

Um método simples para estimar radiação solar na superfície com presença de nuvens na atmosfera

Juarez Dantas de Souza¹
Arthur Cantalice Couto²
Lidiane Ramos do Nascimento³

^(1,2,3)Universidade Estadual da Paraíba –UEPB/CCT
Caixa Postal 781/791- Campina Grande - PB, Brasil.
⁽¹⁾juarezdantas@hotmail.com, ⁽²⁾arthurcantalice@hotmail.com,
⁽³⁾llidianeramos@gmail.com

Abstract. The products derived from the MODIS sensor are known for their accuracy and have been used for various purposes. The quality of these products has been proven by users but improvements are still accomplished for new collections. It happened with the cloud products collections 5 and 6. The aim of this paper is to provide a simple method to estimate instantaneous solar radiation at the surface using the cloud optical properties derived from MODIS cloud product (MOD/MYD06) Collection 6. Many papers have been published aiming the same objective. However, physical methods are more accurate and are references to produce simplified methods. In this work, the method was developed using a radiative transfer model, based on the two-stream method, with the atmosphere divided into 40 layers with thickness between 23 and 25 mb. As a result, a very simple algorithm is applied to the entire atmospheric layer. The method was applied at three different sites in rural northeastern Brazil, where the observed clouds have optical depth within the range 1.7 to 26 (-). The results attest the efficiency of the proposed method. The comparison between estimated and observed values on the surface shows a mean absolute relative error of 12%, a mean absolute error of 58 W/m² and a RMSE of 70 W/m², while existing methods present a RMSE between 90 and 100 W/m².

Palavras-chave: MODIS product, collection 6, algorithm, produtos MODIS, coleção 6, algoritmo.

1. Introdução

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 derivados do sensor MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer), à bordo dos satélites Terra e Aqua da missão Earth Observing System (EOS), que passam pela linha do equador aproximadamente às 10:30 e 13:30 h, têm sido muito utilizados. Esses produtos disponibilizam dados gratuitamente duas vezes ao dia para várias aplicações e são adequados para estimar a radiação solar a superfície (Tang et al, 2006).

As aproximações de dois fluxos são muito usadas em processos de transferência radiativa na atmosfera. Esses métodos são aplicados a uma atmosfera dividida em várias camadas e em cada camada parametrizações são feitas para ajustar as propriedades resultantes da mistura entre os constituintes atmosféricos presentes. A complexidade desses métodos e a falta de praticidade para uso em aplicações com dados de imagens de satélite restringem sua utilização. Portanto buscam-se métodos mais simples. Para estimar radiação solar na superfície com dados de produtos MODIS, Bisht and Bras (2010), usando a expressão proposta por Zillman et al (1972) e Slingo (1989), apresentaram um método que funciona com poucas informações (Temperatura no topo da nuvem, nebulosidade, emissividade da nuvem e Temperatura da superfície) oferecidas no produto de nuvens MODIS. Esse método não apresenta um fator de escala para adequar a profundidade óptica fornecida, sugerindo que o método deve ser aplicado apenas para situações em que a profundidade óptica das nuvens seja inferior a 3 ou 4 (-). Chen et al, (2014) usaram o método de dois fluxos para estabelecer um modelo empírico de duas camadas, o método apresenta bons resultados, mas não tem a mesma simplicidade que o método de Bisht and Bras (2010).

2. Metodologia

Neste trabalho foram utilizados dados de nuvem da coleção 6 das plataformas Terra e Aqua (MOD/MYD06), dados de altitude de superfície (MOD03) e medições em locais de prova, ilustrados na Figura 1. As medições em Quixeré-CE ($5^{\circ}06'07''S$; $37^{\circ}50'35''W$) e Gurjão-PB ($7^{\circ}16'25''S$; $36^{\circ}30'55''W$) foram realizadas com um CNR1 (Saldo radiômetro, produto da Kipp & Zonnen) e em São João do Cariri-PB ($7^{\circ}22'16''S$; $36^{\circ}32'07''W$) com uma estação DAVIS-PRO. Os dados de nuvens foram derivados do produto MOD/MYD06 da coleção 6. Em Quixeré foram usadas imagens dos dias: 246, 294, 340 e 342 de 2005 e 221 de 2006 todas da Plataforma Terra; em Gurjão foram usadas imagens dos dias 182, 191, 202 e 203 de 2005 das plataformas Terra e Aqua, e em São João do Cariri imagens dos dias 193, 195, 200, 209, 213, 227 e 232 de 2012 das plataformas Terra e Aqua.

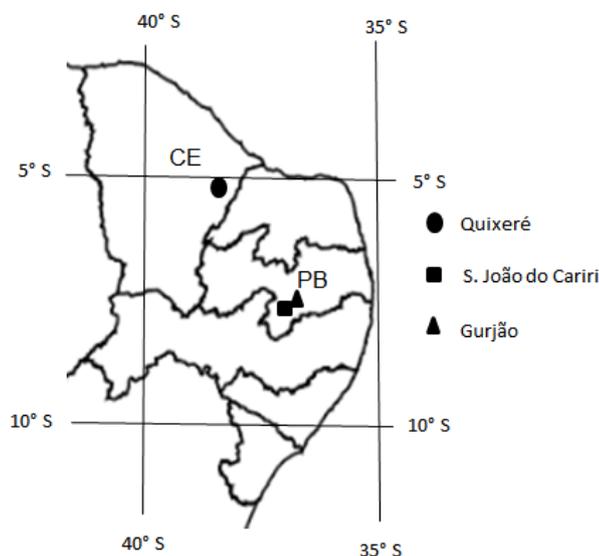


Figura 1. Locais de prova na zona rural das cidades de Quixeré no estado do Ceará, Gurjão e São João do Cariri no estado da Paraíba.

Na região dos locais de prova a atmosfera pode ser considerada limpa com pouca carga aerossol, de forma que vários métodos empíricos, considerando apenas informações do ângulo zenital do sol e do conteúdo de vapor de água, estimam com boa precisão a transmitância da atmosfera. Com a presença de nuvens na atmosfera a situação se complica. Para estimar a radiação solar na superfície (RSS) com a presença de nuvens na atmosfera, uns métodos usam formalismos simples tendo a atmosfera uma só camada, outros dividem a atmosfera em duas ou mais camadas. Bisht and Bras (2010), apresentam um formalismo muito simples aplicado a uma só camada onde a RSS pode ser calculada em função do ângulo zenital do sol (θ), da pressão parcial do vapor de água (e_0), da fração parcial de nuvem na atmosfera (fn) e da profundidade óptica (τn), mas apresenta problemas para profundidades ópticas maiores que 5. Chen et al (2014), divide a atmosfera em duas camadas uma com e outra sem nuvens. Neste trabalho, a atmosfera tem uma única camada. Fazendo algumas simulação com um método de dois Fluxos (Souza et al, 2008), adaptado para quarenta camadas e inclusão de nuvens, foi feito um ajuste no formalismo apresentado por Bisht and Bras (2010). Foi introduzido um fator de escala em função de τn , albedo simples (ω) e fator

de assimetria (g), para definir uma profundidade óptica efetiva (τ^*) tal que; $\tau^* = f(\tau n, \omega, g)$. Assim, levando em conta o fator de correção de excentricidade da órbita terrestre (Eo), RSS (W/m^2) foi estimada mediante a expressão:

$$RSS = Eo.RSS^*[(1 - fn) + fn.e^{-\tau^*.mo}] \quad (1.a)$$

onde:

$$RSS^* = \frac{1367 \cos^2(\theta)}{1,085 \cos(\theta) + e_0 [2,7 + \cos(\theta)] \times 10^{-3} + 0,17}; \quad (1.b)$$

$$e_0 = 6,11 \exp\left[\frac{19,59(Td-273,3)}{Td}\right]; \quad (1.c)$$

$$\tau^* = \tau n(1 - \omega g)(1 - 0,1^{2,29/\tau n}) \quad (1.d)$$

$$Td = 0,17H. \quad (1.e)$$

Em que Td (K) é a temperatura do ponto de orvalho e H (km) é a altura da base da nuvem, deduzida da altitude da superfície e do topo da nuvem, levando em conta a espessura geométrica da nuvem.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1, apresentam-se resultados estimados com dados dos satélites Terra (T) e Aqua (A). Para cada local e dia apresentam-se valores da RSS estimada ($RSSe$) e observada ($RSSo$), valores da profundidade óptica das nuvens (Prof. óptica), o erro médio absoluto (EMA), o erro médio absoluto relativo (EMAR) e a raiz do erro médio quadrático (REMQ) mais conhecido como “*root mean square erro (RMSE)*” onde:

$$EMA = \sum \frac{|RSSe - RSSo|}{n} \quad (2.a)$$

$$EMRA = \sum \frac{|RSSe - RSSo|}{(RSSo)} \quad (2.b)$$

$$REMQ = \sqrt{\sum \frac{[RSSe - RSSo]^2}{n}} \quad (2.c)$$

Nos locais de prova à profundidade óptica fornecida nos produtos MODIS (τn) variou entre 1,7 e 26 (-) enquanto a profundidade óptica efetiva (τ^*) variou entre 0,21 e 0,62 (-).

Considerando todas as situações a média total de $RSSe$ é $502 W/m^2$ e da $RSSo$ é $506 W/m^2$, $EMA = 58 W/m^2$, $EMRA = 12\%$ e $REMQ = 70 W/m^2$. Em cada local, Quixeré, Gurjão e São João do Cariri a $REMQ$ é 30,9; 92,2 e $70 W/m^2$, respectivamente. A quantidade de dados em Quixeré e Gurjão é pequena para concluir sobre a eficiência do método nestes locais. Comparando dados disponibilizados da coleção 6 e da coleção 5, observamos diferenças significativas nos dados da profundidade óptica nos locais de prova, bem como existência de dados em uma coleção e ausência em outra.

Os dados mostram que o ajuste feito na profundidade óptica reproduz bons resultados para τn entre 1,7 e 26. Enquanto a $RSSe$ apresenta um erro significativo na situação 232 (A) onde a profundidade óptica é 5,82; em outras situações onde a profundidade óptica é maior o

erro é menor. Como o método é empírico e a intensidade da RSS é inversamente proporcional à intensidade da profundidade óptica, ou seja; quanto maior a profundidade óptica, menor a RSS, esse tipo de erro deve ter a contribuição de algumas incertezas. Nesse caso, podemos considerar que os erros nas situações 182(T) e 203(A) e nas demais envolvem um conjunto de incertezas, dentre elas; nivelamento exato do pirômetro, problemas de georreferenciamento do ponto, precisão dos dados de nuvens referentes ao local de prova, principalmente nebulosidade e profundidade óptica.

Tabela 1. Comparações de resultados da RSS (W/m^2) obtidos no local de prova.

Local	Dia	Prof. óptica	RSSe	RSSo	EMA	EMRA	REMQ
Quixeré	246(T)	10,3	537	566	29	5,1%	31
	340(T)	4,3	659	703	44	6,3%	
	342(T)	3,4	689	698	9	1,3%	
Gurjão	182(T)	21,3	379	492	113	23,0%	93
	191(T)	15,8	423	408	15	3,7%	
	202(T)	1,7	604	691	87	12,6%	
	203(A)	2,9	503	620	117	18,9%	
São J. do Cariri	193(T)	7,0	459	563	104	18,5%	68
	195(T)	25,8	391	382	9	2,4%	
	200(T)	16,9	425	380	45	11,8%	
	209(T)	11,3	473	430	43	10,0%	
	213(T)	3,4	602	630	28	4,4%	
	227(T)	19,3	442	399	43	10,8%	
	200(A)	24,5	344	294	50	17,0%	
	209(A)	3,9	651	554	97	17,5%	
213(A)	6,9	481	446	35	7,8%		
232(A)	5,8	478	353	125	35,4%		
Totais (W/m^2):			502	506	58	12%	70

Os dados apresentados na Tabela 1 referen-se a valores estimados em pixels com resolução espacial de 1 km, que podem ter erros de georreferenciamento (o pixel observado pode não ser o mesmo pixel da imagem). Considerando a possibilidade de erro de georreferencimanrto num raio de dois pixels, na Tabela 2 apresentams-e resultados de RSSe relativos ao valor médio de uma área de 5 x 5 pixels, com o local de provas inserido no centro da área, conforme ilustra-se na Figura 2. A RSSe não foi estimada em alguns pixel por falta de informações dos produtos de nuvens. Em algumas situações existe variações significativas no valor da profundidade óptica. De forma natural, verifica-se uma alteração em relação aos dados apresentados na Tabela 1, principalmente em Quixeré, enquanto que em São J. do Cariri a diferença é pequena. O acréscimo superior a 100% em Quixeré é perfeitamente justificado tendo em vista que nas situações 221(T) e 294(T), por falta de dados, não tem resultado da RSSe no ponto de prova. Por outro lado a média da profundidade óptica na área considerada em 342(T) é maior que a observada no ponto de prova, contribuindo para aumentar o erro em relação a RSSo. Mesmo assim, observa-se que a RMSE total ($84 W/m^2$) é menor que as encontradas por Qin et al (2015) ($100 W/m^2$) e Tang et al (2016) ($98,5 W/m^2$).

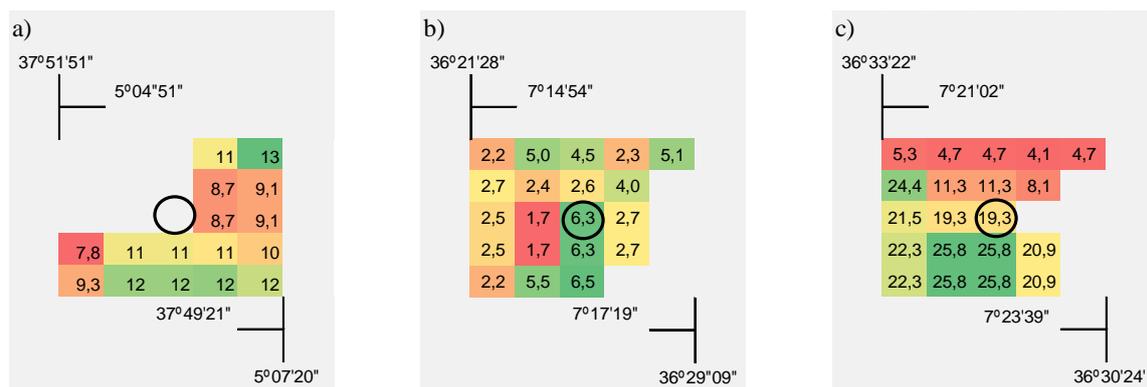


Figura 2. Variação da profundidade óptica das nuvens nas situações: a) Quixeré 221(T), b) Gurjão 202(T) e c) São J. do Cariri 227(T). O pixel circulado corresponde ao ponto de provas.

Tabela 2. Valores médios da RSS (W/m^2) relativos a uma área de 5 x 5 pixels comparados com valores observados no local de provas.

Local	Dia	Prof. óptica	RSSe	RSSo	EMA	EMRA	REMQ
Quixeré	221(T)	10,2	433	481	48	10%	74
	246(T)	10,6	529	566	37	7%	
	294(T)	7,3	726	648	78	12%	
	340(T)	4,3	636	703	67	10%	
	342(T)	5,0	582	698	116	17%	
Gurjão	182(T)	19,6	383	492	109	22%	108
	191(T)	15,4	426	408	18	4%	
	202(T)	3,3	570	691	121	18%	
	191(A)	17,0	453	408	45	11%	
	203(A)	10,3	429	600	171	29%	
São J. do Cariri	193(T)	6,0	486	563	77	14%	71
	195(T)	25,0	387	382	5	1%	
	200(T)	17,0	420	380	40	11%	
	209(T)	9,5	487	430	57	13%	
	213(T)	6,5	529	630	101	16%	
	227(T)	16,3	472	399	73	18%	
	232(T)	28,3	482	353	129	37%	
	200(A)	28,4	340	294	46	16%	
	209(A)	8,7	464	554	90	16%	
	213(A)	9,1	405	446	41	9%	
227(A)	17,5	635	614	21	3%		
232(A)	6,8	465	353	112	32%		
Totais (W/m^2):			488	504	73	15%	84

A Figura 3 ilustra os resultados da Tabela 1. Dos 17 resultados da RSSe apenas 4 apresentam EMA entre $100 W/m^2$ e $125 W/m^2$, ou seja; em 76 % dos resultados estimados, o EMA é menor que $100 W/m^2$. Portanto, comparando com resultados estimados por Qin et al (2015) e Tang et al (2016), o método apresentado produz bons resultados.

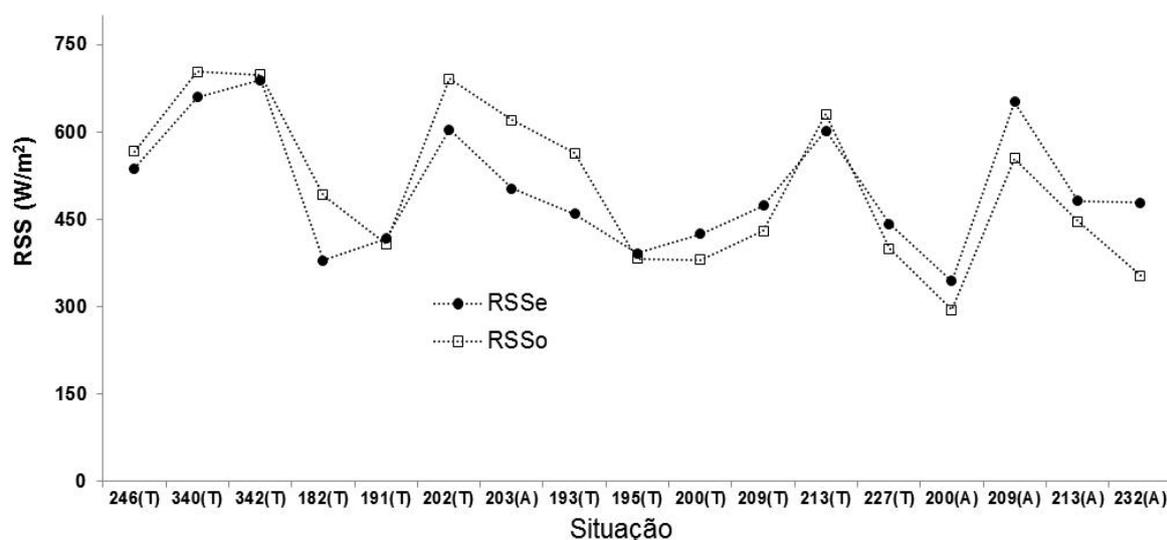


Figura 3. Ilustração dos resultados da Tabela 1.

4. Conclusões

Os resultados mostram que é possível estimar a radiação solar na superfície, 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 pelas plataformas Terra e Aqua, com resolução espacial de 5 km, deixam muitas incertezas para uso em pequenas áreas. De modo que para validar os dados referentes ao produto de nuvens MODIS, seria interessante ter uma malha de medições sobre um local com área retangular de pelo menos 5 x 5 satélite.

Além de gerar dados confiáveis, o método apresentado é bem mais simples e prático que outros métodos publicados recentemente.

Agradecimentos

Os autores são gratos a UEPB pelo apoio e incentivo recebido para a realização deste trabalho e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica ao segundo 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.
- 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.
- Chen, M.; Zhuang Q.; and He. Y An Efficient Method of Estimating Downward Solar Radiation Based on the MODIS Observations for the Use of Land Surface Modeling. **Remote Sensing Environment**, *6*, 7136-7157, 2014.
- Qin, J., W. Tang, K. Yang, N. Lu, X. Niu, and S. Liang (2015), An efficient physically based parameterization to derive surface solar irradiance based on satellite atmospheric products. **J. Journal of Geophysical Research**, *120*, 4975–4988. doi: 10.1002/2015JD023097.
- Tang, B.; Li, Z.L.; Zhang, R.: A direct method for estimating net surface shortwave radiation from MODIS data **Remote Sensing of Environment**, *103*,115–126, 2006.
- Tang, B. & Li, Z. L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud free data. **Remote Sensing Environment**, *112*, 3482-3492, 2008.



Tang, W.; Qin, J., Yang, K.; Liu, S.; L. Ning and Niu, X.: Retrieving high-resolution surface solar radiation with cloud parameters derived by combining MODIS and MTSAT data. **Atmospheric. Chemistry Physics.**, 16, 2543–2557, 2016.

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.