



Estimativa de evapotranspiração real diária para o município de São Gabriel do Oeste utilizando algoritmo SEBAL e imagens Landsat 8

Bruno Bornemberger da Silva 1
Carlos Eduardo Vizzotto Cattani 1
Lucas Volochen Oldoni 1
Erivelto Mercante 1
João Francisco Gonçalves Antunes 2
Júlio César Dalla Mora Esquerdo 2

¹ Universidade Estadual do oeste do Paraná - UNIOESTE
PGEAGRI - Pós Graduação em Engenharia Agrícola
Rua Universitária, 2069 - Caixa Postal 701
85801-100 - Cascavel - PR, Brasil
{bruno.silva3, carlos.cattani, lucas.oldoni, erivelto.mercante}@unioeste.br

² Embrapa Informática Agropecuária
Av. Dr. André Tosello, 209 - Caixa Postal 6041
13083-886 - Campinas - SP, Brasil
{joao.antunes, julio.esquerdo}@embrapa.br

Resumo. Estimativas de evapotranspiração real são informações importantes para previsão de produtividade agrícola. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração real diária (ETr) em São Gabriel do Oeste, município de grande produção agrícola do Estado do Mato Grosso do Sul. Para o estudo foi utilizado o algoritmo SEBAL com dados de bases meteorológicas e imagens Landsat 8, imagens OLI/TIRS. Foram elaborados mapas dos parâmetros estatísticos, calculados para diferentes classes de ocupações do solo provenientes das imagens do Landsat 8. O algoritmo SEBAL calcula a evapotranspiração diária a partir do fluxo de calor latente, o qual é estimado a partir do balanço de energia da superfície. As maiores **médias** de valores de Calor Latente (LE) foram encontradas em áreas de vegetação nativa, seguidos de valores próximos para água e agricultura. Os valores médios mais baixos encontrados foram encontrados em áreas urbanas e solo exposto. A evapotranspiração real diária (ETr) teve comportamento semelhante a LE, com os maiores valores médios para vegetação nativa, água e agricultura, e os valores médios mais baixos foram encontrados nas áreas urbanas e em regiões com solo exposto, respectivamente. O algoritmo SEBAL utilizando dados de superfície e imagens do Landsat 8, imagens OLI/TIRS, apresentou resultados satisfatórios para monitoramento da evapotranspiração real diária (ETr).

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

Abstract. Actual evapotranspiration estimates are important information for forecasting agricultural productivity. In this context, this work aimed to estimate the daily evapotranspiration (ET_r) in Sao Gabriel do Oeste, county of great agricultural production of the Mato Grosso do Sul State. For the study were used the SEBAL algorithm with data from weather databases and data from Landsat 8, OLI/TIRS images. Maps were generated for statistical parameters calculated for different types of land cover. SEBAL algorithm calculates the daily evapotranspiration from the latent heat flux, this estimated by the surface energy balance. The highest means of latent heat (LE) were values found in areas of native vegetation, followed by water and agriculture. The lowest average values were found in urban and bare soil areas. Similar pattern was found for LE, with the highest average values for native vegetation, water and agriculture, the lowest values were also found in urban areas and with bare soil respectively. SEBAL algorithm presents satisfactory results for monitoring the daily actual evapotranspiration using surface data and Landsat 8, OLI/TIRS images.

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

1 - Introdução

A partir da safra 2011/2012 a região Centro-Oeste ultrapassou pela primeira vez a região Sul em produção e tornou-se a região que mais produziu grãos no Brasil com cerca de 71 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

A agricultura é uma atividade de elevado risco e significativas incertezas. Essas variáveis decorrem tanto da instabilidade de origem climática e das ameaças sanitárias, quanto das oscilações do mercado. Uma adequada gestão de riscos agrícolas pode afetar positivamente a estabilidade financeira da atividade. No entanto, essa gestão mostra-se complexa, exigindo, dentre outros, boa capacidade gerencial, elevado conhecimento tecnológico e sobre tudo um alto nível de informações permanentemente atualizadas (Guimarães e Nogueira, 2009).

O uso de tecnologias de geoprocessamento e do sensoriamento remoto podem fornecer aos agricultores e gestores agrícolas informações a respeito das lavouras, as quais diminuem os riscos da produção agrícola em escalas local, regional e nacional. Como exemplo citam-se, tomadas de decisões e as políticas públicas adotadas baseando-se em informações extraídas de imagens de satélite, como estimativa de áreas de cultivo e produtividade realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Com isso, o atual sistema de previsão de safras brasileiro tornou-se mais eficiente e dinâmico, permitindo aquisição de informações mais precisas, em tempo hábil e com melhor relação custo/benefício sobre a extensão territorial, e as condições de desenvolvimento e o potencial produtivo das culturas agrícolas (Motta et al., 2003).

Agricultores que utilizam da tecnologia de irrigação com intuito de amenizar os riscos de produção, devem ter conhecimento da evapotranspiração a qual representa as reais necessidades hídricas da cultura, atendendo desta forma os conceitos de desenvolvimento sustentável, evitando o desperdício dos recursos hídricos. Portanto, partindo-se de estimativas dos fluxos radiativos e energéticos de grandes áreas agrícolas, os quais podem ser obtidos por meio do sensoriamento remoto orbital, se torna possível primeiramente o entendimento da dinâmica deste fluxos no ambiente, mas principalmente a determinação destes componentes do balanço de energia permitem a estimativa de evapotranspiração. Além disso, essa variável é uma componente essencial em modelos hidrológicos, usada ainda para estimativa de umidade no solo, variável de entrada para modelos de previsão do clima e inundações (Allen et al., 2007).

Para estimar a evapotranspiração real (ET_r) em diversos tipos de ecossistema vem sendo utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) proposto por Bastiaanssen (2000), que 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, sendo necessário também a utilização das variáveis velocidade do vento e

temperatura, as quais podem ser obtidas em estações meteorológicas, além do mapeamento do uso e ocupação do solo.

Um dos produtos que pode ser utilizado do sensoriamento remoto para tais fins, são os índices de vegetação, os quais podem ser definidos como combinações matemáticas de bandas espectrais de sensores que permitem ressaltar a resposta espectral da vegetação em relação à resposta espectral de outros alvos, como por exemplo, o solo (Jackson, 1983).

Os índices de vegetação são diretamente relacionados a parâmetros agronômicos, como o índice de área foliar (IAF) (Breunig et al., 2011), biomassa e cobertura vegetal (Huete et al., 2002). Segundo Ponzoni (2001), as bandas do vermelho e infravermelho próximo fornecem mais de 90% das informações espectrais da vegetação. Com o aumento da cobertura vegetal, a refletância tende a diminuir na região do vermelho e aumentar na região do infravermelho próximo. Com isso, os índices de vegetação exploram o contraste nos valores de refletância destas duas faixas espectrais (Huete, 1999). Dentre as técnicas de processamento de imagens, uma das mais utilizados para mapeamento é a classificação supervisionada, que é um procedimento usado para identificar alvos espectralmente semelhantes numa imagem. O usuário identifica várias regiões conhecidas de interesse e o algoritmo escolhido extrapola essas características espectrais para classificar a imagem (Castillejo - González et al, 2009).

2 - Objetivo

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, sensor OLI/TIRS.

3 - Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de São Gabriel do Oeste, localizado no Estado do Mato Grosso do Sul, coordenadas 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.

O clima da região é caracterizado como tropical de estação seca (Aw), com precipitação média de 1500 mm e temperatura média de 18°C (Embrapa, 2003). Os dados das medições meteorológicas 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 ET_r, do índice de vegetação NDVI (Rouse et al., 1973) e das classificações foram realizados a partir de imagens geradas pelo sensor espectral OLI (*Operational Land Imager*)/TRIS (*Thermal Infrared Sensor*), que se encontra a bordo do satélite Landsat 8, o qual capta imagens que possuem resolução espacial de 30 m para as bandas refletivas 1 a 7, e 100 m nas bandas termais 10 e 11, sendo a banda pancromática 8 com resolução de 15 m (NASA, 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 demonstrado pela Equação 1.

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

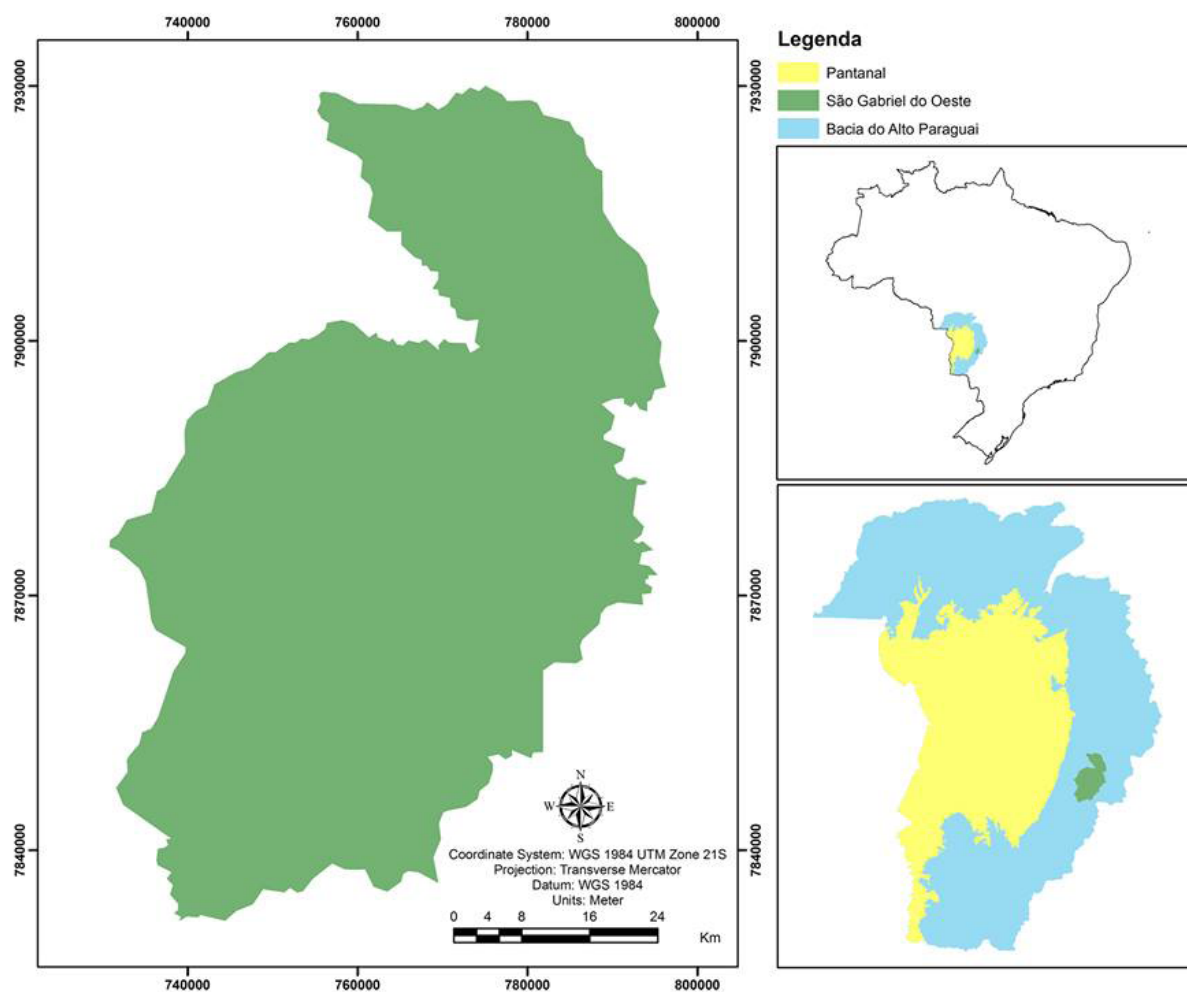


Figura 1. Mapa de localização do Município de São Gabriel do Oeste - MS.

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

Utilizando a equação empírica apresentada por Bastiaanssen (2000), o fluxo de calor no solo (Wm^{-2}) pode ser obtido, representando valores próximos ao meio-dia, de acordo com a Equação 2:

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

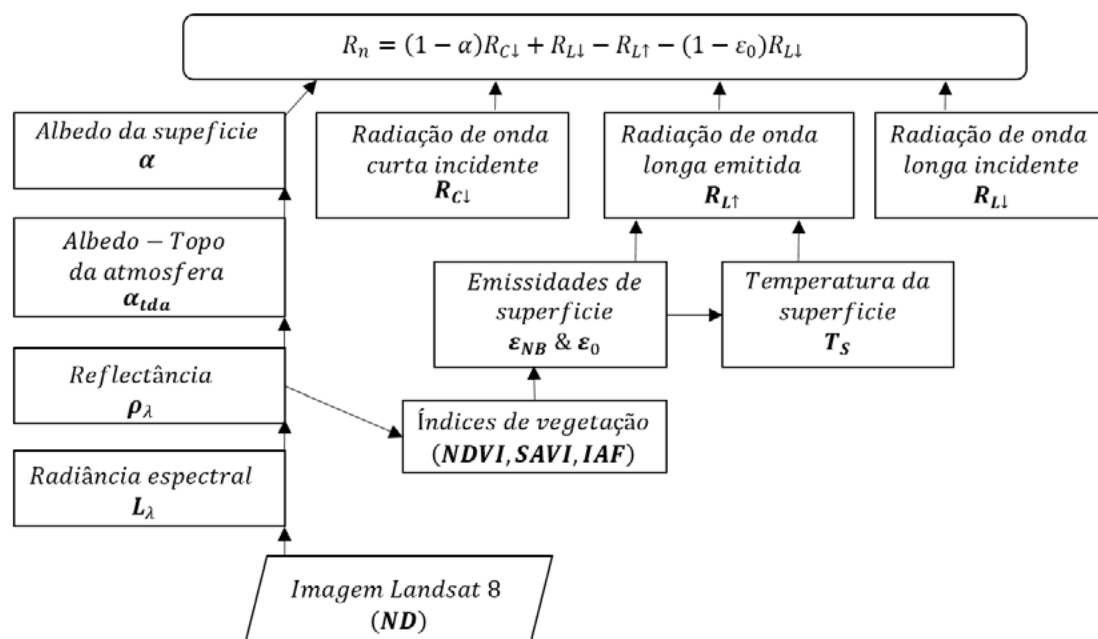


Figura 2. Fluxograma da metodologia de cálculo do saldo de radiação.

Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002).

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

A estimativa deste fluxo é feita baseada 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 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 auxiliam 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**.

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.

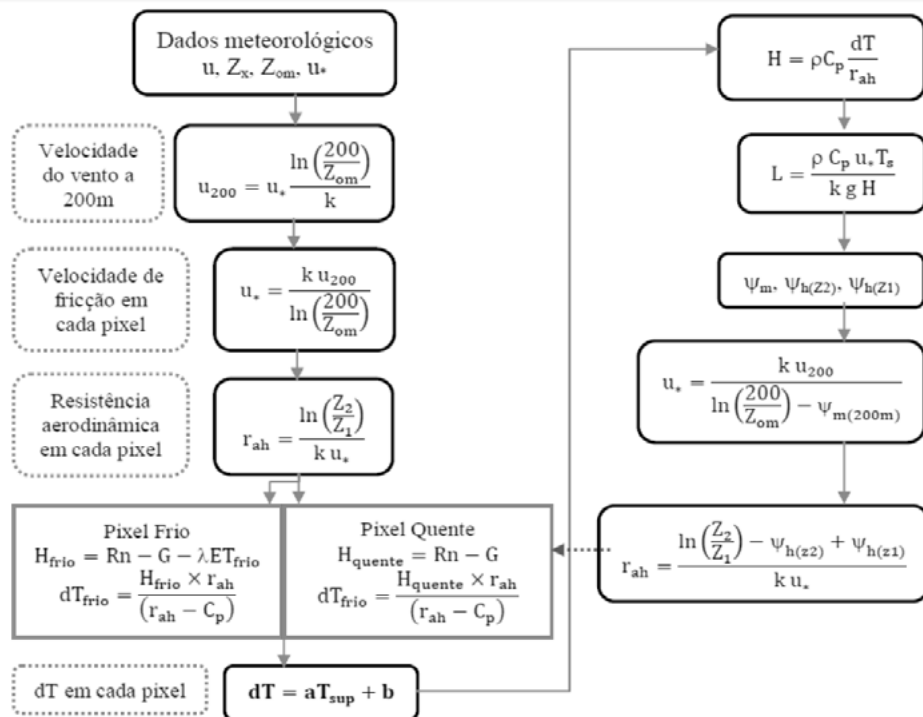


Figura 3. Fluxograma do processo iterativo para estimativa do fluxo de calor sensível (H).

Para a obtenção da evapotranspiração real diária (ET_r), primeiramente calcula-se a evapotranspiração horária, 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, 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, imagem do dia 16 de

Junho de 2016 (dia juliano 167), foi realizado com o software ENVI 5.0, com a ferramenta de matemática de bandas. Para fusão de imagens com a banda pancromática 8, com finalidade de proporcionar uma melhor distinção entre os alvos terrestres, aumentando a resolução espacial para 15 m, foi utilizado o software ArcGis versão 10.1.

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 à áreas de solo, pastagem, mata, água e agricultura. A partir destas amostras realizou-se a classificação supervisionada, com a utilização do classificador 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.

4 - Resultados e Discussão

A **Figura 4** apresenta o mapa temático com o resultado de uso e ocupação do solo do município do São Gabriel do Oeste - MS. O método de classificação utilizou a abordagem “pixel a pixel” com o algoritmo MaxVer, em que foram identificadas as seis classes predominantes na imagem: Área urbana, solo, pastagem, mata, água e agricultura.

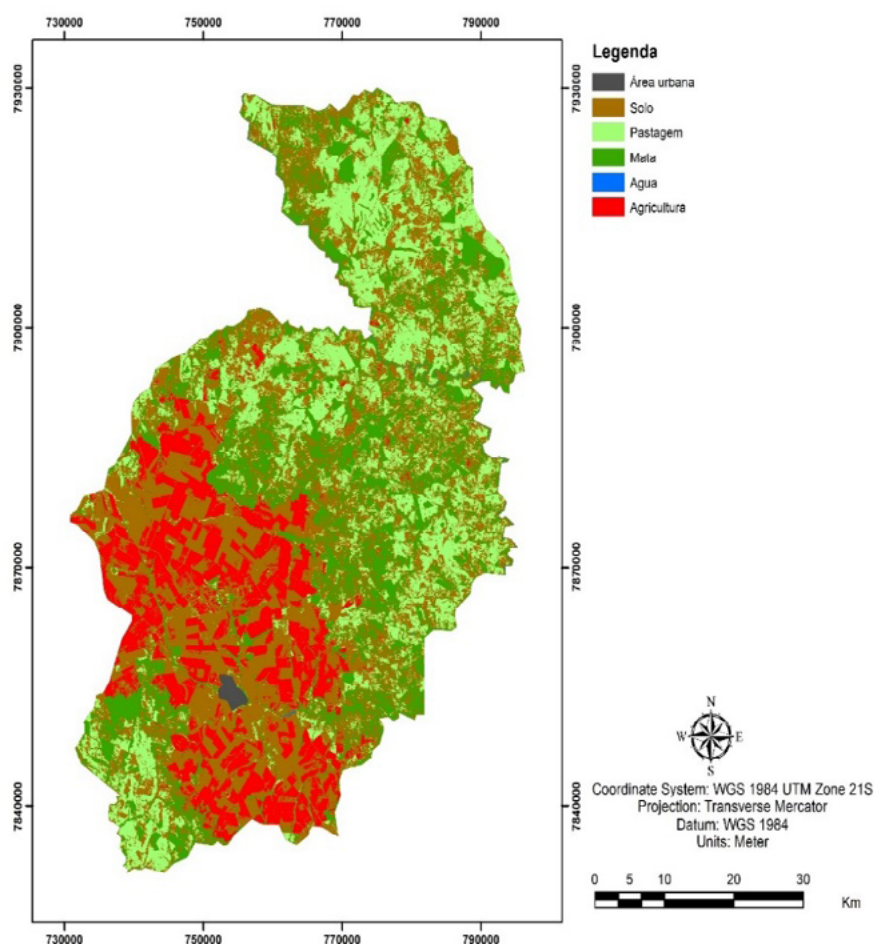


Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo do município de São Gabriel do Oeste - MS.

Os componentes de balanço de energia (R_n , H , LE e G) correspondem aos resultados de maior importância do algoritmo SEBAL. A Tabela 1 mostra 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
Rn	Méd (W.)	459	461	471	469	460	444
G	Méd (W.)	68	55	53	54	55	63
H	Min (W.)	134	111	101	103	106	165
LE	Min (W.)	60	250	285	273	278	113

Pela análise da **Tabela 1**, pode-se perceber que as áreas de vegetação nativa e água apresentaram as maiores médias de LE e Rn, com valores de 285 Wm⁻² e 273 Wm⁻² para o fluxo de calor latente, e 471 Wm⁻² e 469 Wm⁻² para os valores de Rn, respectivamente. A menor média está localizada na área urbana do município de São Gabriel do Oeste - MS (444 Wm⁻²), porém apresentou a maior média para fluxo de calor sensível (165 Wm⁻²) e alto valor de fluxo de calor no solo (63 Wm⁻²), valor apenas superado pelas áreas de solo exposto (68 Wm⁻²). Padrão de valores semelhantes foi encontrado por Machado et al. (2013), com altos valores de Rn e LE para corpos hídricos e vegetação e solo exposto apresentando altas médias de H. Segundo os autores, constatou-se que regiões de maior valores de Rn 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 Rn 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					Cv (%)
	Min	(mm)	Máx	(mm)	Med	
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		7,2		6,42	16,25
Agricultura	2,46		5,25		3,97	8,65
Área Urbana	0,51		3,12		1,10	24,71

Pela análise visual da **Figura 5**, pode-se observar que os menores valores de evapotranspiração real diária (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, mas pode ter ocorrido 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.

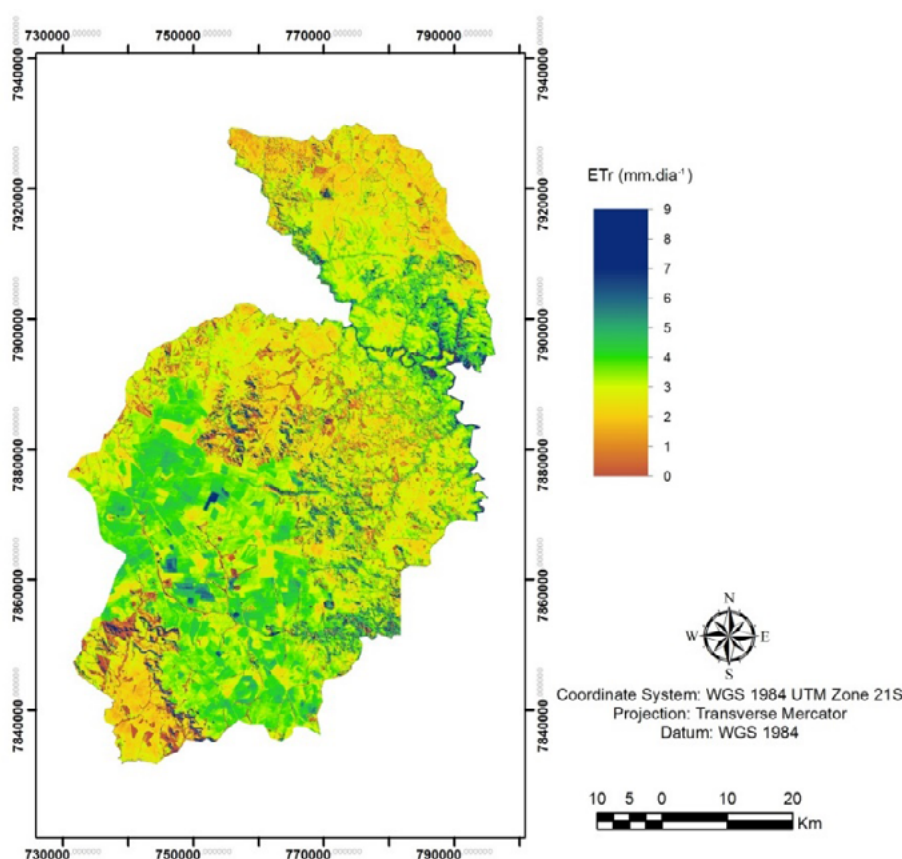


Figura 5. Evapotranspiração real diária (ETr) no município de São Gabriel do Oeste - MS para o dia juliano 167.

As áreas de agricultura apresentaram valores de evapotranspiração real diária (ETr) em média de $3,97 \text{ mm dia}^{-1}$, apresentadas 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 estiagem. Destaca-se ainda, que estimativas de evapotranspiração real são variáveis presentes em algoritmos de balanço energético e de previsões de produtividade para culturas agrícolas, demonstrando assim a sua relevante importância.

5 - Conclusões

O algoritmo SEBAL estimou os valores de evapotranspiração real diária (ETr) para o município de São Gabriel do Oeste - MS de maneira satisfatória. O SEBAL alimentado por variáveis extraídas de dados das imagens do satélite Landsat 8, apresentou-se como uma ferramenta de baixo custo e eficiente na geração de informações relevantes, que além de servir para adequada gestão de recursos hídricos, pode contribuir para a diminuição dos riscos atrelados a produção agrícola.

6 - 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.

7 - Referências

- 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.
- Allen, R. G.; Tasumi, M., Morse, A.; Trezza, R.; Wright, J. L.; Bastiaanssen, W.; Robison, C. W. Satellite- Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC... - Applications. **Journal of Hydrology**, v. 133, n. 4, p. 395-406, 2007.
- Bastiaanssen, 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.
- Breunig, F. M.; Galvão, L. S.; Formaggio, A. R., Epiphany, 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.
- Conab. Companhia nacional de abastecimento. **Séries históricas de produtividade de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em junho de 2016.
- Castillejo - González, I. L.; F. López-Granados; A. García-Ferrer; J. M. Peña-Barragán, M; Jurado-Expósito, M. S. Orden; M. González-Audicana. 2009. Object and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, 68: 207-215.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Zoneamento agroecológico do Município de São Gabriel do Oeste, MS: Referencial para o Planejamento, Gestão e Monitoramento Territorial / Déa Sousa Assis [et al.]**. - 1 ed. rev. ampl. 60 p. - Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, 2003.
- Guimarães, M. F.; Nogueira, J. M. A experiência norte-americana com o seguro agrícola: lições ao Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 1, p. 27-58, 2009.
- Huete, A.; Justice, C.; Leeuwen, W. V. **MODIS vegetation inde (mod13). Algorithm heorical basis document**. Versão 2. NASA Goddard Space Flight Center, Grenbelt Maryland. USA, p.129, 1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: março de 2016.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodrigues, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G.; Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, nov. 2002.
- Jackson, R. D. Spectral indices in n-Space. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.409- 421, 1983.
- Machado, C. C. et al. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens digitais TM-Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, 2013.
- Motta, J. L. G.; Fontana, D. C.; Weber, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 353-369, 2003.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World**. 2014. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html>. Acesso em: 07 julho de 2016.
- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. p. 157 - 199. In: Meneses. P. R.; Netto. J. S. M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 262 p., 2001.
- 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.