

ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO UTILIZANDO IMAGEM DO SENSOR MODIS/TERRA EM SUB-BACIAS DO PARACATU

EVALDO DE P. LIMA¹, GILBERTO C. SEDIYAMA², RAFAEL C. DELGADO³,
RICARDO G. ANDRADE⁴, VINÍCIUS D. LOPES⁵

¹ Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, Fone: (0 xx 31) 3899 1900, lima_evaldo@yahoo.com.br.

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

³ Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

⁴ Engenheiro Agrícola, Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas - SP.

⁵ Aluno de Bacharelado em Ciências da Computação, Depto. de Informática, UFV, Viçosa - MG.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

RESUMO: O saldo de radiação à superfície exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico, principalmente quando a superfície do solo é mantida úmida com irrigação. Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo estimar o saldo de radiação em sub-bacias do Paracatu utilizando produtos obtidos pelo sensor MODIS a bordo do satélite Terra. Para obtenção do Rn foi utilizado o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). O saldo de radiação à superfície variou de 431,00 a 729,58 W/m², com média de 559,26 W/m².

PALAVRAS-CHAVE: Áreas irrigadas, sensoriamento remoto, bacias hidrográfica.

ESTIMATION OF RADIATION BALANCE USING IMAGE OF MODIS/TERRA SENSOR IN THE PARACATU SUB-BASINS

ABSTRACT: Surface radiation balance plays a fundamental role in methods which estimate evapotranspiration, essential component of the water balance, especially when soil surface is kept humid with irrigation. In this context, this work aims to estimate the radiation balance in sub-basins of Paracatu using products obtained by MODIS sensor aboard the Terra satellite. Rn was obtained by using *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). Surface radiation balance varied from 431,00 to 729,58 W/m², with average of 559,26 W/m².

KEYWORDS: Irrigated surfaces, remote sensing, river basins.

INTRODUÇÃO: A bacia do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco e drena uma área de aproximadamente 45.600 km², sendo a segunda maior sub-bacia do rio São Francisco. As principais sub-bacias do rio Paracatu são, pela margem direita, rio da Prata, com área de drenagem de 3.750 km², e rio do Sono, com 5.969 km²; e, pela margem esquerda, rio Escuro, com 4.347 km², ribeirão Entre Ribeiros, com 3.973 km², e rio Preto, com 10.459 km², conforme Agência Nacional de Águas citada por RODRIGUEZ (2004). Segundo BRASIL (1996), citado por RODRIGUEZ (2004), o principal uso da água na bacia do Paracatu é a irrigação, ocupando uma área de 371,5 km², sendo os demais consumos de pequena magnitude quando comparados com esse. A eficiência do uso da água deve ser priorizada através do monitoramento das perdas evaporativas e por drenagem profunda. Deste modo, a estimativa da evapotranspiração de áreas irrigadas em escala regional, com base em imagens de satélite e algoritmos que permitem a conversão de medidas instantâneas em totais diários de evapotranspiração, representa uma grande contribuição. Um dado indispensável à utilização do sensoriamento remoto com tal finalidade é o saldo de radiação, principal fonte

de energia a ser repartida no aquecimento do solo, do ar e no processo de evapotranspiração. Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo estimar o saldo de radiação em sub-bacias do Paracatu utilizando produtos obtidos pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo do satélite Terra.

MATERIAL E MÉTODOS: A área de estudo compreende as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto (Figura 1), localizadas a noroeste da bacia do rio Paracatu, que abrange áreas do Distrito Federal e dos estados de Goiás e Minas Gerais. A área possui as seguintes coordenadas:

Limite superior: latitude 15° 28' 41,98" Sul e longitude 47° 07' 19,96" Oeste;

Limite esquerdo: latitude 15° 47' 20,84" Sul e longitude 47° 38' 35,31" Oeste;

Limite direito: latitude 16° 44' 19,66" Sul e longitude 46° 03' 09,05" Oeste;

Limite inferior: latitude 17° 15' 36,16" Sul e longitude 46° 48' 32,16" Oeste.

Os principais usos dos recursos hídricos nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto são para o atendimento das demandas de abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação. Os principais cultivos produzidos nestas sub-bacias, segundo os censos agropecuários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, são: milho, soja, feijão, banana, pimentão e laranja (LATUF, 2007). O satélite Terra possui um intervalo quase diário para a visita de uma mesma área e leva a bordo o sensor MODIS, que é um radiômetro imageador composto por um escaner óptico de varredura transversal e um conjunto de elementos detectores individuais para fornecer imagens da superfície terrestre em 36 bandas espectrais. As bandas deste sensor possuem resolução espacial de 250 m para os canais do vermelho e infravermelho próximo, de 500 m para as bandas do azul, verde e infravermelho médio, e de 1000 m para as bandas do infravermelho termal.

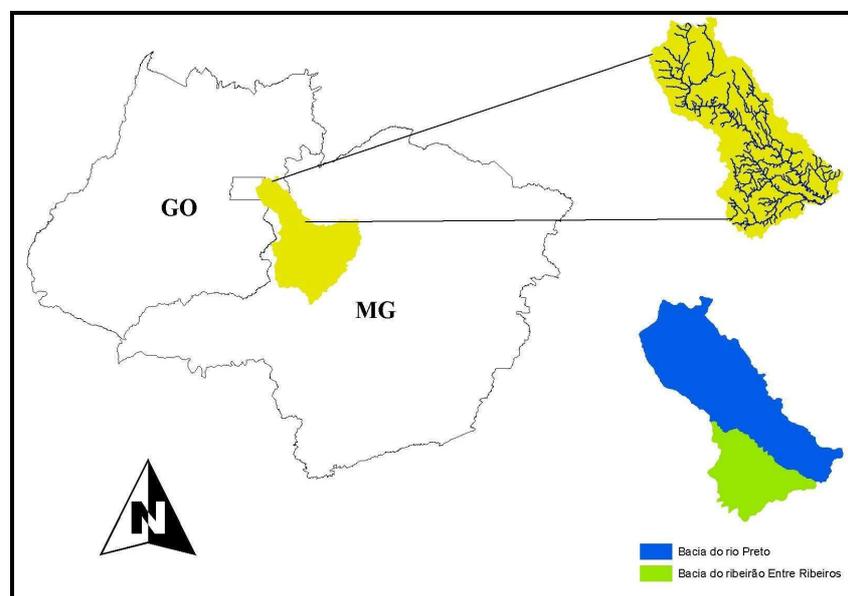


Figura 1. Localização da área de estudo.

No presente trabalho foram utilizados os produtos MOD09GA (que se refere às imagens de reflectância espectral de superfície, para as bandas 1 a 7) e o MOD11A1 (que se refere à imagem da temperatura da superfície, e compreende as bandas 31 e 32) do dia 23 de setembro de 2007. Estes produtos foram obtidos gratuitamente no sítio <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1> no formato hdf e convertidos para o formato

GeoTIFF com a utilização do programa *MODIS Reprojection Tool* (MRT). As bandas 1 a 7 para a região de estudo foi obtida após a conversão do arquivo: MOD09GA.A2007266.h13v10.005.2007271131122.hdf

Entretanto, a imagem da temperatura da superfície (T_s) foi obtida com a conversão do seguinte arquivo: MOD11A1.A2007266.h13v10.005.2007268152722.hdf

Para obtenção do saldo de radiação (Rn) à superfície foi utilizado o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), conforme proposto por BASTIAANSEN et al. (1998). O processamento das etapas utilizadas na estimativa do Rn foi realizado no *Model Maker* do programa *Erdas 9.1*. O saldo de radiação (Equação 1) contabiliza a energia radiante disponível e é função dos componentes que chegam e saem da superfície do solo. Este termo foi obtido através da seguinte expressão (ALLEN et al., 2002):

$$Rn = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente em cada pixel (W/m^2), α é o albedo da superfície de cada pixel (adimensional), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção do pixel (W/m^2), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel (W/m^2) e ϵ_o é a emissividade de cada pixel da imagem (adimensional).

Todos os procedimentos para obter o Rn estão descritos em ALLEN et al. (2002), com exceção da T_s , que foi fornecida diretamente pelo sensor MODIS, e do albedo da superfície (α), que foi estimado por meio dos coeficientes propostos por TASUMI et al. (2008):

$$\alpha = 0,215.\alpha_1 + 0,215.\alpha_2 + 0,242.\alpha_3 + 0,129.\alpha_4 + 0,101.\alpha_5 + 0,062.\alpha_6 + 0,036.\alpha_7 \quad (2)$$

em que, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7$ são as bandas de reflectância do produto MOD09GA.

Para a transmissividade atmosférica, necessária nas determinações da radiação de onda curta incidente e emissividade atmosférica, foi utilizado o modelo digital de elevação, com resolução espacial de 500 m, gerado para a área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Como primeiros resultados serão apresentados o albedo (Figura 2a) e a temperatura (Figura 2b) da superfície para o dia 23 de setembro de 2007 na área de estudo. O termo albedo é definido como coeficiente de reflexão da superfície para radiação de ondas curtas. O α variou de 4 a 32%, com um valor médio de 16,6% (correspondente a terceira tonalidade de ciano). A tonalidade de azul mais claro, encontrada principalmente sobre corpos d'água (como exemplo, observa-se área circulada em vermelho), corresponde ao intervalo de menores valores, 4 a 12%, e a tonalidade de azul mais escuro, encontrada sobre solo exposto, corresponde ao intervalo de maiores valores (22 a 32%).

No sensoriamento remoto, a obtenção da temperatura da superfície (T_s) é importante na detecção e monitoramento de recursos hídricos, como também na estimativa da radiação de onda longa emitida por cada pixel, sendo esta indispensável no cálculo do saldo de radiação à superfície. Observa-se que, as menores temperaturas ocorreram sobre superfícies úmidas e corpos d'água, e as maiores sobre áreas secas e de solo exposto (tonalidade vermelha). A temperatura da superfície variou de 304,58 a 326,16 K com média de 315,87 K, correspondendo à tonalidade da terceira classe.

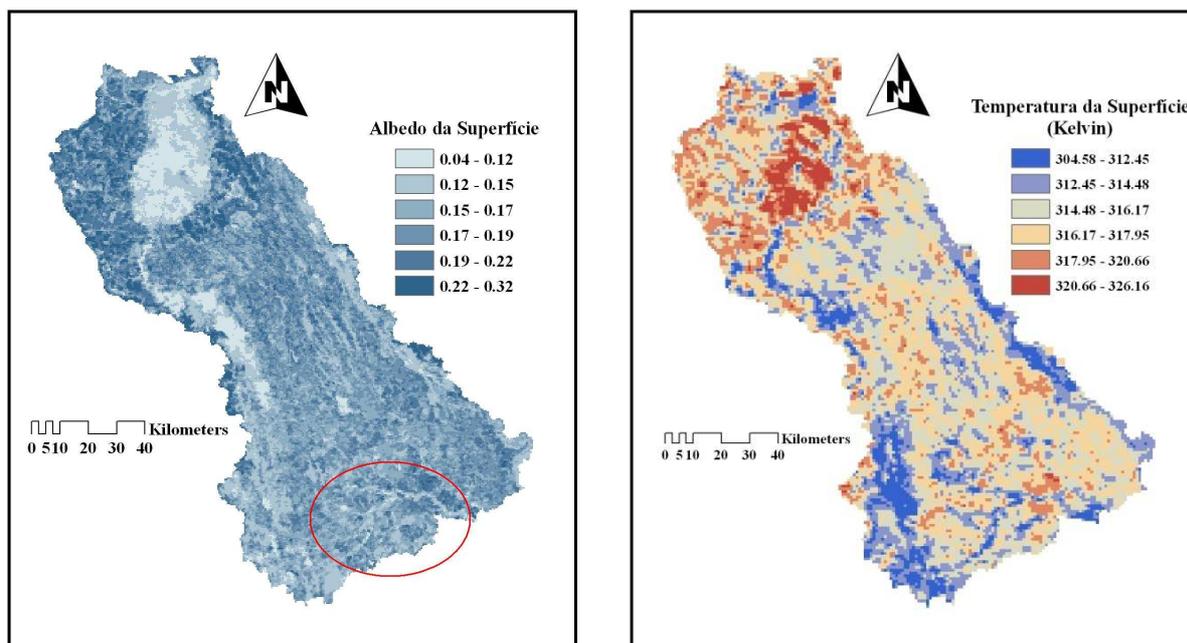


Figura 2. Albedo da superfície (2a) e temperatura da superfície (2b).

Os próximos resultados a serem apresentados serão a radiação de onda curta incidente (Figura 3a) e o saldo de radiação (Figura 3b) para as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto. Para a estimativa da radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) utilizou-se a constante solar (1367 W/m^2), o ângulo zenital, a distância relativa Terra-Sol e a transmissividade atmosférica. Vale destacar, que a variação da radiação de onda curta observada na Figura 3a foi devida a transmissividade atmosférica, determinada pela altitude, visto que os outros elementos utilizados na estimativa da $R_{s\downarrow}$ eram constantes para a área de estudo. A radiação de onda curta variou de $884,65$ a $900,77 \text{ W/m}^2$, com um valor médio de $890,27 \text{ W/m}^2$ (correspondente a terceira tonalidade de verde). O saldo de radiação é influenciado pelo balanço de ondas curtas, que é dependente da radiação de onda curta incidente e do albedo. O saldo de radiação à superfície exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico, principalmente quando a superfície do solo é mantida úmida com irrigação. Na Figura 3b a tonalidade verde escura corresponde ao intervalo de menores valores do R_n , $431,00$ a $515,30 \text{ W/m}^2$, e se localizou sobre áreas secas e de solo exposto. O maior intervalo de valores, $601,95$ a $729,58 \text{ W/m}^2$, correspondem à tonalidade vermelha e se localizou principalmente sobre superfícies úmidas e corpos d'água. As demais tonalidades representam os valores intermediários do saldo de radiação, sendo que o valor médio foi de $559,26 \text{ W/m}^2$ (tonalidade de verde mais clara). Observa-se que, boa parte da área de estudo apresentou valores que oscilaram em torno do valor médio (tonalidades da terceira e quarta classe). Segundo LIMA et al. (2009), a tendência de maiores valores do R_n sobre superfícies líquidas e menores sobre os demais tipos de superfícies pode ser explicada pelo efeito combinado do albedo e da temperatura da superfície, pois o primeiro termo influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas. MENDONÇA (2007) estimou o R_n instantâneo para a região Norte Fluminense, RJ, utilizando imagens do sensor MODIS, e encontrou valores entre 410 e 650 W/m^2 para o dia 29/08/05, 500 e 870 W/m^2 para 16/11/05, 480 e 820 W/m^2 para 05/02/06, e 270 e 440 W/m^2 para 15/06/06. Embora os dois locais estejam em latitudes diferentes, a variação do R_n encontrada por MENDONÇA (2007) para parte da região Norte Fluminense, estado do Rio de Janeiro, no dia 29/08/05 foi semelhante a encontrada para as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto.

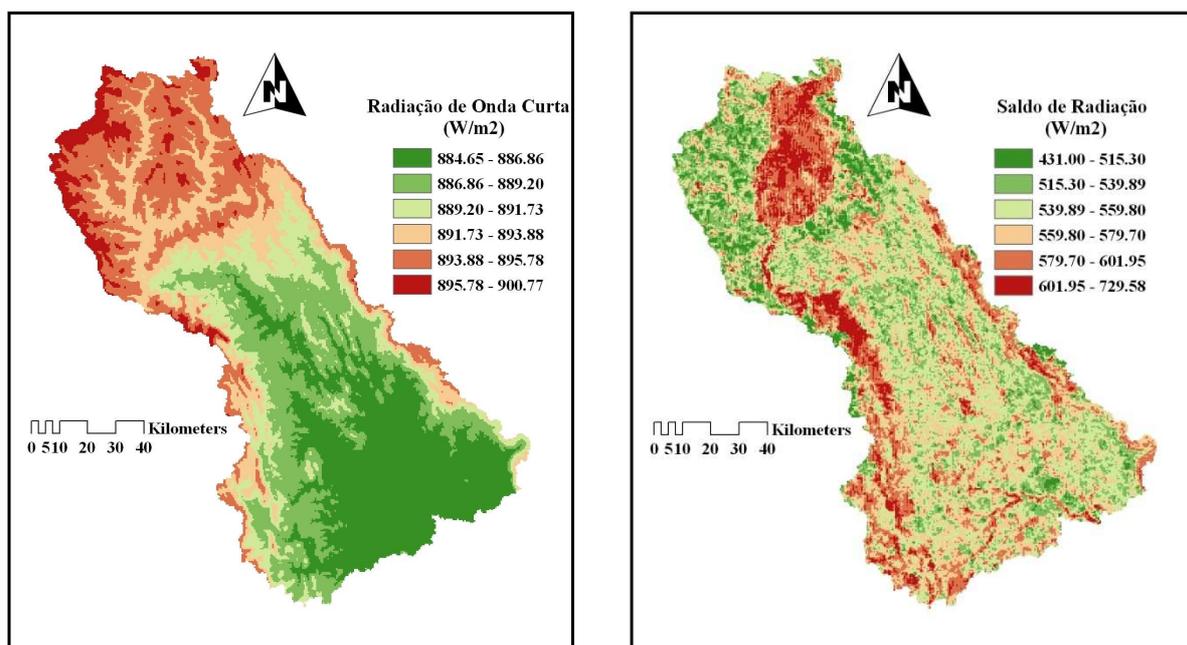


Figura 3. Radiação de onda curta incidente (3a) e saldo de radiação (3b).

CONCLUSÕES: O saldo de radiação à superfície variou de 431,00 a 729,58 W/m^2 , sendo que o valor médio foi de 559,26 W/m^2 . Os valores estimados do R_n foram compatíveis com os encontrados para parte da região Norte Fluminense, RJ.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq pelo financiamento parcial desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **Surface energy balance algorithms for land**. Idaho Department of Water Resources, 2002. 97 p.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.
- LIMA, E.P.; SEDIYAMA, G.C.; GLERIANI, J.M.; SOARES, V.P.; DELGADO, R.C.; ANDRADE, R.G. Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 255-262. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://mar.te.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.49/doc/255-262.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2009.
- MENDONÇA, J.C. **Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ**. 2007. 145 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2007.
- RODRIGUEZ, R.D.G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: Estudo de caso da bacia do Paracatu**. 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.
- TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of Land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.