

O USO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DOS FLUXOS DE BALANÇO DE ENERGIA E ÁGUA NA CULTURA DO EUCALIPTO

Liliane Maria de Souza Almeida

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Rafaela Montanhera Antunes

Engenheira Agrônoma – FITL/AEMS

Maria Clara Godinho Somer Avelino

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental – UNESP
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Renato Alberto Momesso Franco

Doutor em Agronomia – UNESP; Pós-Doutorado em Agronomia – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

O mapeamento dos fluxos de balanço de energia e água são parâmetros fundamentais para aperfeiçoar o planejamento e o manejo dos recursos hídricos de uma determinada região. O estudo tem como objetivo o uso de dados de sensoriamento remoto na quantificação dos parâmetros biofísicos dos fluxos de balanço de energia na cultura do eucalipto, no município de Três Lagoas. O valor médio de albedo de superfície para a data avaliada foi de 0,17 (DP: $\pm 0,011$), o menor valor foi de 0,13 e o maior foi de 0,37. O NDVI teve média de 0,58, com mínimo de $-0,64$ e máximo de 0,84. O valor médio da temperatura da superfície foi de 298 K (24,85°C), com máximo de 304 K (30,85°C) e mínimo de 295 K (21,85 °C). Os valores da taxa de $R_n/R_G\downarrow$ para o eucalipto foi de 46% e para a pastagem foi de 38%. A taxa de $\lambda E/R_n$ para o eucalipto foi de 50% e a pastagem com 49%. Os valores médios obtidos no estudo das estimativas dos componentes biofísicos do balanço de energia com o uso de imagens Landsat 8 e aplicação do algoritmo SAFER mostram-se coerentes com a literatura.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto; Landsat 8; SAFER.

1 INTRODUÇÃO

O mapeamento dos fluxos de balanço de energia e da evapotranspiração são parâmetros fundamentais para aperfeiçoar o planejamento e o manejo dos recursos hídricos de uma determinada região. Principalmente quando ocorre a expansão de uma determinada cultura agrícola e essas mudanças no uso e cobertura do solo influenciam o clima local alterando o ciclo biogeoquímico, tais como o ciclo do carbono e da água (LAMBIN et al., 2003).

O Bioma Cerrado foi transformado em diferentes tipos de agroecossistemas

ao longo dos anos, com mudanças no uso e cobertura do solo. De acordo com Sano et al. (2009), aproximadamente 40% dos 204 milhões de hectares de cerrado já estão convertidos em pastagens cultivadas, áreas agrícolas e outros tipos de uso.

A região leste do Estado do Mato Grosso do Sul foi transformada em pastagem em virtude da expansão da atividade agropecuária e nos últimos anos, foi substituída pela cultura do eucalipto para a produção de celulose, essas mudanças podem influenciar o microclima local e regional através de alterações nos componentes do fluxo de balanço de energia e de água.

Como exemplo desta mudança no uso do solo está o município de Três Lagoas que passou por modificações significativas no uso e ocupação do solo no período entre 1987 a 2017, principalmente em relação a cultura do eucalipto que no ano de 2017 atingiu 27,3% da área do município; em relação a pastagem o valor foi de 47,6% (ANTUNES et al., 2018), sendo este tipo de uso predominante no município.

As transformações antrópicas na paisagem modificam a superfície terrestre, alterando as características biofísicas dos componentes dos fluxos de energia e água nos agroecossistemas e nos ecossistemas antrópicos e naturais. Essas mudanças no uso e cobertura da terra podem ser verificadas em Jackson et al. (2005) que encontraram a redução significativa no albedo, aumento da evapotranspiração e a diminuição da temperatura quando houve a substituição de uma cultura agrícola anual por reflorestamento.

O espectro de distribuição da radiação solar que chega à superfície terrestre é constituído predominantemente de ondas curtas e a distribuição espacial e estacional dessa radiação é a grande causa dos fenômenos meteorológicos (PEREIRA et al., 2007).

A superfície terrestre recebe diariamente a energia da radiação solar e uma parte desta radiação é refletida pela superfície (albedo); a outra parte aquece o ar (fluxo de calor sensível ao ar, manifestado pela temperatura do ar); a terceira parte aquece a parte terrestre (fluxo de calor sensível ao solo, manifestado pela temperatura do solo) e a última parte evapora a superfície terrestre (fluxo de calor latente, manifestado pela evapotranspiração) (LIU, 2006).

O uso do sensoriamento remoto vem sendo utilizados em estudos do ambiente, tornando uma ferramenta importante no diagnóstico e monitoramento

ambiental, com a obtenção de informações necessárias ao gerenciamento e gestão dos recursos ambientais. As técnicas de sensoriamento têm sido eficientes na detecção de informações em áreas extensas de forma rápida e efetiva, principalmente de dados meteorológicos e ambientais (FRANCO et al., 2013).

Para a determinação da estimativa da evapotranspiração via satélite utilizou-se o modelo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) (TEIXEIRA et al., 2017).

2 OBJETIVOS

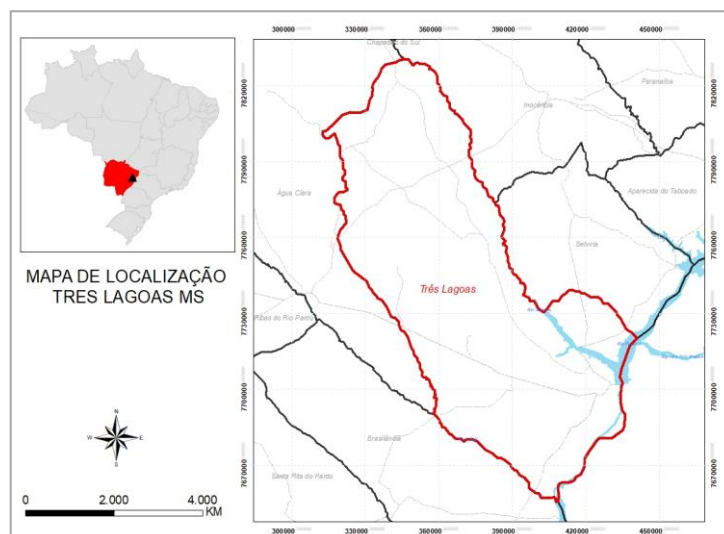
O estudo tem como objetivo o uso de dados de sensoriamento remoto na quantificação dos parâmetros biofísicos dos fluxos de balanço de energia na cultura do eucalipto, no município de Três Lagoas-MS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Região Leste do Estado do Mato Grosso do Sul, nos municípios de Três Lagoas (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da microbacia, o Estado do Mato Grosso do Sul com os limites de municípios de Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As informações referentes ao o uso e ocupação do solo foi obtido em

Antunes et al. (2018) através do formato vetorial *shapefile*, em seguida esse arquivo foi inserido sobre o dado raster (imagem do Landsat 8) e recortado. Esse recorte forneceu dados sobre estatística descritiva, desvio padrão, média, mínimo e máximo valores.

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Agrometeorológica da UNESP – Ilha Solteira e os valores analisados foram do período entre 2018 a julho de 2019, obtendo os valores médios mensais (UNESP, 2019).

3.2 Modelagem do Balanço De Energia

Os parâmetros foram obtidos através de imagens do satélite Landsat 8, do sensor OLI (*Operational Land Imager*). Foram obtidos no site do Serviço Geológico Americano (USGS, 2019) a imagem utilizada com data de passagem do satélite no dia 19/07/2019.

A primeira etapa é a obtenção da radiância espectral (L_λ) ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) e foi obtida a partir dos números digitais (ND) de cada banda espectral dos satélites Landsat 8, e foram determinados conforme descritos anteriormente (TEIXEIRA et al. 2017; TEIXEIRA, 2010).

Após a determinação da radiância calcularam os valores de albedo planetário (α_p) para cada banda e foram obtidos conforme descrito na equação abaixo:

$$\alpha_{pb} = \frac{L_\lambda * \pi * d^2}{R_{ab} * \cos\theta} \quad (1)$$

L_λ - radiância espectral na banda b, $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$

d^2 - distância Terra-Sol, unidades astronômicas;

R_{ab} - irradiância solar espectral média para cada banda no topo da atmosfera, $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$, para o Landsat 8 adotou-se os valores de Teixeira et al. (2017);

θ - ângulo zenital solar.

Em seguida o albedo planetário (α_p) é calculado através da soma dos valores obtidos em α_{pb} , conforme descrito abaixo:

$$\alpha_p = \sum W_b \alpha_{pb} \quad (2)$$

O valor de albedo de superfície foi obtido conforme procedimento adotado

em diferentes trabalhos e que executa correções atmosféricas (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA et al., 2009; 2008).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foram obtidos através das bandas do infravermelho próximo e do vermelho para as bandas do Landsat 8.

$$NDVI = \frac{\alpha_{p(IP)} - \alpha_{p(verm)}}{\alpha_{p(IP)} + \alpha_{p(verm)}} \quad (3)$$

onde: $\alpha_{p(IP)}$ e $\alpha_{p(verm)}$ são os valores de albedo planetário correspondem aos comprimentos de ondas na faixa do infravermelho próximo e faixa do vermelho.

Em seguida os parâmetros obtidos anteriormente foram inclusos na Eq.4 para a obtenção da evapotranspiração em larga escala (Teixeira, 2010):

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_{0NDVI}} \right) \right] \quad (4)$$

onde: a e b – são coeficientes de regressão, com valores de 1,0 para a região noroeste paulista (Teixeira et al., 2014) e - 0,008, respectivamente. Os valores diários de ET_0 obtidos através das estações meteorológica obtidos através de rede de estações meteorológicas da UNESP/Ilha Solteira (UNESP, 2019) e em seguida foram interpolados e adicionados ao cálculo da ET.

Para o cálculo do balanço de energia o modelo necessita de valores de radiações obtidas no momento da passagem do satélite Landsat 8 e que estão distribuídas nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal e inseridos em conjunto com os dados meteorológicos. Em seguida é computado o saldo de radiação (R_n), o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor no solo (G), sendo o fluxo de calor latente (λE) obtido através do resíduo da Eq. 5:

$$R_n - \lambda E - H - G = 0 \quad (5)$$

A obtenção do R_n foi determinada conforme a Eq.6 abaixo:

$$R_n = R_G \downarrow - \alpha_0 R_G \downarrow - RL \uparrow + RL \downarrow \quad (6)$$

onde: $RL \downarrow$ – radiação de onda longas incidente; $RL \uparrow$ – radiação solar de onda longa refletida; α_0 - albedo de superfície; $RG \downarrow$ - radiação solar global incidente obtida na

estação agrometeorológica. Os valores diários de R_{n24} foi calculada na mesma escala de tempo, conforme Eq. 7 (Teixeira, 2010; Teixeira et al., 2008a; 2009;):

$$R_{n24} = (1 - \alpha_0)R_G \downarrow - a\tau_{sw} \quad (7)$$

sendo: a – coeficiente obtido conforme a Eq.8. A Eq. 8 foi definida por Teixeira et al. (2008b) para a região do semi-árido brasileiro:

$$a = bT_a - c \quad (8)$$

onde: b e c – são coeficientes de regressão e apresentam os seguintes valores, 6,99 e 39,93, respectivamente.

A radiação solar de onda curta refletida ($R_{G\uparrow}$) foi obtida conforme a Eq. 9:

$$R_{G\uparrow} = \alpha_{024} \cdot R_G \downarrow \quad (9)$$

Para a obtenção da $RL\downarrow$ foi calculada usando a equação Eq.10:

$$RL \downarrow = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (10)$$

em que:

σ – é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T_a é em K

ε_a – é a emissividade atmosférica modelada em função da transmissividade atmosférica (T_s) para ondas curtas (Teixeira, 2010), conforme a Eq.11 abaixo:

$$\varepsilon_a = a(-\ln \tau_s)^b \quad (11)$$

onde: a e b – são coeficientes de regressão com os valores de 0,94 e 0,10, respectivamente

A radiação de ondas longas emitida pela superfície ($RL\uparrow$) foi calculada a partir do resíduo no balanço de radiação, conforme Eq.12:

$$RL \uparrow = R_G \downarrow - R_G \uparrow + RL \downarrow - R_{n24} \quad (12)$$

A ET foi transformada em unidade de energia usando a seguinte relação: $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 0,48 \text{ mm d}^{-1}$ (Allen et al., 1998). O λE foi quantificado para o período de 24 horas e H foi obtido como resíduo da equação do balanço de energia (Eq.5) e determinado conforme a Eq.13:

$$H = R_n - \lambda E \quad (13)$$

O G foi determinado conforme a equação abaixo (Teixeira, 2010):

$$G/R_n = a \exp(b\alpha_0) \quad (14)$$

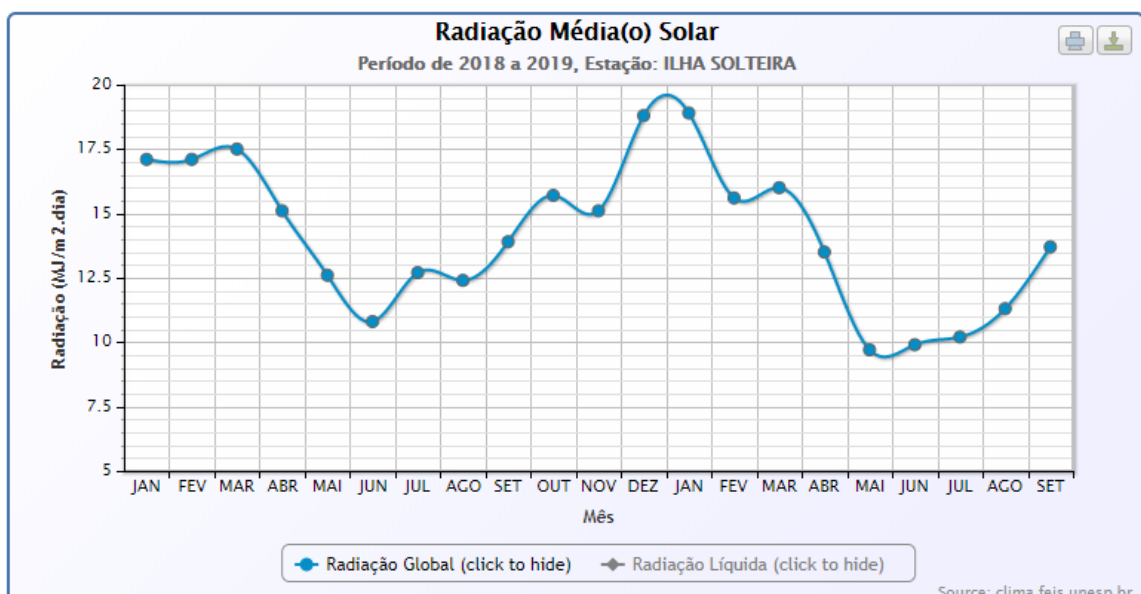
onde: $a = 3,98$ e $b = -25,47$ são coeficiente de regressão. O G é um valor que pode ser desprezível na avaliação do balanço de energia e por esse motivo o resultado deste componente do balanço de energia não será discutido neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados Meteorológicos

Os valores médios mensais de radiação global, entre o período de janeiro de 2018 a julho de 2019 foi de $13,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, os menores valores de radiação ocorreram entre os meses de maio e junho (UNESP, 2019) (Figura 2). O valor de radiação global incidente para data avaliada foi de $13,19 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, esse baixo valor é devido ao solstício de inverno no hemisfério sul.

Figura 2. Valores médios mensais da radiação global no período de janeiro de 2018 a setembro de 2019.



Fonte: Extraído de UNESP (2019).

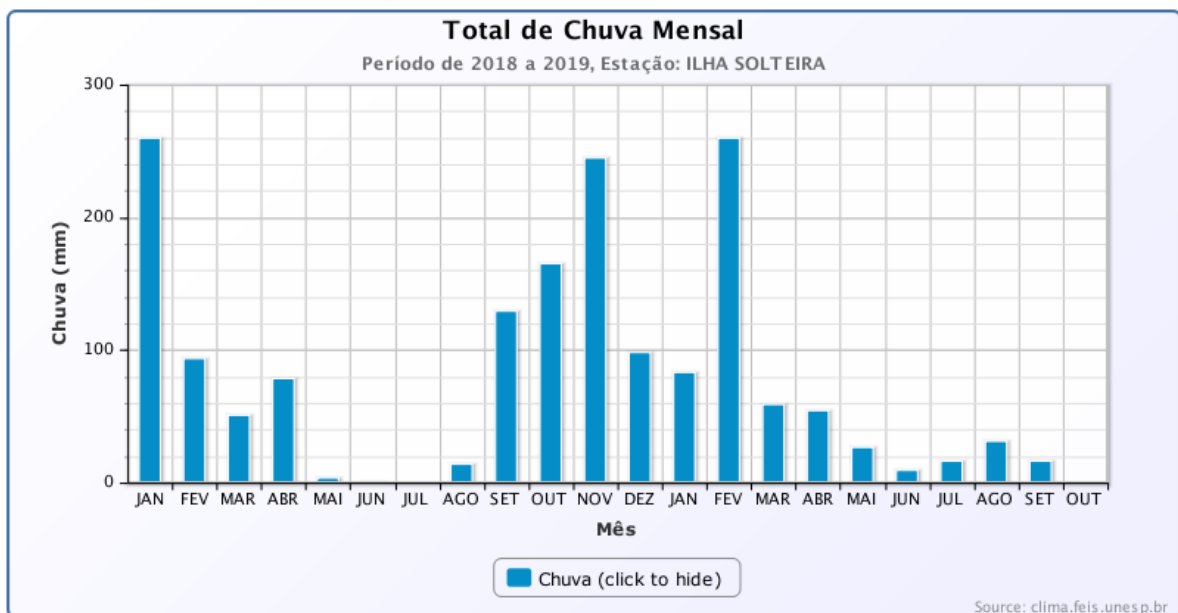
O valor da evapotranspiração de referência foi de $3,4 \text{ mm d}^{-1}$ para o dia 19/07/2019. A média mensal para o período avaliado foi de $3,4 \text{ mm d}^{-1}$, os valores

absolutos mínimos e máximos mensais foram de 1,5 mm d⁻¹ e 4,6 mm d⁻¹, respectivamente (UNESP, 2019).

A temperatura média para o período avaliado foi de 24,6 °C, com máxima de 31,9 °C e mínima de 18,9 °C (UNESP, 2019).

Em relação a precipitação os maiores valores ocorreram nos meses de janeiro (2018), novembro (2018) e fevereiro (2019) ficaram com valores acima de 200 mm (Figura 3; UNESP, 2019).

Figura 3. Valores de precipitação no período de janeiro de 2018 a setembro de 2019.



Fonte: Extraído de UNESP (2019).

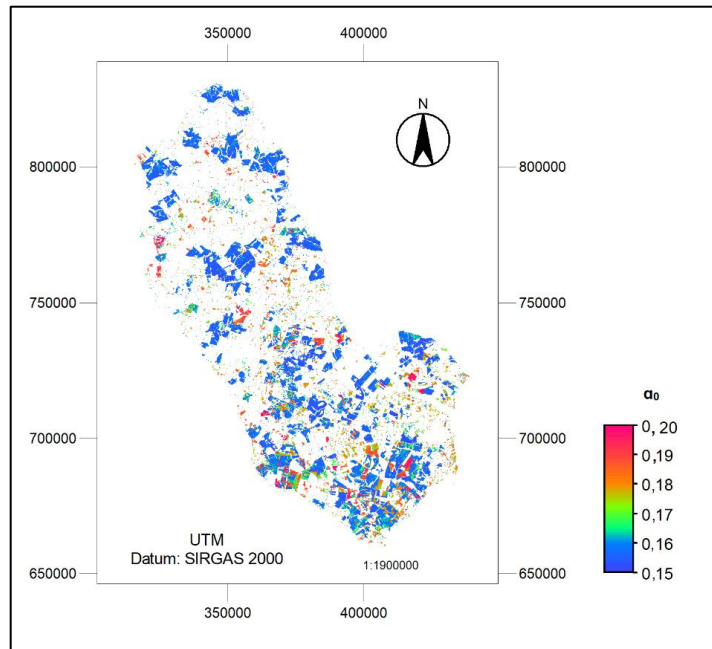
4.2 Parâmetros de Sensoriamento Remoto

4.2.1 Albedo

Na Figura 4, o mapa de albedo de superfície para a cultura do eucalipto no município de Três Lagoas. O valor médio de albedo de superfície para a data avaliada foi de 0,17 (DP: ± 0,011), o menor valor foi de 0,13 e o maior foi de 0,37. Franco et al. (2015) encontraram valor de 0,15 para a cultura do eucalipto no município de Selvíria-MS.

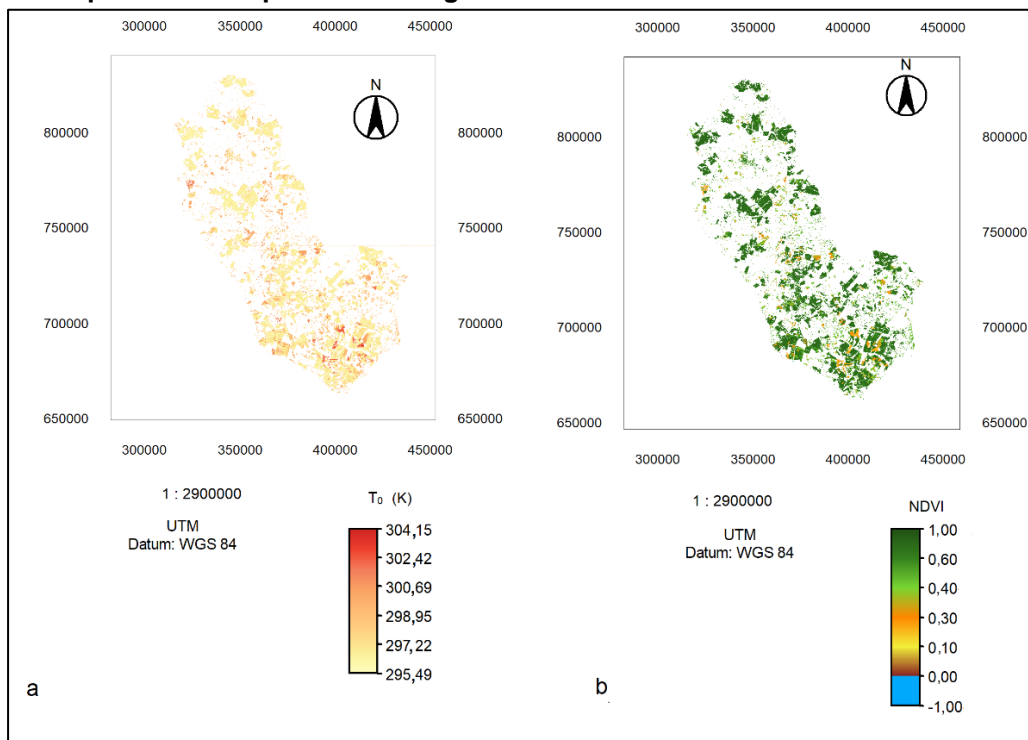
O valor médio de albedo para a pastagem foi de 0,18, o menor valor foi de 0,12 e o maior valor foi de 0,39 e o desvio padrão foi de ± 0,04. Giongo et al. (2014) encontraram valores entre 0,25-0,34 para a pastagem na bacia do rio Corumbataí, na região centro-leste do Estado de São Paulo. Franco et al. (2016) encontraram valores médios de 0,15 de albedo no inverno na região noroeste paulista, considerado baixo para o período.

Figura 4. Mapa de albedo da superfície da cultura do eucalipto no município de Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5. Mapa de temperatura de superfície (a) e NDVI (b) da cultura do eucalipto no município de Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Temperatura de Superfície

A Figura 5(a) apresenta a distribuição dos valores de temperatura de superfície da cultura do eucalipto no município de Três Lagoas. O valor médio foi de

298 K (24,85 °C), com máximo de 304 K (30,85 °C) e mínimo de 295 K (21,85 °C). Franco et al. (2015) encontraram para a cultura eucalipto valor médio de 299 K (26,55 °C), no município de Selvíria-MS, em junho de 2011.

4.2.3 NDVI

Os valores de NDVI estão distribuídos na Figura 5(b) e a média foi de 0,58, com mínimo de - 0,64 e máximo de 0,84. No município de Selvíria-MS, Franco et al. (2015) encontraram valor médio de 0,70 para a cultura do eucalipto no mês de junho. Observa-se que os valores de NDVI são influenciados pela condição climática, principalmente nos valores de precipitação. No mês de julho, o valor de precipitação acumulada foi de 25,4 mm, nesta condição apresenta umidade nas zonas das raízes das plantas e influencia nos valores de NDVI.

4.3 Balanço de Energia

A Tabela 1 apresenta os valores médios de balanço de energia nos usos eucalipto e pastagem, com cena do dia 19/07/2019 do Landsat 8. O valor de radiação solar global incidente (RG_{\downarrow}) foi $13,19 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, esse valor é considerado baixo para esse mês de julho, devido período de solstício de inverno no hemisfério sul. Os valores de R_n estão relacionados aos dados de RG_{\downarrow} . A cultura do eucalipto apresentou valor de $6,00 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e a pastagem com $5,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Tabela 1. Valores médios dos componentes do balanço de energia.

Usos	Data	RG_{\downarrow}	RS_{\uparrow}	RL_{\downarrow}	RL_{\uparrow}	R_n	$\lambda E/R_n$	R_n/RG_{\downarrow}
Eucalipto	19/07/2019	13,19	2,29	32,71	37,62	6,00	0,50	0,46
Pastagem		13,19	3,16	32,72	37,66	5,13	0,49	0,38

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores da taxa de R_n/RG_{\downarrow} para o eucalipto foi de 46% e para a pastagem foi de 38%. Valores da taxa de R_n/RG_{\downarrow} próximo de 50% confirma as medições realísticas do balanço de energia com informações obtidas tanto com dados de campo e sensoriamento remoto (TEIXEIRA et al., 2008).

A taxa de $\lambda E/R_n$ para o eucalipto foi de 50% e a pastagem com 49% (Tabela 1); neste caso, verifica-se uma redução na umidade do solo no período avaliado, pois apenas 50% da energia foi utilizada na evapotranspiração e o outro restante foi utilizado no aquecimento das plantas, do ar e do solo.

5 CONCLUSÕES

Os valores médios obtidos no estudo das estimativas dos componentes biofísicos do balanço de energia com o uso de imagens Landsat 8 e aplicação do algoritmo SAFER mostram-se coerentes com a literatura.

Vale ressaltar que neste estudo foi utilizado apenas uma imagem do satélite Landsat 8 no período seco na região e que estudos posteriores serão incluídos mais imagens com diferentes datas de passagem

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. M.; FRANCO, R. A. M.; OLIVEIRA, T. O. P. Evolução temporal da Silvicultura no uso e ocupação do solo no município de Três Lagoas/MS. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 7, Jardim-MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 903-912, 2018.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Aplicação do algoritmo SAFER na determinação da evapotranspiração em condições de sazonalidade climática no noroeste paulista. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, João Pessoa-PB. Anais. São José dos Campos: INPE, p.3189-3196, 2015.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Mapeamento da variação espacial e temporal do balanço de radiação e energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 10, p. 1975-1992, 2016.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Aplicação do algoritmo SAFER na determinação da evapotranspiração em condições de sazonalidade climática no noroeste paulista. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, João PessoaPB. Anais. São José dos Campos: INPE, p. 3189-3196, 2015.

GIONGO, P. R.; CARLOS A.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.8, p.833-838, 2014.

JACKSON, R. B.; JOBBÁGY, E. G.; AVISSAR, R.; ROY, S. B.; BARRETT, D. J.; COOK, C. W.; FARLEY, K. A. L. E.; MAITRE, D. C.; McCARL, B. A.; MURRAY, B. C. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. Science, v. 310, n. 5756, p. 1944-1947, 2005.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual Review of Environment and Resources. v. 28, p. 205-241, 2003.

LIU, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola 306. Piracicaba: Ed. Copiadora Luiz de Queiroz, 2007. 192 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, v. 1, p. 309-317, 1974.

SANTOS, V. V.; NICÁCIO, R. M.; GONZAGA, E. P. Caracterização espaço-temporal do NDVI e do albedo da superfície na bacia hidrográfica do rio Ipanema. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1517-1524. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW/3A2UM28>. Disponível em <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2UM28>>.

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. J. Appl. Remote Sens. v. 11, n. 1, p. 016-030, 2017. doi: 10.1117/1.JRS.11.016030.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; 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.

TEIXEIRA, A. H. de 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, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. Journal of Hydrology, v. 362, p. 110-127, 2008.

UNESP. Acesso à base diária: Ilha Solteira, SP. Ilha Solteira–SP, setembro 2018 a julho de 2019. Disponível em <clima.feis.unesp.br>.

USGS - U.S. Geological Survey, Earth Resource Observation and Science EROS. 15 February 2015 <https://earthexplorer.usgs.gov/> (2017).