MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO COM IMAGENS SENTINEL-2 E LANDSAT-8

César de Oliveira Ferreira Silva [1], Rodrigo Lilla Manzione [2], José Luiz Albuquerque Filho [3]

[1]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, Brasil. Email: cesaroliveira.f.silva@gmail.com; [2]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, SP, Brasil. Email: manzione@tupa.unesp.br; [3]Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A, São Paulo, SP, Brasil. Email: albuzelu@ipt.br

RESUMO

A modelagem de evapotranspiração (ET) foi realizada por meio do algoritmo SAFER (Surface Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) com imagens de satélite Landsat e Sentinel-2 do mesmo dia (26 de novembro de 2016), no Sudeste do Brasil, avaliando se houve diferenças significativas entre essas fontes de dados radiométricos. O albedo superficial variou de 0,12 a 0,29. O NDVI variou de -0,43 a 0,85. Evapotranspiração atingiu até 4,7 mm e a temperatura superficial variou entre 300 e 345 K. Não houve diferença significativa entre a utilização do Sentinel-2 e Landsat-8 para modelagem do albedo superficial nem entre o uso da banda termal e do método residual com reflectâncias do Landsat-8, mas houve para o NDVI, evapotranspiração e outros casos da temperatura superficial.

Palavras-chave **—**uso da água, irrigação, R

ABSTRACT

Evapotranspiration (ET) modeling was performed by the so-called SAFER algorithm (Surface Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) with satellite images of Landsat-8 and Sentinel-2 of the same day (November 26, 2016) in Southeastern Brazil, evaluating whether there were significant differences between those sources of radiometric data. The surface albedo ranged from 0,12 to 0,29. NDVI ranged from -0,43 to 0,85. Evapotranspiration reached 4.7 mm and a surface temperature varying between 300 and 345 K. Evapotranspiration reached up to 4.7 mm and the surface temperature varied between 300 and 345 K. There was no significant difference between the use of Sentinel-2 and Landsat-8 for modeling the superficial albedo nor between the use of the thermal band and the residual method with Landsat-8 reflectances, but there was for NDVI, evapotranspiration and other cases of surface temperature.

Keywords **—** *Water use, irrigation, R.*

1. INTRODUÇÃO

Medições de campo visando-se determinar parâmetros essenciais à irrigação, como evapotranspiração, tem sido realizadas por diferentes métodos no Brasil, porém, estas medições pontuais falham na representação espacial dos resultados, algo que gera impacto na avaliação final, já que a variabilidade dos parâmetros hídricos em larga escala é significante, causada por diferentes quantidades de precipitação, irrigação, desenvolvimento da vegetação características hidráulicas dos solos, tipos de vegetação e densidades de plantio [1-7].

O sensoriamento remoto é reconhecido como o meio mais viável para obter informações regionais de evapotranspiração na superfície terrestre. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permite a determinação espacializada da evapotranspiração [1-7].

Observações históricas e modelos, têm demonstrado evidências das alterações nos sistemas climáticos, em várias regiões do mundo, as quais têm sido atribuídas às atividades humanas [8]. Além disso, a expansão da agricultura vem causando grandes mudanças no uso da terra, nos cursos de água e nos lençóis freáticos [3-5]. Considerando estes cenários, a utilização dos recursos hídricos não deve mais ser considerada apenas em escala local, sendo necessário conhecer o comportamento das componentes do balanço hídrico, balanço de radiação, dos fluxos de energia de áreas de complexa dinâmica de uso e ocupação da terra. Nesse contexto, uma alternativa é o uso conjunto de dados agrometeorológicos e modelos espaciais como o SAFER [2], que também utilizam dados extraídos de satélites, para modelar a evapotranspiração para áreas maiores com confiabilidade.

Assim, este trabalho teve como objetivo aplicar o algoritmo SAFER em imagens digitais Sentinel-2 (sem banda termal) e Landsat-8 (com e sem banda termal) de mesma data, avaliando se houve diferenças significativas entre as duas fontes de dados radiométricos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é composta por quatro bacias hidrográficas e contem a Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), latitude 24º 48´ S e longitude 49º 13´ O, no município de Águas de Santa Bárbara – São Paulo – Brasil, participando da unidade hidrográfica do rio Pardo (ao sul da área de estudo), na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17). As bacias tem uso da terra variado, contendo agricultura, silvicultura, pastagem, floresta (Cerrado) e área urbana [9].

Para a modelagem da evapotranspiração (ET), o algoritmo SAFER foi aplicado na área de estudo em imagens de satélite Sentinel-2 e Landsat-8 do dia 26 de novembro de 2016. Foram obtidos o albedo planetário (α_p, por meio de correção atmosférica "TOA" ou "Top Of Atmosphere"), albedo de superfície (α_0, por meio da sua correlação com o albedo planetário) de acordo com a literatura [2-4]. Também foi obtido o NDVI (Índice de Diferença de Vegetação Normalizada).

A temperatura de superfície pode ser obtida utilizando as bandas termais (I) ou por meio do método residual (II).

Para realizar o método I, radiâncias espectrais (L_b) das bandas 10 (L_{10}) e 11 (L_{11}) foram convertidas em temperaturas radiométricas aplicáveis ao topo da atmosfera (T_b, K) pela inversão da lei de Planck em 10,6 a 11,19 µm (banda 10) e largura de banda de 11,5 a 12,51 µm (banda 11), como a Equação 1:

$$T_b = \frac{K_2}{ln\left(\frac{K_1}{L_b + 1}\right)} \quad (1)$$

em que K_1 (774,89 e 480,89) e K_2 (1321,08 e 1201,14) para as bandas 10 e 11, respectivamente.

A partir da média dos valores de T_b das duas bandas foi considerada a temperatura de brilho (T_b), que se correlaciona com a temperatura superficial (T_0, K) através da Equação 2 [2]:

$$T_0 = 1.0694\, T_b - 20{,}173 \quad (2)$$

Já utilizando o método residual (II), derivado da Equação de Planck [7], utilizam-se apenas dados agrometeorológicos e radiométricos, como visto na Equação 3:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_A \sigma T_A^4 + a_L \tau_{sw}}{\varepsilon_S \sigma}} \quad (3)$$

sendo τ_{sw}, a_L, ε_A e ε_S respectivamente a transmissividade atmosférica, seu coeficiente e as emissividades atmosférica e superficial (modeladas e validadas em [2]) e σ a constante de Stefan-Boltzmann (5,67.10^{-8} W m^{-2} K^{-4}).

Calculou-se a relação $\frac{ET}{ET_0}$ diários seguindo a Equação 4.

$$\frac{ET}{ET_0} = exp\left[a + b\left(\frac{T_0}{\alpha_0 . NVDI}\right)\right] \quad (4)$$

onde a e b são coeficientes de regressão calibrados para a região de estudo, utilizou-se, respectivamente, os valores de 1,9 e -0,008 [2].

O produto da razão obtida na Equação 4 com valor diário medido da evapotranspiração de referência é a evapotranspiração real (ET_A, mm dia^{-1}) diária, como na Equação 5:

$$ET_A = \frac{ET}{ET_0} ET_0 \quad (5)$$

onde ET_0 é a evapotranspiração de referência diária (mm).

A diferença entre os resultados dos dois satélites foi avaliada por meio do teste-t. Todo o processamento digital de imagens e avaliação estatística foi realizada através do software R 3.5.0 [10].

3. RESULTADOS

A Figura 1 mostra a distribuição espacial do albedo superficial e do NDVI obtida de cada satélite. A Figura 2 mostra a distribuição espacial da temperatura superficial e da evapotranspiração atual obtida de cada satélite (e com a banda termal do Landsat-8). O albedo superficial variou de 0,12 a 0,29. O NDVI variou de -0,43 a 0,85. A evapotranspiração atingiu 4,7 mm e a temperatura superficial variou entre 300 e 345 K.

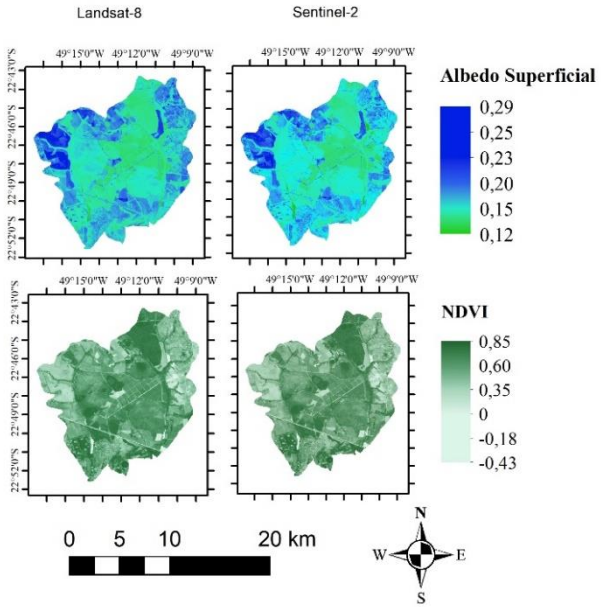


Figura 1. Distribuição espacial do albedo superficial e NDVI no dia 26 de novembro de 2016 obtidos com imagens dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8.

Por meio do teste-t, com amostra de 10.532 pixels e valor crítico de -1,95, analisou-se a diferença entre as modelagens de diferentes fontes. Não houve diferença significativa entre a utilização do Sentinel-2 e Landsat-8 para modelagem do albedo superficial nem entre o uso da banda termal e do método residual com reflectâncias do Landsat-8. Em contrapartida, houve diferença significativa entre o Sentinel-2 e Landsat-8 para modelagem do NDVI, temperatura superficial e evapotranspiração.

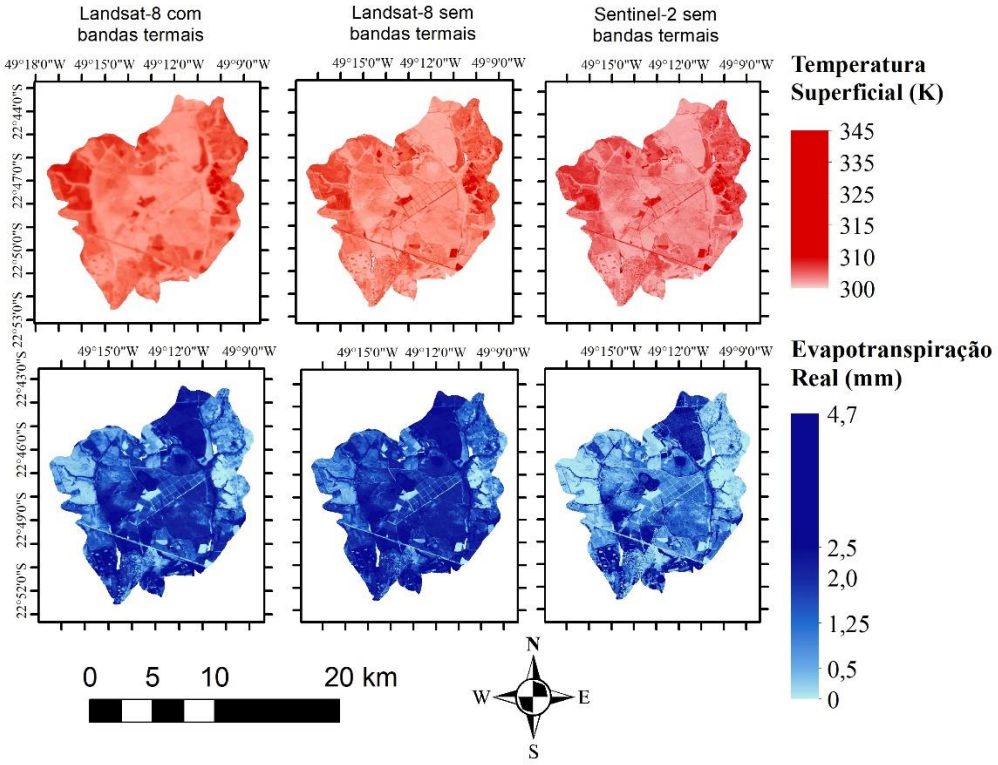


Figura 2. Distribuição espacial da temperatura superficial e evapotranspiração real no dia 26 de novembro de 2016 obtidos com imagens dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8 e dados agrometeorológicos.

4. DISCUSSÃO

Os balanços de radiação de ondas curtas entre diferentes usos da terra são fortemente afetados pelo albedo de superfície [3]. Valores baixos de albedo indicam maior energia disponível. Além do tipo de vegetação, o albedo também é influenciado pela umidade do solo e manejo da cultura [4-6], porém trabalhos utilizando o SAFER [1,11] já verificaram que o albedo tem menor capacidade de distinção de feições que os outros parâmetros da Equação 4, indicando que a falta de diferença dos resultados de diferentes satélites era previsível. O NDVI foi mais sensível e apresentou maior heterogeneidade. Os menores valores de NDVI foram concentrados na vegetação natural e os maiores valores na cana-de-açúcar e eucalipto. Devido à maior resolução espacial das imagens digitais Sentinel-2, pequenas áreas úmidas e manchas de vegetação são identificadas e diferem dos resultados do Landsat-8.

A temperatura superficial obtida com o método residual usando imagens Landsat-8 não possui diferença significativa em relação aos resultados obtidos com as bandas termais, com isso, já que o algoritmo SAFER foi inicialmente calibrado usando as bandas termais do Landsat [2], é possível ter confiança no uso do método residual em imagens Landsat para a área de estudo deste trabalho. A confiabilidade dos resultados sem banda termal é uma vantagem, já que assim mantem-se a resolução espacial de 30 metros (pois as bandas termais tem resolução de 100 metros). A diferença entre os resultados do método resitual com Sentinel-2 e Landsat-8 indicam o impacto da resolução espacial, pelas evidências de maior reconhecimento de feições através do NDVI e temperatura superficial.

5. CONCLUSÕES

A utilização do método residual para imagens Landsat-8 mostrou-se eficiente por não gerar diferença significativa comparada aos resultados utilizando bandas termais. A diferença entre resultados de NDVI e temperatura superficial geraram diferença na evapotranspiração entre satélites, indicando impacto da resolução espacial.

A disponibilidade de sensores multiespectrais de nova geração a bordo das plataformas dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 permite análises com séries de dados de maior resolução temporal ao se associar os mapeamentos desses dois sensores, gerando oportunidades de estudos sobre a dinâmica espaço-temporal de fenômenos ambientais em locais que enfrentam problemas frequentes de cobertura de nuvens. No entanto, as características radiométricas desses novos sensores - embora semelhantes - não são idênticas e podem produzir diferenças significativas nas grandezas radiométricas detectadas.

Em estudos futuros, o SAFER pode ser aplicados em locais com dados de evapotranspiração real medidos para verificar qual satélite realiza a melhor modelagem.

6. REFERÊNCIAS

[1] Teixeira, A. H. C., Scherer-Warren, M., Hernandez, F. B. T., Andrade, R.G., Leivas, J.F. Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. *Remote Sensing*, v. 5, p. 5783-5804, 2013.

[2] Teixeira, A. H. C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. *Remote Sensing*, n. 2, v. 4, p. 1287-1319, 2010.

[3] Teixeira, A. H. C.; Leivas, J. F.; Ronquim, C. C.; Victoria, D. C. Sugarcane Water Productivity Assessments in the São Paulo state, Brazil. *International Journal of Remote Sensing Applications*, v. 6, p. 84-95, 2016.

[4] Teixeira, A. H. C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Ahmad, M.; Bos, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 462–476, 2009.

[5] Teixeira, A. H. C.; Leivas, J. F.; Silva, G. B. Options for using Landsat and RapidEye satellite images aiming the water productivity assessments in mixed agro-ecosystems. *Proceedings of SPIE*, v. 9998, p. 99980A-1-99980A-11, 2016.

[6] Teixeira, A. H. C.; Leivas, J. F.; Hernandez, F. B. T.; Franco, R. A. M. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 11, p. 016030-1-016030-15, 2017.

[7] Coaguila, D. N.; Hernandez, F. B. T.; Teixeira, A. H. C.; Franco, R. A. M.; Leivas, J. F. Water productivity using SAFER - Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving in watershed. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, p. 524-529, 2017.

[8] IPCC: Climate Change 2014: *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. PichsMadruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

[9] Manzione, R. L. Identificação de tendências em níveis freáticos frente às anomalias climáticas ocorridas entre 2014 e 2016 em área de conservação de cerrado na região hidrográfica do Médio Paranapanema/SP. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 38, p. 68-85, 2018.

[10] R Development Core Team. *R*: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: < http://www.R-project.org>.

[11] Teixeira, A.H. C.; Padovani, C.R.; Andrade, R.G.; Leivas, J.F.; Victoria, D. C; Galdino, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. *Remote Sensing*, v.7, p. 14597-14619, 2015.