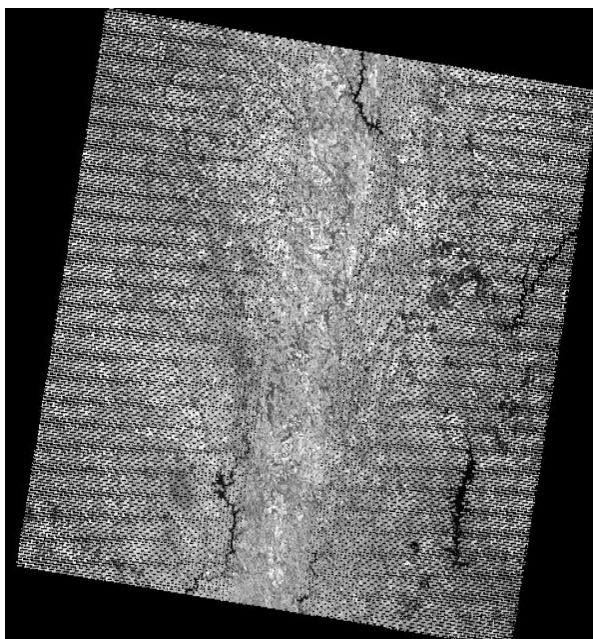
A escolha por este interpolador ocorreu devido a natureza das amostras e quantidade adequada ao método. A fim de validar o uso de temperatura de superfície em locais onde não há estações meteorológicas, foi feita uma comparação dos resultados obtidos com os dados de estações meteorológicas disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A localização das quatro Estações escolhidas estão descritas Tabela 1. As informações de temperatura de superfície obtidas a partir das imagens de satélite foram comparadas com as das estações meteorológicas mensalmente para o período de 2011 a 2013.

**Tabela 1 – Localização das estações meteorológicas utilizadas na validação da metodologia aplicada neste estudo.**

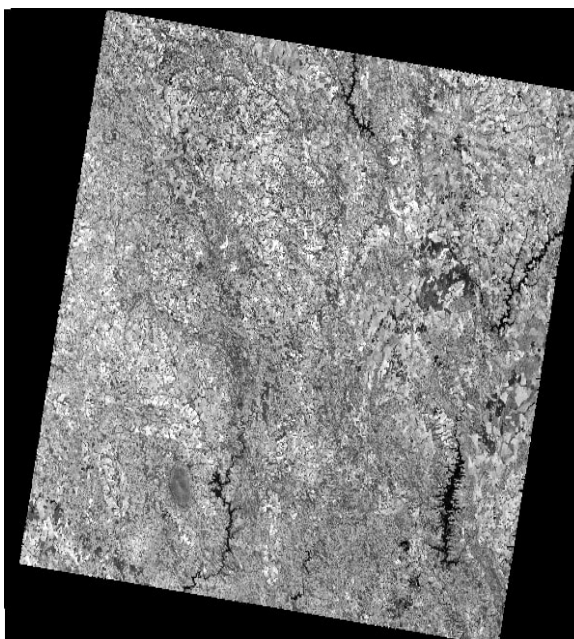
	<b>Código</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>Goiânia</b>	83423	-16,666667°	-49,25°	741,5
<b>Goiás</b>	83374	-15,916667°	-50,133333°	512,2
<b>Pirenópolis</b>	83376	-15,85°	-48,966667°	740,0
<b>Rio Verde</b>	83470	-17,8°	-50,916667°	774,6

## RESULTADOS

Foi realizado o tratamento nas imagens para corrigir o ruído existente, obtendo dessa forma imagens tratadas com qualidade suficiente para realização da pesquisa. Como exemplo tem-se o ponto 72 órbita 221 no dia 22 de agosto de 2013, onde na Figura 1 existe o ruído nas bordas e na Figura 2 a mesma imagem após tratada.



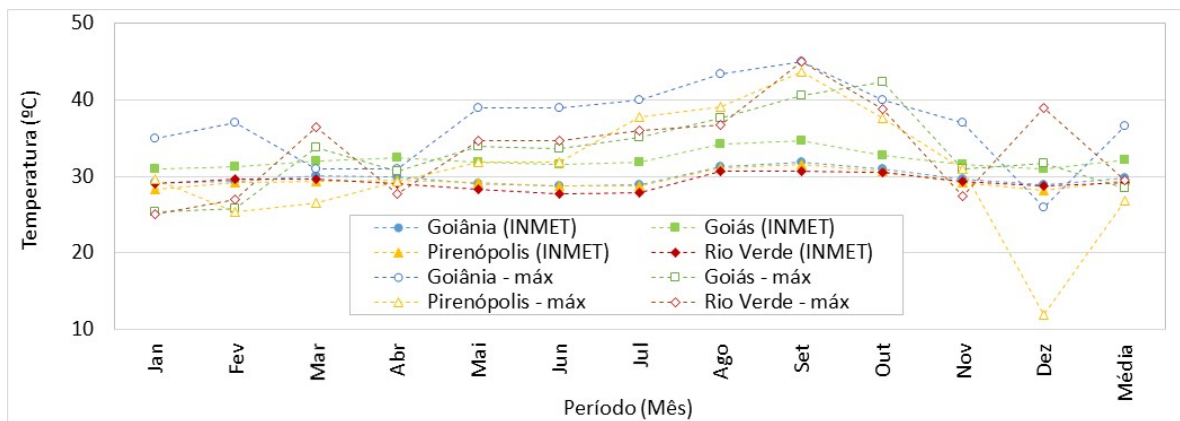
**Figura 1 – Banda 6 do satélite Landsat 7, ponto 72 órbita 221, sem nenhum tratamento, obtida do site da USGS.**



**Figura 2: Banda 6 do satélite Landsat 7, ponto 72 órbita 221 após a correção de ruídos com o software ENVI 4.7.**

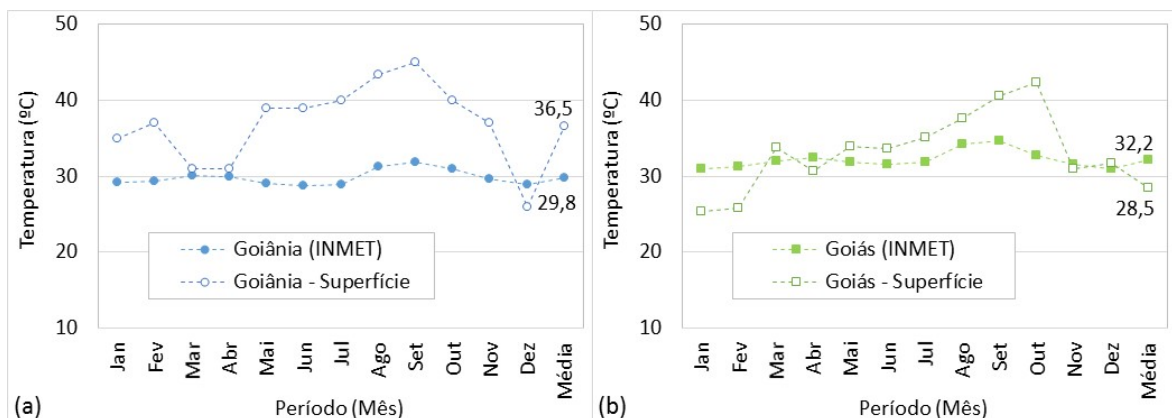
Na Figura 3 estão plotadas as temperaturas máximas da série 1961-1990 juntamente com as temperaturas máximas obtidas das imagens de satélite no período de 2011 a 2013. Observa-se que a temperatura de superfície é superior ao valor da temperatura do ar obtido a partir das estações climatológicas. No entanto, alguns autores (Filgueiras et al. 2016; Zhu et al. 2013; Boudhar et al. 2011; Leite e Brito, 2012) obtiveram resultados similares utilizando imagens Landsat-5 e 7 assim como imagens do satélite MODIS.



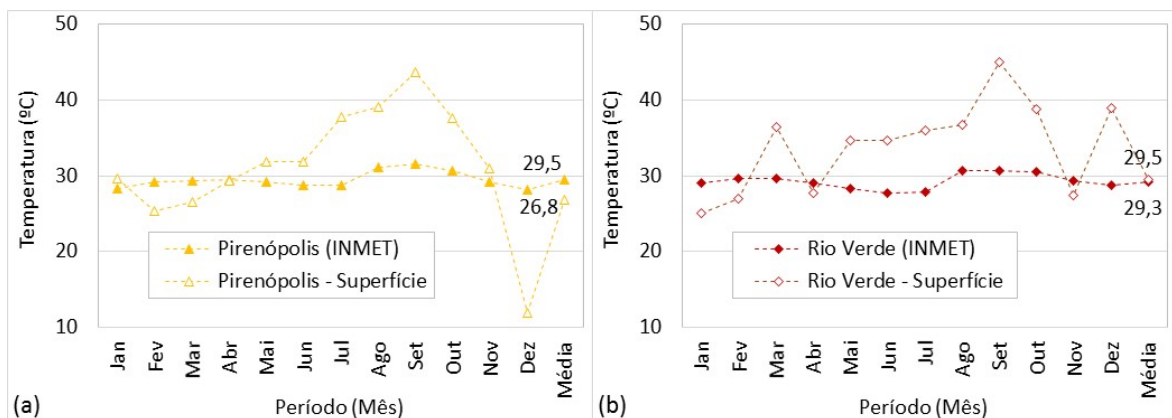


**Figura 3 – Temperaturas máxima da série histórica disponibilizada pela INMET e da calculada entre os anos de 2011 e 2013 para os 4 municípios estudados.**

Nas Figuras 4 e 5 observa-se a evolução da temperatura de superfície e das obtidas do INMET para cada um dos 4 municípios estudados. Na Figura 4a verifica-se para a cidade de Goiânia a maior diferença entre a média das duas temperaturas dentre as estudadas, alcançando 6,7°C. Em contrapartida, a menor variação de temperatura ocorreu para a cidade de Rio Verde, sendo de apenas 0,2°C (Figura 5b). Os municípios de Goiás e Pirenópolis apresentaram uma diferença intermediária da temperatura média, sendo de 3,7°C (Figura 4b) e 2,7°C (Figura 5a) respectivamente.



**Figura 4 – Evolução das temperaturas ao longo do ano e a média para os dados obtidos do INMET e a de superfície calculada para Goiânia (a) e Goiás (b).**



**Figura 5 – Evolução das temperaturas ao longo do ano e a média para os dados obtidos do INMET e a de superfície calculada para Pirenópolis (a) Rio Verde (b).**

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se que a temperatura de superfície calculada apresentou tanto valores esperados para a região, quanto a valores espúrios, como é o caso da temperatura máxima para o mês de dezembro na cidade de Pirenópolis (11,9 °C) que não reflete a realidade, mesmo em 3 ocasiões diferentes (2011, 2012 e 2013). Isto ocorre devido às condições meteorológicas no momento da passagem do satélite, elementos como chuvas e nebulosidade interferem na obtenção dos dados do infravermelho termal, uma vez que o mês de dezembro é um dos que apresentam maior volume de chuva, há uma dificuldade na obtenção de dados deste mês. Além disso, sombras na superfície também influenciam nos resultados, uma vez que há redução no fluxo radiante emitido pela superfície.

A série histórica disponibilizada de INMET possui informações de nove estações meteorológicas, sendo que a última medição data de 1990. Devido ao processo de urbanização, a temperatura das cidades é impactada, podendo ser elevada, efeito chamado ilha de calor, decorrente da mudança no uso e ocupação do solo, em que a cobertura superficial que antes era vegetação passa a ser substituída por elementos antrópicos (DE SOUSA e JÚNIOR, 2012). Isso impacta também a temperatura de superfície, visto que a temperatura quantificada pelo satélite é a temperatura radiante da superfície (COELHO e CORREA, 2013) e materiais como concreto apresentam maior fluxo radiante que a vegetação. Tal situação pode explicar o fato de que a temperatura de superfície calculada apresentar valores consideravelmente superiores, como é o caso da cidade de Goiânia, além disso, há um intervalo de mais de 20 anos entre a última medição da série histórica e as imagens utilizadas para cálculo da temperatura de superfície.

Filgueiras et al. (2016), observaram uma diferença de até 7°C ao longo de uma série histórica de 11 anos, em algum momento essa diferença foi de apenas 0,58°C. O coeficiente de correlação obtido foi de  $R^2$  0,89, portanto uma forte correlação entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar. Boudhar et al. 2011 utilizaram imagens do satélite Landsat-7/ETM+ para comparar a temperatura máxima do ar com a temperatura de superfície em seis estações meteorológicas na região montanhosa do Marrocos e obtiveram um coeficiente de correlação  $R^2$  de 0,83.

Leite e Brito (2012), correlacionaram imagens do satélite Landsat-5/TM para seis estações meteorológicas localizadas no norte do estado de Minas Gerais nos anos de 1985, 1995 e 2010, e obtiveram como resultado um coeficiente de correlação  $R^2$  de 0,96. Seguindo o mesmo raciocínio, Zhu et al. (2013) compararam as temperaturas mínimas e máximas obtidas a partir de imagens termais do satélite MODIS com as temperaturas do ar na China. O coeficiente de correlação foi de 0,94 entre temperatura de superfície e temperatura mínima do ar e, 0,83 entre temperatura superfície e temperatura máxima do ar, indicando que a temperatura de superfície é bem próxima à temperatura do ar medida nas estações.

## CONCLUSÕES

A determinação da temperatura de superfície através de imagens de satélite é uma boa alternativa para os locais que não há estações meteorológicas e podem ser usadas em diversos estudos, uma vez que é bem próxima da temperatura do ar. Um inconveniente no uso de imagens de satélite para determinação da temperatura de superfície é a presença de nuvens no momento da passagem do satélite, principalmente durante a estação chuvosa, que dificultam o uso dos dados.

As imagens do satélite Landsat-7/ETM+ se mostraram eficientes, porém a falha no sensor SLC, que causa ruídos nas bordas das imagens dificulta o uso para grandes regiões, e embora haja softwares capazes de realizar a correção, é necessário muito tempo para tratar as imagens para áreas muito grandes. Contudo, os valores obtidos a partir da metodologia aplicada estão dentro do esperado. Desconsiderando as anomalias, como temperaturas muito baixas, a temperatura de superfície apresentou valores um pouco superiores aos da temperatura do ar, o que condiz com o encontrado na literatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOUDHAR, A.; DUCHEMIN, B.; HANICH, L.; BOULET, G.; CHEHBOUNI, A. Spatial distribution of the air temperature in mountainous areas using satellite thermal infra-red data. *Comptes Rendus Geoscience*, Amsterdam, v.343, n. 1, p.32-42, 2011.
2. CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica*, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.
3. CHUNG, W.; KIM, I.; YU, M.; LEE, H. Water Quality Variations (WQVs) on Water Distribution Systems in KOREA According to Seasonal Varying Water Temperatures. In: *World Water & Environmental Resources Congress 2003*. p. 1-10. 2003.
4. COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C.. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
5. DE SOUSA, S. B.; JÚNIOR, L. G. F. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 26, 2012.
6. FILGUEIRAS, R.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; CUNHA, A. R.; ZIMBACK, C. R. L. Predição da temperatura do ar por meio de sensoriamento remoto orbital. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 8, 2016.
7. GOODCHILD, M. F. et al. *Geographic information systems and science*. John Wiley and Sons, Chichester, 2005, 539 p.
8. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estados@*, Goiás. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=go>> Acesso em Jan. 2017.
9. Instituto Nacional de Meteorologia. *Rede de estações*. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>> Acesso em Jan. 2017.
10. IRISH, R. R. *Landsat 7 science data users handbook*. National Aeronautics and Space Administration, Report, v. 2000, p. 415-430, 2000.
11. JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.
12. KOHPAEI, A. J.; SATHASIVAN, A.; ABOUTALEBI, H.. Evaluation of second order and parallel second order approaches to model temperature variation in chlorine decay modelling. *Desalination and Water Treatment*, v. 32, n. 1-3, p. 100-106, 2011.
13. LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Avaliação de desempenho do algoritmo SEBAL na modelagem térmica da bacia do rio vieira no Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Cartografia*, Brasília, v. 65, n. 1, p.161-174, 2012
14. LI, C.; GUO, S.; ZHANG, T.; YU, J.; MAO, X.; ZHANG, K. Chlorine decay and THMs formation models based on pilot-scale water distribution system. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, v. 12, p. 052, 2013.
15. MONTEIRO, L.; VIEGAS, R. M. C.; COVAS, D. I. C.; MENAIA, J. Modelling chlorine residual decay as influenced by temperature. *Water and Environment Journal*, v. 29, n. 3, p. 331-337, 2015.
16. PIRES, E. G.; FERREIRA JR., L. G. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 2015.
17. SCHEILI, A.; DELPHA, I.; SADIQ, R.; RODRIGUES, M. J. Impact of Raw Water Quality and Climate Factors on the Variability of Drinking Water Quality in Small Systems. *Water Resources Management*, v. 30, n. 8, p. 2703-2718, 2016.
18. USGS (United States Geological Survey). **Using Landsat 7 Data**. Disponível em <[http://landsat.usgs.gov/using\\_Landsat\\_7\\_data.php](http://landsat.usgs.gov/using_Landsat_7_data.php)>. Acesso em Jan. 2017
19. ZHU, W.; LÚ, A.; JIA, S. Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, v. 130, p.62-73, 2013.