

Saldo instantâneo de radiação em condições de céu nublado usando dados MODIS

Juarez Dantas de Souza¹, Danielle de Lucena Santos² e
Felipe Fernandes Duarte Oliveira Lima³

^(1,2,3) Universidade Estadual da Paraíba Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande - PB, Brasil. ⁽¹⁾juarezdantas@hotmail.com, ⁽²⁾danielle.esauepb@hotmail.com, ⁽³⁾lipe_nandes10@hotmail.com.

Abstract. In most cases, at the time of the satellite overpass, there is the presence of clouds making it difficult to obtain surface data information through the satellite images. Therefore, it is interesting to develop appropriate methods that take into account the presence of clouds in the atmosphere to obtain surface data. In this work, a method was used to estimate the instantaneous net radiation at the surface in the presence of clouds, using products MODIS aboard Terra satellite. The impact of the cloud on the radiation components reaching the surface was deduced according data provided by MOD06 product. The following products were used: MOD04, MOD06, MOD07, MOD11 and MCD43A3, which provide: aerosol parameters, clouds data, atmospheric profile data, surface albedo and emissivity, respectively. A radiative transfer model was also used to calculate the fraction of the diffuse radiation used in the albedo estimation. The methodology was applied to cloud cover situations ranging between 64 and 100% and the optical depth between 0.23 and 1.2, after parameterization, at the time of satellite overpass. The obtained results are consistent with other methods found in literature, presenting a less than 28 W/m² root mean square error, when compared to the surface measurements, and demonstrating the effectiveness of the proposed methodology.

Palavras-chave: clouds, satellite, atmospheric profile, surface, nuvens, satélite, perfil atmosférico, superfície.

1. Introdução

A diferença entre a radiação que chega e a que sai da superfície é denominada saldo de radiação à superfície (*SR*), ele é um dos principais componentes do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera. O *SR* é composto por fluxos de radiação de onda curta (*ROC*) e longa (*ROL*), por sua vez, esses fluxos são compostos por uma componente ascendente e outra descendente.

O uso do sensoriamento remoto com aplicações em escalas regionais e locais tem sido de muita importância em estudos envolvendo propriedades físicas da atmosfera e da superfície. Nessas aplicações os produtos do sensor MODIS (*MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer*), à bordo do satélite Terra da missão *Earth Observing System (EOS)*, que passa pela linha do equador aproximadamente às 10:30 h, têm sido muito utilizados, em particular, para estimar componentes e saldo de radiação. Esses produtos são suficientes para estimar o *SR* em condições de céu claro. No entanto, como na maioria das vezes, no momento da passagem do satélite, verificam-se a presença de nuvens, surge a necessidade de buscar métodos adequados que filtrem as interferências delas na estimativa de parâmetros da atmosfera ou da superfície. Dada a importância e o volume de dados dos produtos disponibilizados pelo sensor MODIS, muitos pesquisadores (Tang and Li, 2008; Wang and Liang, 2009; Ryu et al., 2008 e Di Long et al., 2010) usam os mesmos para estimar dados de radiação a superfície. Para estimar o *SR* em condições de céu nublado existem alguns obstáculos, como exemplo, a falta de informações do perfil atmosférico e da emissividade da superfície. Nesse sentido, Bisht and Bras (2010) apresentaram um método, capaz de estimar as componentes descendentes de radiação usando o produto MOD06 disponibilizado pela plataforma Terra. Esse produto fornece parâmetros de pressão, temperatura e emissividade no topo da nuvem, fração de nuvens na atmosfera e propriedades ópticas da mesma. O método foi aplicado numa região de planície nos Estados Unidos (Great Plain Southern) cujas características climáticas diferem, por exemplo, das características da região do Nordeste do

Brasil. Eles estimaram o SR na presença de nuvens com erro menor que 40 W/m^2 que, nessas condições, representa um erro aceitável pela comunidade científica.

2. Metodologia

Neste trabalho foram utilizados: 1) medições realizadas com um CNR1 (Saldo radiômetro, produto da Kipp & Zonnen) em superfície irrigada coberta por bananeiras, com local de prova na cidade de Quixeré-CE localizado no centro do círculo ($5^{\circ}04'35''\text{S}$; $37^{\circ}51'55''\text{W}$) ilustrado na Figura 1; 2) produtos MODIS: albedo da superfície, derivado do produto MCD43A3; emissividade da superfície, derivada do produto MOD11; dados de nuvens e temperatura da superfície, derivados do produto MOD06; parâmetros de aerossol, derivados do produto MOD04 e dados do perfil atmosférico, derivado do produto MOD07. Quanto ao uso do produto MOD06, verificou-se a qualidade das imagens, disponibilizadas no período entre outubro de 2005 e setembro de 2006. Foram encontradas mais de duzentas imagens com presença de nuvens no local, no entanto, em poucas situações encontravam-se dados da espessura óptica das mesmas, parâmetro essencial para estimar a radiação de onda curta. De modo que foram encontradas apenas 7 imagens em boas condições para a aplicação da metodologia apresentada neste trabalho, entre elas, 5 imagens referentes aos dias: 246 (03/09/2005), 266 (23/09/2005), 340 (06/12/2005), 342 (08/12/2005) e 221 (09/08/2006).

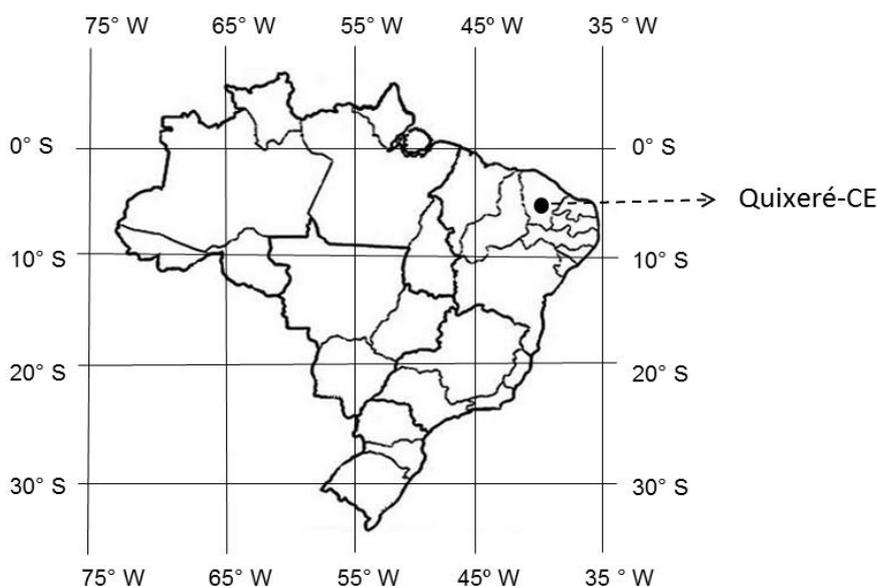


Figura 1. Local de prova, experimento na zona rural da cidade de Quixeré no Ceará.

O saldo de radiação com a presença de nuvem, SR^{nuvem} , foi estimado pela a expressão

$$SR^{nuvem} = SROC^{nuvem} + SROL^{nuvem} \quad (1)$$

onde $SROC^{nuvem}$ e $SROL^{nuvem}$, são nesta ordem, o saldo de radiação de onda curta e de onda longa. O saldo de radiação de onda curta foi estimado pela expressão (Slingo, 1989):

$$SROC^{nuvem} = ROCD^{claro} ((1 - c) + ce^{-\tau_n/mo}) (1 - A_s) \quad (2)$$

onde c é a fração parcial de nuvens, τ_n a profundidade óptica da nuvem, mo o cosseno do ângulo zenital solar; $ROCD^{claro}$ é a radiação de onda curta descendente em condições de céu claro e As o albedo da superfície estimado pela equação

$$As = Rd\alpha_{white-sky} + (1 - Rd)\alpha_{black-sky} \quad (3)$$

em que Rd é a fração de radiação difusa, estimada no momento da passagem do satélite usando o modelo de transferência radiativa apresentado por Souza et al. (2008), $\alpha_{black-sky}$ é a refletância hemisférica direcional e $\alpha_{white-sky}$ a bidirecional. Enquanto a $ROCD^{claro}$ foi estimada conforme a equação (Zillman, 1972)

$$ROCD^{claro} = \frac{S_0 \cos^2(\theta)}{1,085 \cos(\theta) + e_0 [2,7 + \cos(\theta)] \times 10^{-3} + \beta} \quad (4)$$

Nesta equação, usando o modelo de transferência radiativa apresentado por Souza et al. (2008) o valor de β foi ajustado para 0,17. S_0 é a constante solar no topo da atmosfera (1367 W/m^2) e e_0 é a pressão do vapor (hPa). O saldo de radiação de onda longa foi estimado pela expressão

$$SROL^{nuvem} = ROLA^{nuvem} - ROLD^{nuvem} \quad (5)$$

em que $ROLA^{nuvem}$ e $ROLD^{nuvem}$ são, nesta ordem, as componentes ascendentes e descendentes de radiação de onda longa, as quais foram estimadas de acordo com as expressões (Brisht and Bras, 2010):

$$ROLD^{nuvem} = \sigma \varepsilon_a T_a^4 + \sigma (1 - \varepsilon_a) \varepsilon_n T_n^4 \quad (6)$$

$$ROLA^{nuvem} = \sigma \varepsilon_s T_s^4 \quad (7)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^{-4})$ é a constante de Stefan-Boltzmann; T_a , T_n , e T_s são a temperatura do ar próxima a superfície, a temperatura no topo da nuvem e a temperatura da superfície, respectivamente; ε_s , ε_a , ε_n são a emissividade da superfície, do ar e da nuvem, nesta ordem. A ε_s foi obtida indiretamente como uma combinação linear da emissividade das bandas 31(ε_{31}) e 32(ε_{32}) disponibilizadas no produto MOD11A1, de modo que (Liang, 2004)

$$\varepsilon_s = 0,273 + 1,778 \varepsilon_{31} - 1,807 \varepsilon_{31} \varepsilon_{32} - 1,037 \varepsilon_{32} + 1,774(\varepsilon_{32})^2 \quad (8)$$

Enquanto a ε_a foi estimada pela equação (D. Long et al., 2010)

$$\varepsilon_a = 1,24 \left(\frac{e_0}{T_a} \right)^{1/7} \quad (9)$$

em que a pressão do vapor saturado, e_0 , é estimada em função da temperatura do ponto de orvalho, Td (K), conforme a expressão (Ryu et al., 2008)

$$e_0 = 6,11 \exp \left[\frac{19,59(Td - 273,3)}{Td} \right]. \quad (10)$$

Por falta de informações do produto MOD07 em dias com presença de nuvem, a temperatura do ar e do ponto de orvalho foram estimadas conforme as expressões (Bisht and Bras, 2010):

$$T_a = T_s - 4,35 K \quad (11)$$

$$T_d = T_s - 16,01 K \quad (12)$$

onde a T_s é a temperatura da superfície fornecida pelo produto MOD06.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2, conforme dados do produto MOD06 do dia 266 de 2005, ilustra-se a variação da fração de nuvens, da espessura óptica e da *ROCD*. A espessura óptica, ilustrada na Figura 2.b, foi escalada considerando a nuvem puramente dispersiva e fator de assimetria de 0,87. O interior do círculo, na parte superior da figura, indica o local de prova ilustrado na Figura 1. Nos pixels totalmente cobertos por nuvens e espessura óptica próxima a 2, a radiação solar é aproximadamente 200 W/m^2 , e onde os pixels não são cobertos por nuvens é de 930 W/m^2 .

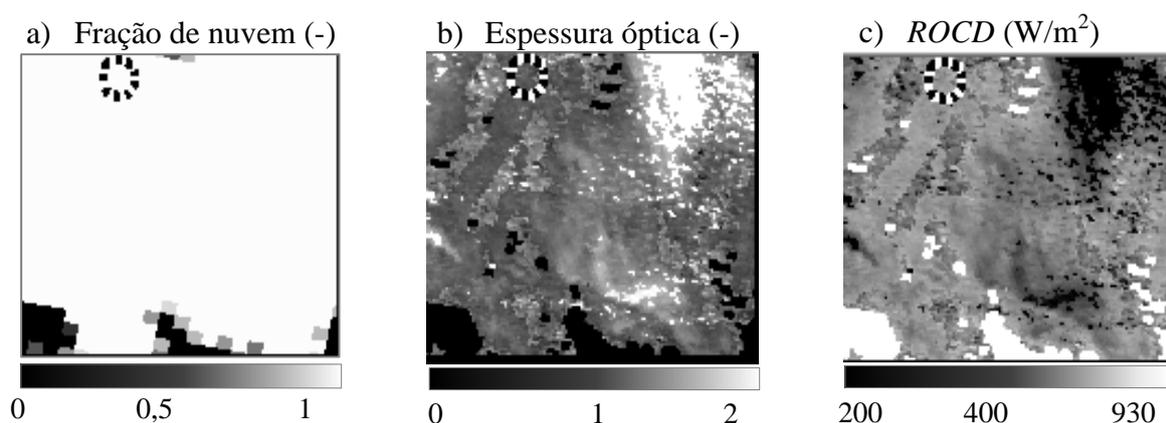


Figura 2. a), b) e c), ilustram a variação da fração de nuvem, da espessura óptica e da *ROCD*, respectivamente, no dia 266 de 2005.

Na Tabela 2, apresentam-se resultados obtidos no local de prova. Para cada dia, informam-se: a fração de nuvens, a espessura óptica após aplicação de um fator de escala, os fluxos e saldos de radiação observados com o CNR1 (-O) e estimados com a metodologia apresentada neste trabalho (-E). O ângulo zenital do sol variou entre 23° no dia 246 de 2005 e 33° no dia 221 de 2006, já o albedo variou entre 0,13 no dia 221 de 2006 e 0,18 no dia 342 de 2005. Considerando o conjunto de medidas dos cinco dias, observa-se que o erro médio quadrático no cálculo da *ROCD* é de $34,7 \text{ W/m}^2$, o qual está conforme Bisht and Bras (2010) que encontraram erro de 37 W/m^2 . Quanto a *ROCD*, o erro é maior nos dias 246 ($+46 \text{ W/m}^2$) e 342 ($-49,8 \text{ W/m}^2$). É possível que esses desvios sejam decorrentes de incertezas relativas à profundidade óptica e ao local exato de prova, uma vez que medições em um único ponto nem sempre são suficientes para comparar resultados obtidos com dados de sensoriamento remoto com resolução maior que 1 km. Os demais resultados, relativos às componentes de radiação de onda longa, *ROLD* com erro de $27,1 \text{ W/m}^2$, *ROLA* com erro de $28,8 \text{ W/m}^2$ e o

saldo de radiação SR com erro de $27,4 \text{ W/m}^2$, estão de acordo com os resultados obtidos por Bisth and Braz (2010).

Tabela 2. Componentes e saldo de radiação obtidos no local de prova.

Dados de Radiação (W/m^2), Fração de Nuvens (-) e Espessura óptica (-)										
Dia/ano	Fr-nuvens	Es-óptica	ROCD-E	ROCD-O	ROLD-E	ROLD-O	ROLA-E	ROLA-O	SR-E	SR-O
246-05	0,64	1,2	501,9	455,8	430,3	442,1	511,7	470,7	347,9	379,8
266-05	1	0,23	741,5	755,0	443,1	401,6	518,3	476,7	547,6	544,0
340-05	1	0,32	670,9	703,5	441,1	418,3	513,3	495,4	477,2	527,1
342-05	0,84	0,92	415,1	464,9	465,8	439,5	494,9	479,1	309,9	325,8
221-06	1	0,45	596,7	587,2	412,7	437,4	474,1	461,5	455,7	453,4
Erro médio quadrático			34,7		27,1		28,8		27,4	

4. Conclusões

Os resultados mostram que é possível obter o saldo de radiação instantâneo, com boa precisão, em condições de céu nublado, usando apenas produtos MODIS. Todavia, para conclusões mais acuradas, é necessária a utilização de mais dados e mais resultados.

Devido a problemas de georreferenciamento, os dados de nuvens fornecidos pela plataforma Terra, com resolução de espacial de 5 km, deixam muitas incertezas para uso em pequenas áreas. De modo que para comparar resultados estimados a partir de produtos MOD06 com dados observados a superfície, seria interessante ter uma malha de medições sobre um local com área retangular duas ou três vezes maior que a de um pixel do satélite, ou mesmo uma área homogênea com essa dimensão.

Agradecimentos

Os autores são gratos a UEPB pelo apoio e incentivo recebido para a realização deste trabalho e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica ao segundo e terceiro autor.

Referências Bibliográficas

- Bisht, G. and Bras, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing Environment**, 114(7), 1522 -1534, 2010.
- Di Long; Gao, Y.; Singh, V. P. Estimation of daily average net radiation from MODIS data and DEM over the Baiyangdian watershed in North China for clear sky days. **Journal of Hydrology**, 388, 217 - 233, 2010.
- Tang, B. & Li, Z. L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud free data. **Remote Sensing Environment**, 112, 3482-3492, 2008.
- Wang, W. and Liang, S. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing Environment**, 113, 745 -754, 2009.
- Ryu, Y.; Kang, S.; Moon, S-ki and Kim, J. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. **Agricultural and Forest Meteorology**, 148, 1538 - 1552, 2008.
- Slingo, A. A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. **Journal of Atmospheric Sciences**, 46(10), 1419-1427. 1989.
- Souza, J. D.; Silva, B. B. e Ceballos, J. C. Estimativa da Radiação Solar Global à Superfície usando um Modelo Estocástico: Caso sem Nuvens, **RBGF**, v. 26, 31-44, doi: 10.1590/S0102-261X2008000100003, 2008.
- Zillman, J. W.A study of some aspects of the radiation and heat budgets of the southern hemisphere oceans, meteorological study 26. Canberra, Australia: **Commonwealth Bureau of Meteorology**. 1972