

## Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica de imagem Landsat 8 para a extração da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Lucas Prado Osco<sup>1</sup>  
José Marcato Junior<sup>2</sup>  
Ana Paula Marques Ramos<sup>1</sup>  
José Eduardo Creste<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE  
Caixa Postal 19067-175 - Presidente Prudente - SP, Brasil  
pradoosco@gmail.com; anaramos@unoeste.br; jcrest@unoeste.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. - UFMS  
Caixa Postal 79070-900 - Campo Grande - MS, Brasil  
jose.marcato@ufms.br

**Abstract.** This paper aims to determine, for a Landsat 8 scene, values of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and LST (Land Surface Temperature) derived from different products. The NDVI and LST were calculated using the Top-of-Atmosphere reflectance (ToA) and the atmospherically corrected surface reflectance by the DOS1 method. As reference, a surface reflectance value provided by the USGS (United States Geological Survey) was adopted. In order to generate the products, the "Land Surface Temperature" and "Semi-Automatic Classification" plug-ins installed in the software QGIS were used. We used the bands 4 and 5 from OLI sensor for the NDVI and band 10 from sensor TIRS for the LST. Fifty points were chosen randomly throughout the scene to store the values of the pixels in order to be compared with each other. When comparing the ToA and DOS1 results with the surface reflectance values provided by the USGS, the determination coefficient ( $r^2$ ) was equal to: a) 0.9647 for the NDVI and 0.9891 for the LST when estimated with the reflectance at the Top of the Atmosphere (ToA), and; b) 0; 9901 for NDVI and 0.9986 for LST obtained with the product atmospherically corrected by DOS1. In reason of the influence from the different methods applied, we recommend that future works use the methods described here alongside data containing different atmospheric conditions.

**Palavras-chave:** image processing, temperature, vegetation index, processamento de imagens, temperatura, índice de vegetação.

### 1. Introdução

O *software open-source* QGIS (*Quantum Geographical Information System*) permite a inserção de *plug-ins* com diferentes ferramentas de análise. Por essa possibilidade, associado a distribuição gratuita, o QGIS se tornou uma geotecnologia amplamente utilizada. Congedo (2016) criou o *plug-in* "Semi-Automatic Classification" que realiza, dentre as suas opções, a conversão do DN (*Digital Number*) de imagens *Landsat 8*, sensor OLI, para a Refletância ToA (*Top of Atmospheric*), assim como a correção atmosférica dessas imagens utilizando o método DOS1 (*Dark Object Subtraction 1*) proposto por Chaves (1996). Ndossi e Avdan (2016) disponibilizaram o *plug-in* *Land Surface Temperature (LST)* que converte o DN da imagem *Landsat 8*, do sensor TIRS, para a Radiância ToA e, a partir desse dado, determina a Temperatura de Brilho (ToA). Este *plug-in*, ainda, converte o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para a emissividade que, quando utilizado adjunto à Temperatura de Brilho, resulta na Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature - LST*).

Recentemente a USGS (*United States Geological Service*), responsável pela distribuição e tratamento dos produtos *Landsat*, disponibilizou as suas imagens com dados de refletância de superfície de alto nível, sobre a denominação "Landsat Surface Reflectance High Level Data Products", com o projeto: "Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Code (Lasrc) Product" (USGS, 2016). Diante disso, os usuários passaram a ter a possibilidade de trabalhar com as

imagens Landsat 8 representando a refletância de superfície, isto é, já corrigidas do efeito da atmosfera. Com isto, a USGS eliminou a necessidade da tarefa de pré-processamento das imagens, no que se refere, por exemplo, a aplicação do método DOS1 ou de outro método que minimize as interferências da atmosfera nos dados de sensoriamento remoto. O objetivo desse trabalho é realizar uma comparação dos valores de NDVI e de Temperatura de Superfície (LST), determinados com os *plug-ins* mencionados anteriormente, utilizando os produtos: 1) refletância ao topo da atmosfera (ToA); 2) refletância de superfície estimada com o DOS1, e; 3) refletância de superfície fornecida pela USGS(SR-USGS).

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Detalhes da cena do Landsat 8 e delimitação dos pontos de análise

A imagem adquirida pertence ao satélite Landsat 8, cena 222-075, registrada no dia 05/04/2016, às 13:22 hrs, com 1%e cobertura de nuvem. Neste trabalho utilizaram-se as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do sensor OLI, e a banda 10 (infravermelho termal 1) do sensor TIRS. A cena abrange uma região à oeste do Estado de São Paulo, com o rio Tietê ao norte, próximo ao município de São José do Rio Preto, estendendo-se (a cena) até a região do município de Presidente Prudente.

O processamento da imagem escolhida ocorreu no *software* QGIS 2.14. Inicialmente foi necessário reprojeter as imagens para o hemisfério Sul, sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Fuso 22S. Em seguida, traçou-se um polígono para toda a imagem. Esse polígono foi dividido em 4 quadrantes com dimensões equivalentes e em um 5º quadrante central com cerca de metade dessas dimensões. Tais separações tiveram por intuito distribuir uniformemente (ao longo da imagem) os pontos. Por conseguinte, adicionaram-se 10 pontos automaticamente e aleatoriamente para cada polígono criado, totalizando 50 pontos. A distribuição desses pontos encontra-se representada na Figura 1.

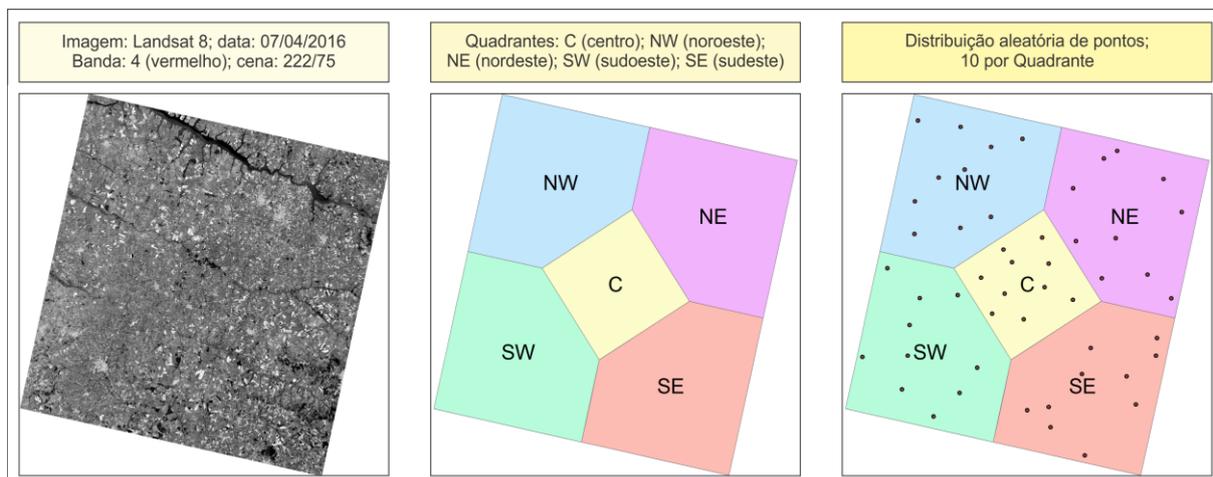


Figura 1. Divisão da cena em polígonos (quadrantes) e a distribuição aleatória dos pontos de comparação.

### 2.2. Determinação do NDVI e o seu uso na emissividade de superfície

A refletância planetária ao topo da atmosfera (ou albedo) é, normalmente, obtida a partir da radiância (CONGEDO, 2016). No caso da imagem do Landsat 8, a USGS disponibiliza a possibilidade de calcular essa refletância a partir da convenção direta do DN pela equação (1) (USGS, 2016).

$$\rho\lambda = (M_p * Q_{cal} + A_p) / \sin(\theta_E) \quad (1)$$

Neste caso,  $Q_{cal}$  corresponde a imagem em DN, e  $M_p$  e  $A_p$  são dados de pré-lançamento do satélite, para cada banda, encontrados no arquivo de metadados da imagem. A elevação solar ( $\theta_{SE}$ ) também pode ser adquirida em valores inseridos no metadados da imagem.

O valor da refletância ToA (Watts ( $m^2.sr.\mu m$ )), ainda, encontra-se sob as interferências atmosféricas. Uma das soluções para minimizar essa interferência é a aplicação do método de correção atmosférica DOS1. Este método assume que *pixels* apresentam-se sombreados na imagem devido à dispersão atmosférica, e que, por conta da baixa probabilidade de áreas completamente negras, uma porcentagem mínima de 1% de refletância é assumida, ao invés de 0% (CHAVES, 1996).

Congedo (2016), por meio reajustes matemáticos, propõe a equação (2) para a estimativa de refletância de superfície de imagens *Landsat* a partir do método DOS1.

$$\rho = [\pi * (L_\lambda - L_p) * d^2] / (ESUN_\lambda * \cos(\theta_s)) \quad (2)$$

O valor de  $L_\lambda$  corresponde a radiância espectral no sensor (ToA), enquanto o valor de  $d$  consistem na distância entre o Sol e a Terra, em unidades astronômicas, disponibilizada em NASA (2011). A variável  $\theta_s$ , por sua vez, é o ângulo solar zenital que corresponde a  $\theta_s = 90^\circ - \theta_E$ . Para encontrar os valores de  $L_p$  e  $ESUN_\lambda$ , Congedo (2016) aplica as equações (3) e (4).

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0,01 * ESUN_\lambda * \cos(\theta_s) / (\pi * d^2) \quad (3)$$

$$ESUN_\lambda = (\pi * d^2) * RADIANCE\_MAXIMUN / REFLECTANCE\_MAXIMUN \quad (4)$$

A equação (3), as variáveis  $A_L$  e  $M_L$  correspondem a valores encontrados nos metadados da imagem, enquanto as demais são apresentadas na equação anterior (3). Já para o cálculo da  $ESUN_\lambda$ , é necessário ressaltar que a fórmula deve ser aplicada somente em imagens *Landsat* 8, e que os parâmetros  $RADIANCE\_MAXIMUN$  e  $REFLECTANCE\_MAXIMUN$  estão no arquivo de metadados da imagem. As equações 2, 3 e 4 foram aplicadas com o *plug-in* “*Semi-Automatic Classification*”.

Cabe ressaltar que a imagem da refletância de superfície “*Landsat Surface Reflectance High Level Data Products*”, LSR-HLD, foi obtida diretamente a partir da *webpage* USGS Earth Explorer, disponibilizada gratuitamente. Os 3 produtos corrigidos (ToA; DOS1 e LSR-HLD) para as bandas 4 e 5 foram incorporadas nos cálculos do NDVI e da emissividade.

A emissividade ( $\epsilon$ ) de superfície é determinada com base em 2 parâmetros fundamentais: Proporção de Vegetação ( $P_v$ ) e Geometria de Superfície ( $C_\lambda$ ) (NDOSSI e AVDAN, 2016). A Proporção de Vegetação ( $P_v$ ) é estimada em função do NDVI, equação (5), que representa a razão simples entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (R) (JENSEN, 2009) correspondendo as bandas 5 e 4, respectivamente, do satélite *Landsat* 8.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (5)$$

O valor de NDVI varia de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura da vegetação na área. Valores próximos a zero, ou abaixo de zero, sugerem a presença de áreas desmatadas ou cobertas por água (NDOSSI e AVDAN, 2016). A equação (6) a seguir apresenta o cálculo utilizado para a Proporção de Vegetação ( $P_v$ ) (WANG et al., 2015), enquanto a Geometria de Superfície ( $C_\lambda$ ) é estimada pela equação (7) (SOBRINO e RAISSOUN, 2000).

$$P_v = [(NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})]^2 \quad (6)$$

$$C_\lambda = (1 - \varepsilon_{s\lambda}) * \varepsilon_{v\lambda} F'(1 - P_v) \quad (7)$$

A Proporção de Vegetação, obtida a partir do NDVI, exerce um papel fundamental para a determinação da emissividade de superfície (*Land Surface Emissivity* - LSE) (WANG et al., 2015). A Geometria de Superfície ( $C_\lambda$ ), por sua vez, é dada pela rugosidade da superfície (no caso, em superfície plana,  $C = 0$ ), onde  $\varepsilon_s$  e  $\varepsilon_v$  correspondem, respectivamente, a emissividade do solo (0,966) e da vegetação (0,973). O parâmetro  $F'$  (equação 3) apresenta valores entre 0 e 1, cujo um valor médio adotado pode corresponder a 0,55 (NDOSSI e AVDAN, 2016). Para tanto, a emissividade de superfície ( $\varepsilon_\lambda$ ) é determinada a partir da equação (8) (SOBRINO e RAISSOUN, 2000):

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{v\lambda} P_v + \varepsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C_\lambda \quad (8)$$

As equações 5, 6, 7 e 8 estão implementadas no *plug-in* “*Land Surface Temperature*”. Convém ressaltar que esse *plug-in* tem a capacidade de calcular a emissividade a partir do NDVI por meio de dois algoritmos diferentes. Para este trabalho utilizaram-se os valores de emissividade de Wang et al. (2015).

## 2.2. Determinação da temperatura de superfície

A radiância é o fluxo de energia, por um ângulo sólido, que parte de uma superfície para uma determinada direção (NASA, 2011). Nas bandas do sensor OLI do Landsat 8, a (Radiância ToA) ( $L_\lambda$ ) pode ser estimada pela equação (9), que converte o DN (sem unidade de medida) para a energia recebida ao topo da atmosfera em Watts ( $m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ) (USGS, 2016).

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i \quad (9)$$

Nesta equação,  $Q_{cal}$  corresponde a imagem em DN, enquanto  $M_L$  (ganho) e  $A_L$  (offset) são dados de pré-lançamento do satélite, para cada banda, encontrados no arquivo de metadados da imagem. O valor de  $O_i$  representa uma correção para a banda 10, equivalente à  $-0,29$ , conforme a recomendação da USGS. Segundo a USGS (2016) as bandas termais 10 e 11 recebem interferência de luz dispersa de áreas adjacentes a cena imageada e, por essa razão, exigem o ajuste através da inserção do valor à equação. Recomendam, todavia, apenas o uso da banda 10 durante a estimativa de temperatura, uma vez que o problema dessa luz dispersa ocorre com maior intensidade na banda 11.

Com a banda 10 convertida para radiância, adotou-se a equação (10) para convertê-la em temperatura de brilho ToA, a qual corresponde a temperatura de superfície registrada no sensor, isto é, com interferência atmosférica (USGS, 2016)

$$T_{sen} = K_2 / \ln [(K_1/L_\lambda) + 1] \quad (10)$$

Na equação (10), os parâmetros  $K_2$  e  $K_1$  são encontrados no metadados da imagem, e o valor de  $L_\lambda$  é o obtido na equação (9). A unidade de medida deste resultado corresponde a Kelvin (K). As equações (5) e (6) foram executadas no *plug-in* “*Land Surface Temperature*”.

Uma vez adquirido os dados referentes à emissividade ( $\varepsilon$ ) e Temperatura de Brilho (BT), determinou-se a temperatura de superfície -  $T_s$  (*Land Surface Temperature* – LST), conforme mostra a equação (11). Esta equação está implementada no *plug-in* desenvolvido por NdoSSI e

Avdan (2016), “*Land Surface Temperature*”, e baseia-se na função de Planck (SINHA et al, 2014), da qual realiza uma correção da emissão de superfície em relação à um corpo negro.

$$T_s = BT / \{1 + [(\lambda * BT) / \rho] * \ln(\epsilon)\} \quad (11)$$

Na equação (11),  $\lambda$  é o comprimento de onda central da banda utilizada (no caso, a banda 10, correspondendo à 10,8  $\mu\text{m}$ ) e a constante  $\rho$  equivale ao valor  $1,438 * 10^{-2}$  mK. O valor de  $\rho$  advém da seguinte equação:  $(h * c) / \sigma$ ; onde  $h$  é determinada pela constante de Planck ( $6,626 * 10^{-34}$  Js);  $c$  corresponde à velocidade da luz ( $2,998 * 10^8$  m/s); e  $\sigma$  é a constante de Boltzmann ( $1,38 * 10^{-23}$  J/K) (WENG, et al. 2004). O resultado obtido na equação (11) é dado em Kelvin (K), tornando necessária a subtração do valor 273,15 para a convenção em graus Célsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Essa conversão pode ser realizada pelo *plug-in* “*Land Surface Temperature*”.

A partir dos valores de NDVI e de temperatura de superfície (LST) estimados, tanto com a refletância no topo da atmosfera (ToA) quanto com a refletância de superfície corrigida com o método DOS1, pode-se iniciar a etapa de comparação desses valores com os valores obtidos com a refletância de superfície fornecido pela USGS, tomados como referência neste trabalho. Essa comparação foi realizada em cada um dos 50 pontos distribuídos aleatoriamente na imagem em estudo (Figura 1). A comparação entre os valores ocorreu por meio da análise da regressão linear simples, do cálculo da média dos valores, e do desvio-padrão dos dados.

### 3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 apresenta-se os as diferenças entre os produtos para o NDVI. Com o intuito de comparar visualmente, subtraiu-se o produto NDVI-USGS pelo NDVI-ToA (Figura 2A) e o NDVI-USGS menos o NDVI-DOS1 (Figura 2B). As diferenças entre a amplitude mínima e máxima dos valores correspondem à: 0,114 para ToA; e 0,066 para DOS1.

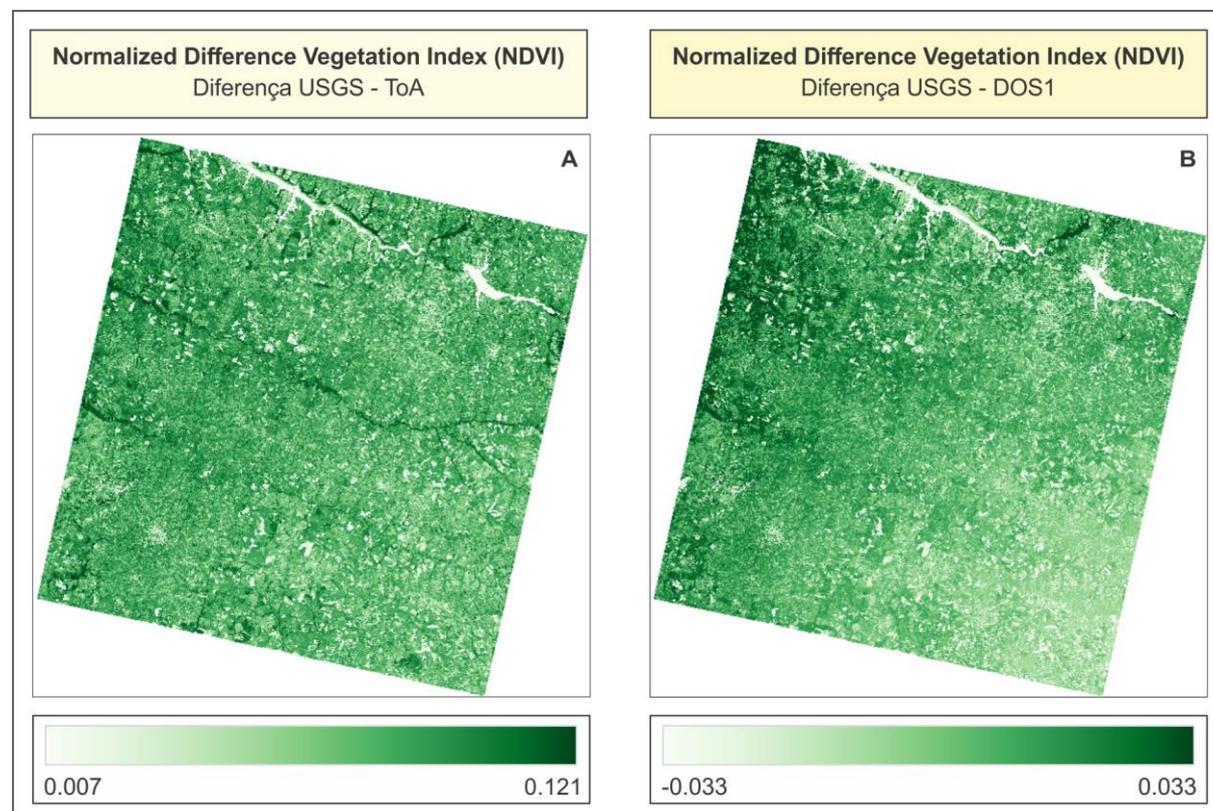


Figura 2(A e B). Diferença entre os produtos obtidos para o NDVI na cena estudada.

Nota-se na Figura 2 que, nos dois produtos, a amplitude dos valores de NDVI variou diferentemente. Essa diferença pode ser explicada devido a redução dos efeitos atmosféricos para a imagem tratada com as correções (DOS1).

Para a temperatura de superfície nota-se (Figura 3A e B) maior variação entre os valores de máximo e mínimo na cena analisada, quando comparada com a variação do NDVI. Porém, verifica-se que a temperatura estimada a partir dos dados de refletância ao topo da atmosfera (ToA) difere mais do que a temperatura obtida com os dados de refletância corrigidos pelo método DOS 1. A diferença entre as temperaturas pode ser explicada devido ao valor da emissividade ( $\epsilon_s$ ) (equação 8) acrescentada ao cálculo da LST. Não obstante, a correção do efeito da atmosfera ainda é necessária para minimizar erros de temperatura no produto final. A explicação desta pequena diferença entre os valores de temperatura pode ser atribuída a baixa interferência atmosférica na cena utilizada.

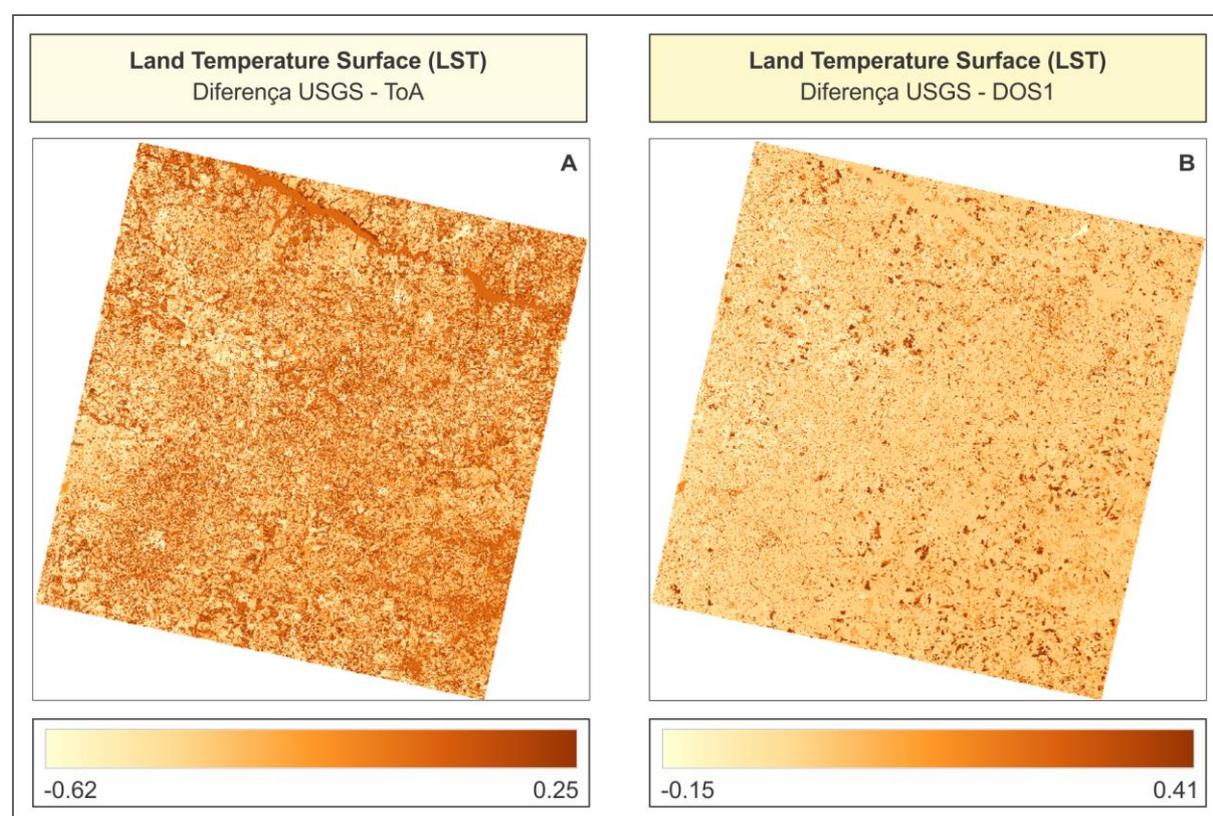


Figura 3(A e B). Diferença entre os produtos obtidos para a LST na cena estudada

A diferença da amplitude entre os mínimos e máximos da LST, em ambos os casos, encontra-se calculada a seguir: a subtração LST-USGS pela LST-ToA resulta em 0,87 °C, enquanto a diferença entre a LST-USGS e a LST-DOS1 corresponde à 0,56 °C.

A Figura 4 apresenta os gráficos de regressão linear simples construídos para a análise quantitativa dos resultados de NDVI e de temperatura de superfície, utilizando os 50 pontos aleatoriamente distribuídos na imagem Landsat 8 (Figura 1). Os valores de desvio padrão e da média dos dados encontram-se representados no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Desvio padrão e média entre os valores dos três produtos obtidos.

	USGS (NDVI)	DOS1 (NDVI)	ToA (NDVI)	USGS (LST)	DOS1 (LST)	ToA (LST)
Desvio padrão	0,132	0,126	0,120	2,637	2,602	2,739
Média	0,69	0,68	0,61	31,82	31,83	32,06

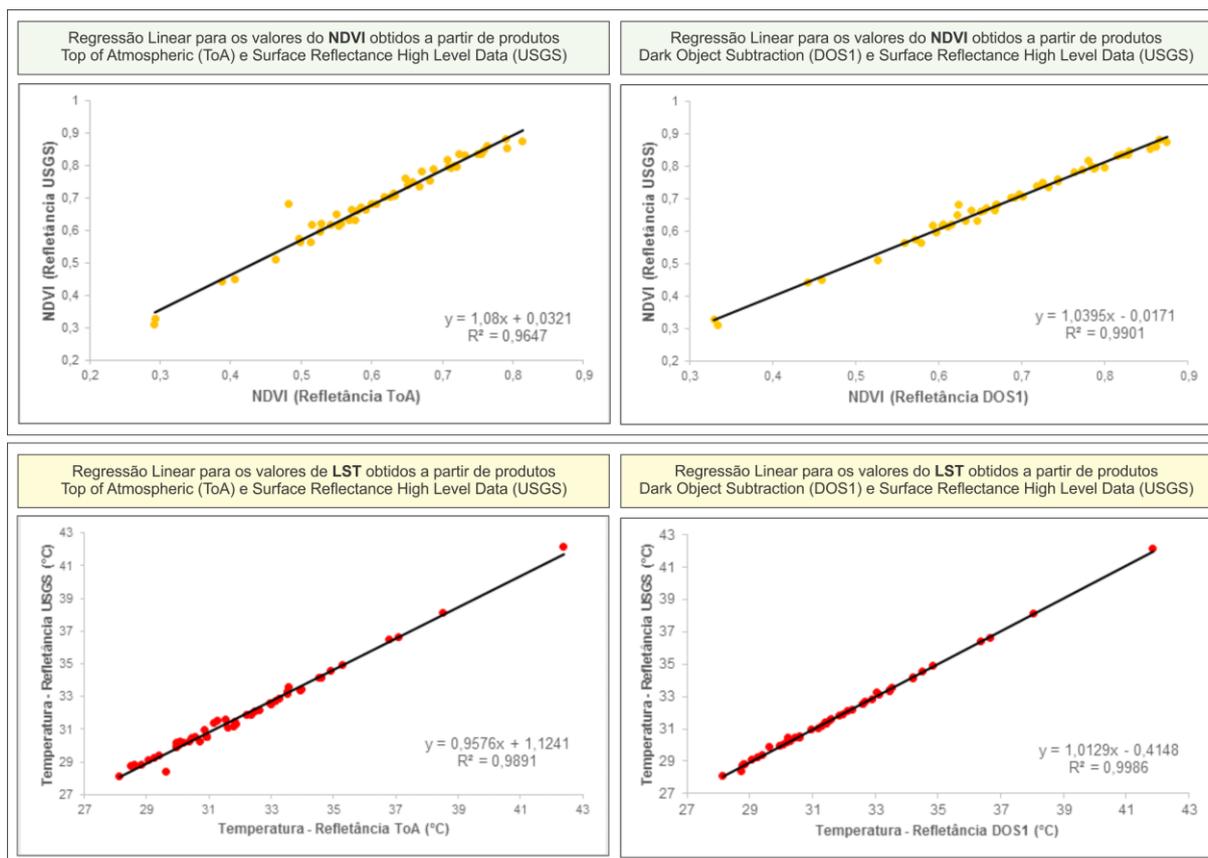


Figura 4. Regressão linear entre o NDVI e a LST obtidos com o uso de diferentes produtos.

Verificou-se que, dentre os produtos do NDVI analisados, aquele gerado com os dados corrigidos pelo método DOS1 apresentou uma melhor relação com os dados da USGS, pois os valores foram de 96,47% (ToA) para 99,01% (DOS1) (Figura 4a e 4b). Deste modo, é importância realizar a correção atmosférica para calcular o NDVI, conforme verificado por Agapiou et al. (2011). No caso das médias e desvios padrão, os valores do NDVI, seja com o DOS1, seja com a ToA, apresentaram-se abaixo dos valores do produto da USGS; já para a LST, os valores dos produtos DOS1 e ToA foram superiores à aqueles encontrados para a temperatura com os dados da USGS. Não obstante, embora os resultados do método DOS1 tenham apresentado melhor relação com os dados da USGS, deve-se atentar para uma possibilidade da baixa interferência atmosférica na imagem escolhida. Portanto, esse resultado pode variar de cena para cena. Vale ressaltar que o DOS1, ainda, é um método que pode ser empregado em imagens coletadas por outros sensores, que não fornecem valores acurados de refletância de superfície como a USGS passou a fazer com o Landsat 8.

No caso da temperatura de superfície (LST), os valores relacionaram-se com uma maior proximidade: 98,91% para a ToA e; 99,86% para o DOS1. Isso, conforme ponderado, pode ser explicado ou em razão do baixo valor da emissividade utilizada para a correção, ou pela baixa interferência atmosférica da cena analisada. Apesar disso, recomenda-se somente o uso dos produtos atmosféricamente corrigidos para ambos os casos.

#### 4. Conclusões

A comparação entre os produtos obtidos a partir das refletâncias utilizadas (ToA, DOS1 e USGS) permitiu estimar quantitativamente uma diferença entre os valores dos dados de NDVI e da temperatura de superfície. Ao assumir que os dados de refletância disponibilizados pela

USGS são os mais acurados, a comparação via regressão linear simples envolvendo 50 pontos aleatórios na cena, determinou um coeficiente ( $r^2$ ) igual a 0,9647 para o NDVI e 0,9891 para a LST quando estimados com o uso da refletância ao topo da atmosfera (ToA), e; 0,9901 para o NDVI e 0,9986 para a LST obtidos com o produto atmosféricamente corrigido pelo DOS1.

Conclui-se que a imagem corrigida dos efeitos da atmosfera pelo método DOS1 apresenta menor variação em relação à imagem corrigida pela USGS, quando comparada à imagem sem essa correção. Assim, a partir do caso deste estudo, conclui-se que é importante minimizar os efeitos da atmosfera tanto durante a elaboração de produtos NDVI quanto de temperatura de superfície. Recomenda-se que estudos futuros reproduzam o método aplicado nesse trabalho, porém, considerando um mosaico de imagens, bem como imagens de diferentes épocas, uma vez que caracterizam cenários com diferentes condições atmosféricas.

## Referências Bibliográficas

Agapiou, A. Hadjimitsis, D.G.; Papoutsas, C.; Alexakis, D.D.; Papadavis, G. The Importance of Accounting for Atmospheric Effects in the Application of NDVI and Interpretation of Satellite Imagery Supporting Archaeological Research: The Case Studies of Palaepaphos and Nea Paphos Sites in Cyprus. **Remote Sensing**. n. 3, p. 2605-2629, 2011.

Congedo, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**, Release 4.8.0.1. Semi-Automatic Classification Plugin's (SCP) User Manual doc. for QuantumGIS. Disponível em: <<https://semiautomaticclassificationmanual-v4.readthedocs.io/en/latest/>>. Acesso em: 10. out. 2016.

Chavez, P.S. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [Falls Church, Va.] **American Society of Photogrammetry**, n. 62, p. 1025-1036, 1996.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

NASA – National Aeronautics and Space Administration (Ed.) **Landsat 7 Science Data Users Handbook**. Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt. 2011. 186p.

Ndossi, M.I.; Avdan, U. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. **Remote Sensing**. n. 8, p. 413, 2016.

Sinha, S.; Pandey, P.C.; Sharma, L.K.; Nathawat, M.S.; Kumar, P.; Kanga, S. Remote estimation of land surface temperature for different land use features of a moist deciduous tropical forest region. **Remote Sensing Applications in Environmental Research**; Springer: Berlin, Germany; Heidelberg, Germany, p. 57–68, 2014.

Sobrino, J.; Raissouni, N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. **Int. J. Remote Sensing**. n. 21, 353p–366p. 2000.

USGS – United States Geological Service. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Department of the Interior U.S. Geological Survey. EROS Sioux Falls, South Dakota. 2016. 98p. (LSDS-1574. V. 2.0).

USGS – United States Geological Service. Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)>. Acesso em: 12. out. 2016.

Weng, Q.; Lu, D. Schubring, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Science Inc., Box 882. n. 4, p. 467–483, 2004.

Wang, F.; Qin, Z.; Song, C.; Tu, L.; Karnieli, A.; Zhao, S. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. **Remote Sensing**. n. 7, p. 4268–4289, 2015.