

Estimativa da evapotranspiração real diária para o município de São Gabriel do Oeste-MS utilizando imagens orbitais

Carlos Eduardo Vizzotto Cattani¹, Bruno Bonemberger da Silva¹, Lucas Volochen Oldoni¹,
Erivelto Mercante¹, João Francisco Gonçalves Antunes², Júlio César Dalla Mora
Esquerdo²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - UNIOESTE
Cascavel - Paraná - Brasil

²EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Email autor correspondente: kaducattani@hotmail.com

Artigo enviado em 22/03/2017, aceito em 30/05/2017.

Resumo: Estimativas de evapotranspiração real são informações importantes, pois podem fornecer aporte aos gestores agrícolas no manejo de culturas e na previsão da produtividade. Este trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração real diária (ET_r) para o município de São Gabriel do Oeste, que é um grande produtor agrícola do estado de Mato Grosso do Sul. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, OLI/TIRS e o algoritmo SEBAL, alimentado com dados de estações meteorológicas. O algoritmo SEBAL calcula a ET_r a partir do fluxo de calor latente (LE), o qual é estimado a partir do balanço de energia da superfície. Por meio deste algoritmo foram gerados os mapas dos parâmetros estatísticos, calculados para as diferentes classes de uso e cobertura da terra em São Gabriel do Oeste. As maiores médias de valores de ET_r foram encontradas em áreas de vegetação nativa, seguidos de valores próximos para água e agricultura, enquanto que as menores médias de valores foram encontradas em áreas urbanas e solo exposto. A ET_r teve comportamento semelhante ao encontrado para a LE. O algoritmo SEBAL utilizando dados de superfície e imagens do Landsat-8, OLI/TIRS, apresentou-se como uma ferramenta eficiente e de baixo custo para o monitoramento da ET_r.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagens, balanço de energia.

Estimation of daily real evapotranspiration for the municipality of São Gabriel do Oeste-MS using orbital images

Abstract: Estimated evapotranspiration data are important information because they can provide support to agricultural managers in the for crop yield forecasting. This study aimed to estimate the daily actual evapotranspiration (ET) in the municipality of Sao Gabriel do Oeste, one of the greatest agricultural producers of Mato Grosso do Sul State, Brazil, using SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) algorithm and data from weather databases and Landsat-8, OLI/TIRS images. SEBAL algorithm calculates the daily evapotranspiration from the latent heat flux (LE), which is estimated by the surface energy balance. Using data provided by SEBAL, maps of statistical parameters were generated considering different land use and land cover classes in Sao Gabriel do Oeste. The highest average ET_r values were observed in areas of native vegetation, followed by water bodies and crop lands. The lowest average values were found in urban and bare soil areas. Similar pattern was found for LE, with highest

verage values for native vegetation, water bodies and crop lands and lowest average values for urban and bare soil areas, respectively. The use of SEBAL algorithm combined with field data and Landsat-8, OLI/TIRS images showed satisfactory low-cost/high-benefit results for monitoring the daily actual evapotranspiration.

Key-words: remote sensing, image processing, energy balance.

Introdução

Os produtos oriundos da agricultura estão entre os principais *commodities* do mercado global (FAO, 2017). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a partir da safra 2011/2012 a região Centro-Oeste destacou-se como o polo de maior produção de grãos no Brasil, com estimativa de cerca de 90 milhões de toneladas de cereais no ano de 2015, sendo o estado do Mato Grosso do Sul responsável por cerca de 20% da produção total da região, produzindo cerca de 17 milhões de toneladas no ano de 2015 (CONAB, 2016). O município de São Gabriel do Oeste, localizado na região centro norte do Mato Grosso do Sul, destaca-se como grande produtor de grãos, com 1,04 milhões de toneladas de grãos produzidas no ano de 2015, o que correspondeu a aproximadamente 6% da produção total do estado (IBGE, 2016).

Diante da crescente demanda de alimentos pelos mercados internos e externos, faz-se necessário um estudo detalhado sobre a dinâmica das culturas agrícolas e utilização da água na agricultura. Neste contexto o uso de geotecnologias pode fornecer aos agricultores e gestores agrícolas informações a respeito de recursos hídricos consumidos, escalas local, regional e nacional (ANDRADE et al., 2014).

A evapotranspiração (ET) é um componente importante para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos utilizados na agricultura. A detecção remota oferece uma abordagem viável e de baixo custo para determinar e mapear a ET em grandes escalas (ZHOU et al., 2016).

O algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) proposto por Bastiaanssen (2000) é um modelo que pode utilizar imagens de satélites e tem sido utilizado com êxito em diversos ecossistemas na obtenção da evapotranspiração (MACHADO et al., 2014; SPILIOTOPOULOS et al., 2017).

Devido as suas características, o SEBAL pode ser aplicado em dados radiométricos de qualquer sensor remoto orbital que efetue medidas de radiância no espectro do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal (BINDHU et al., 2013; ABRISHAMKAR e AHMADI, 2016), sendo também necessário a utilização das variáveis velocidade do vento e temperatura, as quais podem ser obtidas em estações meteorológicas, além do mapeamento do uso e cobertura da terra (PAPADAVID et al., 2013).

A USGS (*United States Geological Survey*) por meio da base de dados *Earth Explorer*, disponibiliza imagens Landsat sem custo para a comunidade científica, oferecendo uma fonte de dados para monitorar os eventos que ocorrem na superfície terrestre (CLAVERIE et al., 2015). Com mais de 30 anos de imagens o arquivo Landsat é um excelente banco

de dados para analisar a dinâmica da superfície terrestre ao longo do tempo (ROY et al., 2014).

Segundo Chemura et al. (2017) um dos produtos obtidos a partir das imagens orbitais são os índices de vegetação (IV), os quais podem ser definidos como combinações matemáticas de bandas espectrais de sensores que permitem ressaltar a resposta espectral da vegetação.

As bandas do vermelho e do infravermelho próximo fornecem informações espectrais úteis para acompanhamento do desenvolvimento da vegetação, pois com o aumento da cobertura vegetal, a refletância tende a diminuir na região do vermelho e aumentar na região do infravermelho próximo (SOUZA et al., 2015; JOHANN et al., 2016).

Tendo em vista estas características das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, os índices de vegetação exploram o contraste nos valores de refletância destas duas faixas espectrais, sendo diretamente relacionados a parâmetros agrônômicos, como o índice de área foliar (IAF) (BREUNIG et al., 2011), biomassa e cobertura vegetal (YAVAŞLI, 2016).

Um dos índices de vegetação mais comumente utilizados devido a sua robustez é o NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*), que utiliza as características das bandas do vermelho e do infravermelho próximo para fornecer informações sobre as condições da vegetação (ZHENG et al., 2015) e tem sido amplamente utilizado

para monitorar cobertura vegetal e mudanças nos ecossistemas (ZEWDIE et al., 2017).

Zhong et al. (2016) afirma que um dos processamentos de imagens mais utilizados para mapeamento é a classificação supervisionada. Esta técnica vem sendo utilizada para relacionar os valores espectrais de pixels com classes de cobertura no solo. Neste método o usuário identifica várias regiões conhecidas de interesse e o algoritmo de classificação escolhido extrapola essas características espectrais para classificar a imagem inteira (EGOROV et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi obter a estimativa da evapotranspiração real diária (ET_r) para o município de São Gabriel do Oeste - MS, com a utilização do algoritmo SEBAL e por meio de imagens do satélite Landsat 8, OLI/TIRS.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido para o município de São Gabriel do Oeste, localizado no estado do Mato Grosso do Sul, com latitude 19° 23' 37"S e longitude 54° 33' 49"W. O município pertence em sua maior parte as sub-bacias dos rios Aquidauana e Coxim, tributários do Rio Taquari. Estas redes de drenagem convergem para o Pantanal que se juntam e compõe o sistema hidrográfico da Bacia do Alto Paraguai (BAP), conforme ilustrado pela Figura 1, com destaque para o mapa de localização do município.

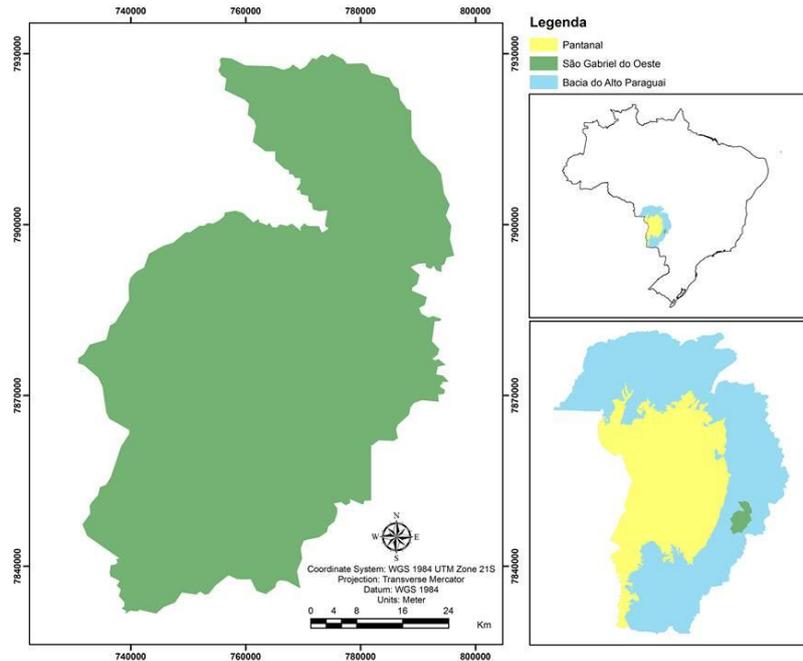


Figura 1. Mapa de localização do município de São Gabriel do Oeste - MS.

O clima da região é caracterizado como tropical úmido (Aw) segundo a classificação de Köppen, com precipitação média de 1200 mm e temperaturas máximas e mínimas de 33 a 19 °C, respectivamente (SCHIAVO et al., 2010). Os dados meteorológicos foram obtidos gratuitamente da estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) situada nas coordenadas de latitude 19° 25' 13" S e longitude 54° 25' 11" W, com altitude de 646 m, localizada no próprio município em estudo.

Os procedimentos para cálculos da estimativa da ETr, do índice de vegetação NDVI (ROUSE et al., 1973) e das classificações foram realizados a partir de imagens geradas pelos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que se encontram a bordo do satélite Landsat 8, que produz imagens com resolução espacial de 30 m para as bandas refletivas 1 a 7 (OLI), e 100 m nas bandas termais 10 e 11 (TIRS) (USGS, 2016).

O algoritmo SEBAL calcula a evapotranspiração horária a partir do fluxo de calor latente, sendo estimado como resíduo do balanço de energia na superfície (ALLEN et al., 2002), conforme Equação 1.

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

Em que: LE é fluxo de calor latente $W m^{-2}$; R_n é balanço de radiação na superfície $W m^{-2}$; G é fluxo de calor no solo $W m^{-2}$; e H é o fluxo de calor sensível $W m^{-2}$.

A seguir são explicitados os procedimentos principais do algoritmo SEBAL, detalhando-se somente as etapas necessárias à análise dos resultados. Para descrição completa, pode ser consultado o trabalho de Bastiaanssen (2000).

Para o saldo de radiação (R_n), o qual representa a radiação disponível na superfície, são considerados tanto a radiação de onda longa quanto a radiação de onda curta. Um fluxograma do processo é apresentado na Figura 2.

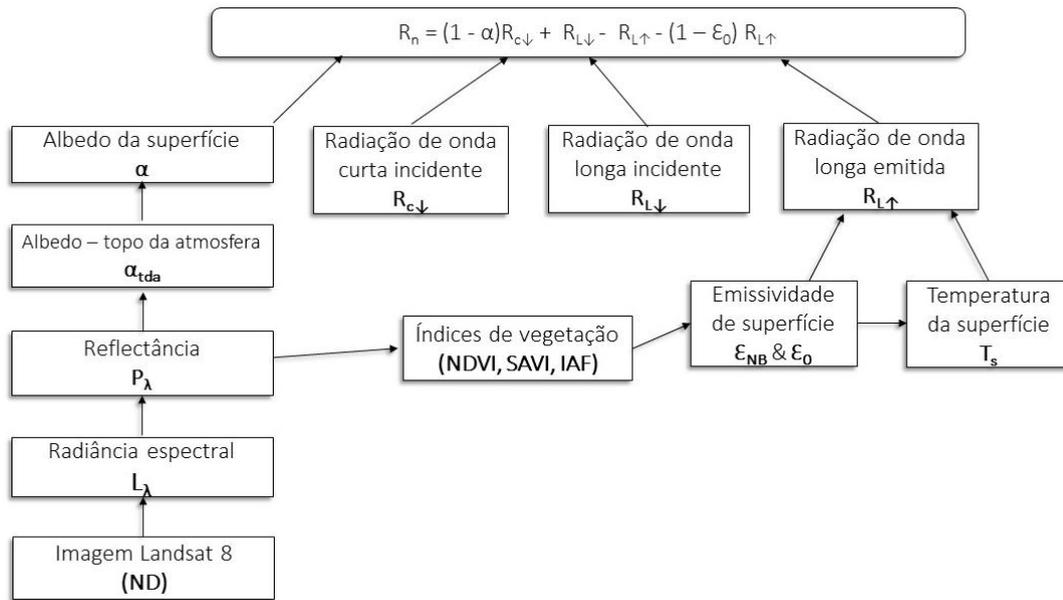


Figura 2. Fluxograma da metodologia de cálculo do saldo de radiação. Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002).

Utilizando a equação empírica apresentada por Bastiaanssen (2000), o fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$) pode ser

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98 NDVI^4) \right] R_n \quad (2)$$

Em que: T_s é a temperatura de superfície ($^{\circ}C$); α é o albedo da superfície (adimensional); NDVI é o índice de vegetação (adimensional); e R_n é o saldo de radiação ($W m^{-2}$).

A estimativa deste fluxo é feita com base na velocidade do vento, rugosidade e temperatura da superfície usando uma calibração interna da diferença da temperatura entre os dois níveis próximos à superfície, conforme Equação 3:

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (3)$$

Em que: ρ é a densidade do ar úmido ($kg m^{-3}$); C_p é o calor específico do ar à pressão constante ($1004 J Kg^{-1}$); dT é a diferença de temperatura (K) entre dois níveis; e r_{ah} é a resistência

obtido, representando valores próximos ao meio-dia, de acordo com a Equação 2:

aerodinâmica ao transporte de calor ($s m^{-1}$).

Esta equação apresenta a dificuldade em sua resolução, uma vez que existem duas incógnitas r_{ah} e dT . Para facilitar o cálculo, são escolhidos dois pixels denominados âncora (quente e frio) a partir das imagens de temperatura de superfície (T_s). Para o pixel quente, admite-se fluxo de calor latente nulo ($LE = 0$), enquanto para o pixel frio não há fluxo de calor sensível ($H = 0$). A escolha destes pixels auxilia na determinação da resistência aerodinâmica r_{ah} e a variação da temperatura (dT). O fluxograma do processo iterativo para a estimativa do fluxo de calor sensível (H) é representado na Figura 3.

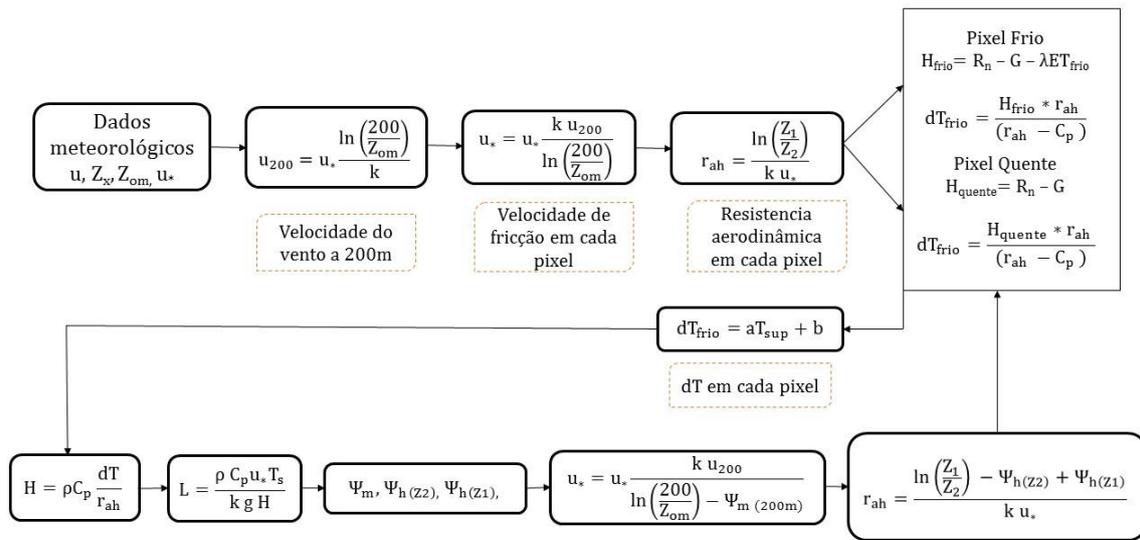


Figura 3. Fluxograma do processo iterativo para estimativa do fluxo de calor sensível (H).

O algoritmo SEBAL estima o fluxo de calor latente com o método residual da equação do balanço de energia. Portanto, uma vez obtidos os fluxos de calor sensível, no solo e o saldo de radiação, o calor latente pode ser obtido pela Equação 1, como já demonstrado anteriormente.

Para a obtenção da evapotranspiração real diária (ET_r), primeiramente calcula-se a evapotranspiração horária ET_h, dada pela razão entre fluxo de calor latente, e o calor latente de vaporização da água, e para conversão do valor instantâneo para valor horário, multiplicando-se a razão por 3600, conforme Equação 4 (ALLEN et al., 2002):

$$ET_h = 3600 \frac{LE}{\lambda} \quad (4)$$

O passo seguinte é a obtenção da fração de evapotranspiração de referência horária, $FET_{0,h}$, $ET_{h,0}$ é calculada pelo método da FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998), com dados da estação meteorológica utilizada, conforme Equação 5:

$$FET_{0,h} = \frac{ET_h}{ET_{0,h}} \quad (5)$$

Considerando o valor da $FET_{0,h} = FET_{0,24}$, uma vez o comportamento de $FET_{0,h}$ é relativamente constante em todo o período diurno (Allen et al., 2002). Logo, a ET_r diária é dada pela Equação 6:

$$ET_r = FET_{0,h} ET_{0,24} \quad (6)$$

Em que: ET_r é a evapotranspiração real diária (mm dia⁻¹); $FET_{0,h}$ é a fração de evapotranspiração real diária; e ET_{0,24} é a evapotranspiração de referência diária, calculada com metodologia similar à da $FET_{0,h}$.

O processamento das imagens de satélite utilizadas neste trabalho, da data de 16 de Junho de 2016 (dia juliano 167), foi realizado no software ENVI 4.8, com a ferramenta de matemática de bandas.

Por meio de composições coloridas das bandas do infravermelho próximo, do infravermelho médio e do vermelho (RGB-564), foram coletadas

amostras de pixels que correspondessem a solo, pastagem, mata, água e agricultura. A partir destas amostras realizou-se a classificação supervisionada com o algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança). Vale ressaltar que, de forma geral, a classe de solo abrange desde solo com palhada comum em cultivo com plantio direto, até os solos revolvidos por uma operação agrícola.

Resultados e Discussão

A Figura 4 apresenta o mapa temático com o resultado de uso e cobertura da terra do município do São Gabriel do Oeste - MS, com área de 3865 km². O método de classificação utilizou a abordagem “pixel a pixel” com o algoritmo MaxVer, onde foram identificadas seis classes predominantes na imagem e sua porcentagem em relação a área total: Área urbana (0,29 %), solo (13,63 %), pastagem (23,72 %), mata (19,95 %), água (0,11 %) e agricultura (14,59 %).

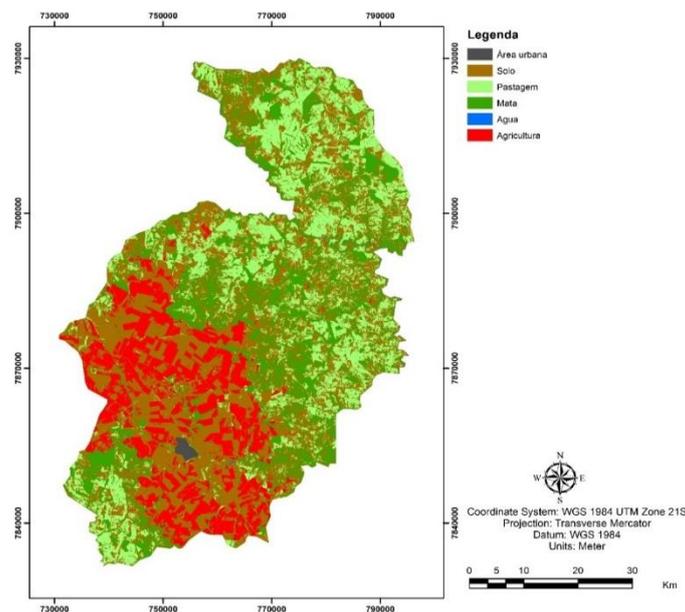


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra do município de São Gabriel do Oeste - MS.

Os componentes de balanço de energia (R_n , H , LE e G) correspondem aos resultados de maior importância do algoritmo SEBAL. Na Tabela 1 estão os

valores médios para os fluxos de energia de saldo de radiação, fluxo de calor no solo, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente para o dia juliano 167.

Tabela 1: Valores dos fluxos de radiação do município de São Gabriel do Oeste - MS.

| | | Solo | Pastagem | Mata | Água | Agricultura | Área Urbana |
|-------|---------------------|------|----------|------|------|-------------|-------------|
| R_n | Méd ($W. m^{-2}$) | 459 | 461 | 471 | 469 | 460 | 444 |
| G | Méd ($W. m^{-2}$) | 68 | 55 | 53 | 54 | 55 | 63 |
| H | Min ($W. m^{-2}$) | 134 | 111 | 101 | 103 | 106 | 165 |
| LE | Min ($W. m^{-2}$) | 60 | 250 | 285 | 273 | 278 | 113 |

R_n - Fluxo de energia de saldo de radiação; G - Fluxo de calor no solo; H - Calor sensível; LE - Fluxo de calor latente

Percebe-se que as áreas de vegetação nativa e água apresentaram as maiores médias de LE e R_n , com valores de 285 W m^{-2} e 273 W m^{-2} para o fluxo de calor latente, e 471 W m^{-2} e 469 W m^{-2} para os valores de R_n , respectivamente. A menor média está localizada na área urbana do município de São Gabriel do Oeste - MS (444 W m^{-2}), porém apresentou a maior média para fluxo de calor sensível (165 W m^{-2}) e alto valor de fluxo de calor no solo (63 W m^{-2}), valor apenas superado pelas áreas de solo exposto (68 W m^{-2}).

Padrão de valores semelhantes foi encontrado por Machado et al. (2013), com altos valores de R_n e LE para corpos

hídricos e vegetação e solo exposto apresentando altas médias de H. Segundo os autores, constatou-se que regiões de maiores valores de R_n utilizam uma maior porcentagem deste componente do balanço de energia para o processo de perda de água na superfície. Por outro lado, solo exposto utiliza maior porcentagem de R_n para processo de aquecimento do ar (H).

A Tabela 2 e a Figura 5 apresentam, respectivamente, as estatísticas e a distribuição espacial da evapotranspiração real diária (ETr) para o município de São Gabriel do Oeste - MS.

Tabela 2. Evapotranspiração real diária (ETr) do município de São Gabriel do Oeste-MS no dia juliano 167.

| Classe | ETr | | | |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| | Mínima (mm dia ⁻¹) | Máxima (mm dia ⁻¹) | Média (mm dia ⁻¹) | CV (%) |
| Solo exposto | 0,03 | 0,92 | 0,42 | 26,45 |
| Pastagem | 1,84 | 5,34 | 2,81 | 25,48 |
| Mata | 1,28 | 8,87 | 6,89 | 35,21 |
| Água | 2,94 | 7,20 | 6,42 | 16,25 |
| Agricultura | 2,46 | 5,25 | 3,97 | 8,65 |
| Área Urbana | 0,51 | 3,12 | 1,10 | 24,71 |

CV- Coeficiente de variação

Analisando visualmente e espacialmente a Figura 5, pode-se observar que os menores valores de ETr encontram-se em áreas urbanizadas e solo com médias de 1,10 e 0,42 mm dia⁻¹, respectivamente. Essas áreas estão representadas em tons de laranja. Regiões de pastagens apresentam valores intermediários de ETr com média de 2,81 mm dia⁻¹, representadas no mapa em tons de amarelo. A maior média encontrada foi para mata nativa

de 6,89 mm dia⁻¹, representada em tons de verde escuro, com padrão semelhante ao fluxo de calor latente. De acordo com Allen et al. (2002), os maiores valores são esperados em corpos hídricos, porém pode existir a ocorrência de confusão espectral dos pixels desta classe com alvos adjacentes, sendo a segunda maior média de 6,42 mm dia⁻¹, ficando muito próximo a mata nativa, também representados por tons de verde escuro e azul.

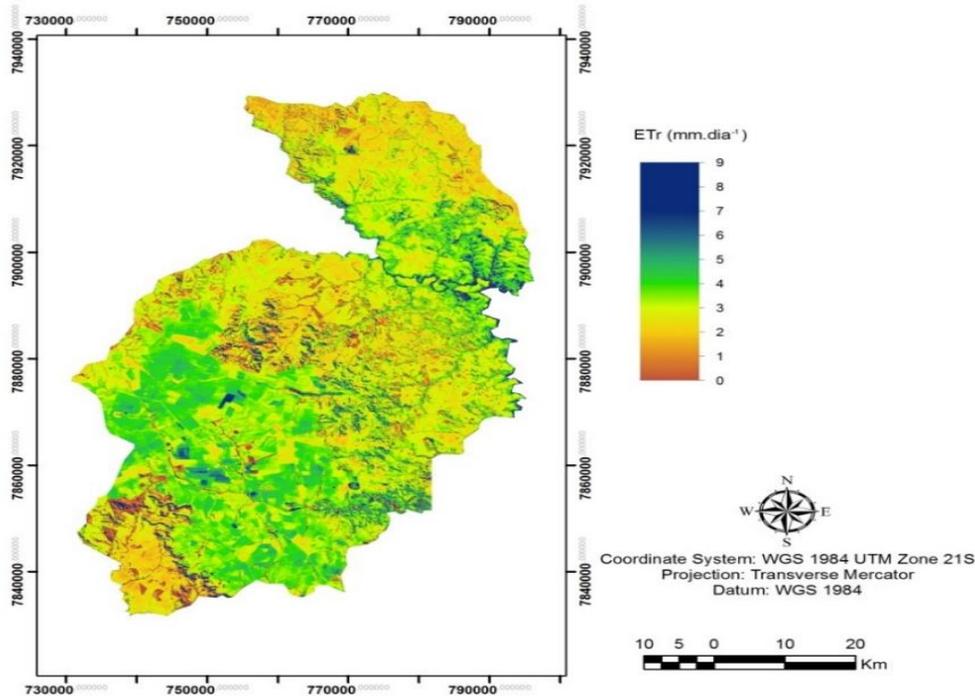


Figura 5. Evapotranspiração real diária (ETr) no município de São Gabriel do Oeste - MS para o dia juliano 167.

As áreas de agricultura apresentaram valores de ETr em média de $3,97 \text{ mm dia}^{-1}$, representadas em tons de verde claro. Destaca-se que esse cálculo, realizado no dia juliano 167 (16 de junho de 2016), pode servir de base para o desenvolvimento de trabalhos que tenham o propósito de estimar a quantidade de irrigação a ser utilizada em lavouras agrícolas diariamente, ou em períodos críticos de severas estiagens. Destaca-se ainda, que estimativas de evapotranspiração real são variáveis presentes em algoritmos de balanço de energia e de previsões de produtividade para culturas agrícolas, demonstrando assim a sua relevante importância.

Conclusões

Por meio do SEBAL foi possível estimar os valores de evapotranspiração real diária (ETr) no município de São Gabriel do Oeste, para seis diferentes tipos de classes de solo, obtendo as maiores médias de ETr e LE para as

classes de mata, água e agricultura, respectivamente.

O algoritmo alimentado por dados de caráter sinóptico, repetitivo e de larga escala mostrou ser uma ferramenta eficiente e de baixo custo para o monitoramento da ETr, contribuindo na diminuição dos riscos atrelados a produção agrícola e fornecendo aporte para gestão de recursos hídricos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Araucária/Parque Tecnológico Itaipu (FA/PTI) pelo apoio financeiro.

Referências

ABRISHAMKAR, M.; AHMADI, A. Evapotranspiration Estimation Using Remote Sensing Technology Based on SEBAL Algorithm. **Iranian Journal of**

Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. v. 1, n. 4, p. 1-12, 2016.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.** p. 1-15, 1998.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) - Advanced training and user's Manual.** p 1-98. Idaho, 2002.

ANDRADE, G. L.; SEDIYAMA, G.; SOARES, V. P.; GLERIANE, J. M.; MENEZES, S. J. M. C. ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO O SEBAL E IMAGENS LANDSAT. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 433-442, 2014.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

BINDHU, V. M.; NARASHIMHAN, B.; SUDHEER, K. P. Development and verification of a non-linear disaggregation method (NL-DisTrad) to downscale MODIS land surface temperature to the spatial scale of Landsat thermal data to estimate evapotranspiration. **Remote Sensing of Environment**. v. 135, p. 118- 129, 2013.

BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R., EPIPHANIO, J. C. N. Directional effects on NDVI and LAI retrievals from MODIS: A case study in Brazil with soybean, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 13, n. 1, p. 34-42, 2011.

CHEMURA, A.; MUTUNGA, O.; DUBE, T. Integrating age in the detection and

mapping of incongruous patches in coffee (*Coffea arabica*) plantations using multi-temporal Landsat 8 NDVI anomalies. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 57, p. 1–13, 2017.

CLAVERIE, M.; VERMOTE, E. F.; FRANCH, B.; MASEK, J. G. Evaluation of the Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ surface reflectance products. **Remote Sensing of Environment**. v. 169, p. 390-403, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries históricas de produtividade de grãos.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 jun de 2016.

DEPARTMENT OF THE INTERIOR U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK.** Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>> Acesso em: 07 jul de 2016.

EGOROV, A. V.; HANSEN, M. C.; ROY, D. P.; KOMMAREDDY, A.; POTAPOV, P. V. Image interpretation-guided supervised classification using nested segmentation. **Remote Sensing of Environment**. v.165, p. 135–147, 2015.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Commodities by country: relatório do ano de 2014.** Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 10 mar 2017.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção agrícola municipal - PAM.** Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 10 mar 2016.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; OPAZO, M. A. U.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital MODIS na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná – Brasil. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 36, n. 1, p. 126-142, 2016.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVINCIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM – Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 55-67, 2014.

PAPADAVID, G.; HADJIMITSIS, D. G.; TOULIOS, L.; MICHAELIDES, S. A Modified SEBAL Modeling Approach for Estimating Crop Evapotranspiration in Semi-arid Conditions. **Water Resources Management**, v. 27, n. 9, p. 3493–3506, 2013.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA, v.1, p. 309-317, 1973.

ROY, D. P.; WULDER, M., LOVELAND, T., WOODCOCK, C., ALLEN, R., ANDERSON, M., KENNEDY, R., Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154–172, 2014.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010.

SOUZA, C.H.W.; MERCANTE, E.; JOHANN, J.A.; LAMPARELLI, R.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 7, p. 1809-1824, 2015.

SPILIOTOPOULOS, M.; HOLDON, N. M.; LOUKAS, A. Mapping Evapotranspiration Coefficients in a Temperate Maritime Climate Using the METRIC Model and LandsatTM. **Water – Open Access Journal**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2017.

YAVAŞLI, D. D. Estimation of above ground forest biomass at Muğla using ICESat/GLAS and Landsat data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 4, p. 221–218, 2016.

ZEWDIE, W.; CSAPLOVICS, E.; INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v.79, p. 167–178, 2017.

ZHENG, B.; MYINT, S. W.; THENKABAIL, P. S.; AGGARWAL, R. M. A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 103–112, 2015.

ZHONG, L.; HU, L.; YU, L.; GONG, P.; BIGING, G. S. Automated mapping of soybean and corn using phenology Liheng. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 119, p. 151–167, 2016.

ZHOU, X.; HUANG, W.; KONG, W.; YE, H.; LUO, J.; CHEN, P. Remote estimation of canopy nitrogen content in winter wheat using airborne hyperspectral reflectance measurements. **Advances in Space Research**, v. 58, n. 9, p. 1627-1637, 2016.