

## **Determinação do saldo de radiação em superfície com produtos do sensor MODIS.**

Kleber Renato da Paixão Ataíde  
Instituto Nacional de Meteorologia - INMET  
Eixo Monumental, Via S1 - fone: 61 3343 2167 – Brasília-DF, Brasil  
kleber.ataide@inmet.gov.br

### ***Abstract***

The energy from the Sun is the most important component in the development of the physical processes that influence the conditions of weather and climate in the Earth. The net radiation (Rn) is indispensable for assessment of evapotranspiration and is responsible for heating the soil and the lower portions of the atmosphere. The objective of this work is the determination of Rn using products MODIS. The study was applied to Frutacor farm in the state from Ceará. The results were validated with data collected in an automatic meteorological station and presented good agreement. The instantaneous net radiation calculated in the with MODIS/Terra it varied among 719 W m<sup>-2</sup> (85,7%) and 822 W m<sup>-2</sup> (99,4%), meaning differences of 96,7 W m<sup>-2</sup> and 4,1 W m<sup>-2</sup>, respectively and for MODIS/Aqua it varied between 601,5 W m<sup>-2</sup> and 707,1W m<sup>-2</sup>, values those that were satisfactory. This study got to reduce, of five for three, the number of products MODIS that Bisht *et al*, (2005) they used to estimate the net radiation in surface to reduce the necessary space in disk for storage of the same ones, turning most operational the process.

**Palavras-chave:** remote sensing, net radiation, meteorology, sensoriamento remoto, saldo de radiação, meteorologia.

## 1. Introdução

A energia proveniente do sol é o fator mais importante no desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima na Terra. O saldo de radiação ( $R_n$ ) representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre sendo definido como o balanço de radiação de todos os fluxos radiativos que chegam e saem de uma superfície (Klein *et al.*, 1977; Weligepolage, 2005) o qual é um componente fundamental para a estimativa do balanço de energia na superfície, previsão do tempo e aplicação na agricultura. Tendo em vista a importância do conhecimento da radiação solar disponível, do saldo de radiação em superfície este trabalho utilizou produtos dos sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) que estão a bordo dos satélites Terra e Aqua e parametrizações existentes para estimar o saldo de radiação solar na superfície para fazenda Frutacor, localizada no município de Quixeré no Ceará.

## 2. Sensor MODIS

Os satélites Terra e Aqua operam em órbita polar heliosíncrona, com inclinação de aproximadamente 98,2º, período orbital de 98,88 min e cruzamento equatorial aproximadamente às 10h30min e 13h30min, respectivamente. A altitude orbital média é de 705 km e a sua velocidade em relação ao solo é 6,7 km s<sup>-1</sup>. A distância entre órbitas adjacentes é de 172 km e o ciclo de re-ocorrência é de 16 dias no equador (Fonte: MODIS Website).

O sensor MODIS é o principal instrumento a bordo dos satélites Terra e Aqua e realiza observações de toda a superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias, em 36 bandas espectrais, que se situam entre 0,4 e 14,4 µm, distribuídos em diferentes grupos de resolução espacial. Estes dados contribuem para melhorar nossa compreensão da dinâmica global e os processos que ocorrem na superfície, nos oceanos e na atmosfera mais baixa.

## 3. Estimativa do saldo de radiação

Foram comparados dados de saldo de radiação medidos na torre meteorológica, durante o experimento de campo no período de estiagem com o saldo de radiação estimado, somente a partir de dados dos produtos MODIS (Terra e Aqua) para a fazenda Frutacor (5° 04' 35,38" S e 37° 51' 55,03" W), localizada no município de Quixeré, no estado do Ceará no instante da passagem dos satélites e para cada hora do período diurno para os dias 10/09 (dia 253), 25/09 (dia 268), 10/10 (dia 283), 14/10 (dia 287) e 25/10/2005 (dia 298)

O saldo de radiação ( $R_n$ ) na superfície pode ser expresso em termos de seus componentes como:

$$R_n = R_C^\downarrow - R_C^\uparrow + R_L^\downarrow - R_L^\uparrow$$

em que:  $R_C^\downarrow$  e  $R_C^\uparrow$  são as densidades do fluxo de radiação de onda curta incidente na superfície e emitida (W m<sup>-2</sup>), respectivamente, e  $R_L^\downarrow$  e  $R_L^\uparrow$  as densidades de fluxo de radiação de onda longa incidente e emitida (W m<sup>-2</sup>), respectivamente.

As radiações de onda curta podem ser expressas como:

$$R_C^\downarrow - R_C^\uparrow = (1-\alpha) R_C^\downarrow$$

em que:  $\alpha$  é o albedo da superfície terrestre (refletividade no domínio 0,3 - 4,0  $\mu\text{m}$ ) que representa a razão entre a radiação solar refletida e a radiação global incidente.

Várias parametrizações para a radiação de onda curta incidente têm sido apresentadas, neste estudo foi utilizado o esquema de parametrização desenvolvido por Zillman (1972), que utiliza a pressão parcial do vapor d'água e ângulo zenital solar, dado por:

$$R_C^\downarrow = \frac{S_0 \cos^2 \theta}{d}$$

com  $d = 1,085 \cos \theta + e_0 (2,7 + \cos \theta) \times 10^{-3} + 0,1$ ; em que  $d$  é a espessura ótica da camada,  $e_0$  é a pressão parcial do vapor de água (hPa),  $S_0$  é a constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ ) e  $\theta$  é o ângulo zenital solar.

Os dados dos produtos MOD07\_L2 e MYD07\_L2 (Terra e Aqua, respectivamente) utilizados neste estudo são extraídos das camadas 2, 83 e 103, e correspondem ao ângulo zenital do sol, temperaturas do ar e do ponto de orvalho, respectivamente, no nível de pressão de 1000 hPa. Essas temperaturas substituíram as médias de temperaturas necessárias do nível de altura de 2 m da superfície.

As temperaturas foram consideradas homogêneas sobre uma grade de 5 km x 5 km, conforme é distribuído nos produtos do satélite. A temperatura do ponto de orvalho é usada para calcular a pressão do vapor de água,  $e_0$  (hpa), pelo uso da equação de Clausius-Clapeyron, como:

$$e_0 = 6,11 \exp \left[ \frac{L_v}{R_v} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_d} \right) \right]$$

em que  $L_v$  é o calor latente de vaporização da água =  $2,5 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ ,  $R_v$  é a constante de vapor de água,  $461,50 \text{ Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  e  $T_0 = 273 \text{ K}$  (Vianello e Alves, 1987).

O balanço de radiação de onda longa representa o cômputo dos ganhos e perdas entre a radiação de onda longa emitida pela superfície do solo e a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície e pode ser expressa pela equação de Steffan-Boltzmann:

$$R_L^\downarrow - R_L^\uparrow = \sigma \varepsilon_a T_a^4 - \sigma \varepsilon_s T_s^4$$

em que  $\varepsilon_a$  é a emissividade do ar,  $\varepsilon_s$  a emissividade da superfície,  $T_a$  a temperatura do ar (K) no nível de 1000mb,  $T_s$  a temperatura da superfície (K) e  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Steffan-Boltzmann.

Prata (1996) desenvolveu uma parametrização para estimativa da emissividade atmosférica ( $\varepsilon_a$ ) usando a pressão de vapor da água e temperatura do ar, que foi usada para simplificar o método, qual seja:

$$\varepsilon_a = [1 - (1 + \xi) \exp\{-(1,2 + 3\xi)^{1/2}\}]$$

em que  $\xi = 46,5 e_0 / T_a$ . Outros parâmetros são obtidos usando dados dos produtos de superfície do MODIS (temperatura da superfície terrestre, emissividade para bandas 31, 32 e 29, e refletância direcional hemisférica, refletância bi-hemisférica e hora de passagem dos satélites) e também dados dos produtos atmosféricos do MODIS (Ângulo zenital solar, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho).

**Quadro 1** - Produtos MODIS utilizados no cálculo do saldo de radiação

Aqua	Terra	Produto	Resolução
MYD11A1_L3 MYD11B1_L3	MOD11A1_L3 MOD11B1_L3	*Temperatura da superfície e emissividade das bandas 29, 31 e 32. Hora de passagem do satélite.	1 km x 1 km (espacial) Diariamente
MYD07_L2	MOD07_L2	**Temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e ângulo zenital.	5 km x 5 km (espacial) Diariamente
MCD43B3_L3	MCD43B3_L3	*Albedo TERRA+AQUA	1 km x 1 km (espacial) Média de 16 dias (temporal)

\*Produto MODIS/ superfície

\*\*Produto MODIS/ atmosfera

Os produtos MOD11A1 e MYD11A1 contêm informações de temperatura da superfície e de emissividade para as bandas 31 e 32 em resolução espacial de 1 km e 5 km, respectivamente, para regiões sem cobertura de nuvens.

Os produtos MODIS MCD43B3 são armazenados em resolução de 1 km e são computados com base nas sete primeiras bandas espectrais desse sensor (bandas 1 a 7) de onde são produzidos albedos compreendendo diferentes faixas espectrais, quais sejam: 0,47 a 2,1  $\mu\text{m}$ , 0,3 a 0,7  $\mu\text{m}$ , 0,3 a 5,0  $\mu\text{m}$  e 0,7 a 5,0  $\mu\text{m}$ .

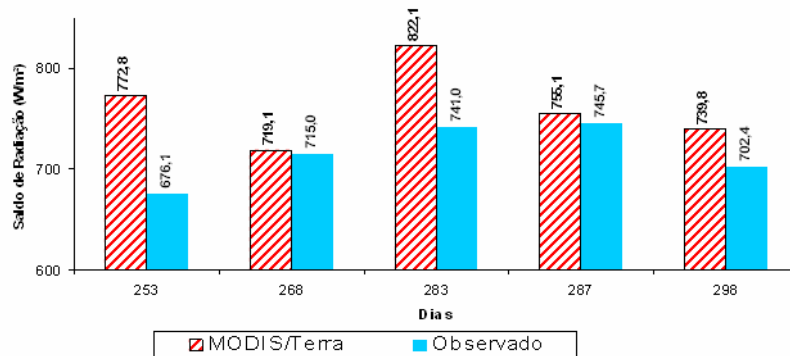
O produto de perfil atmosférico do MODIS consiste de diversos parâmetros obtidos vários por algoritmos descritos com detalhes em Menzel et al. (2002), tais como: total de ozônio, estabilidade atmosférica e perfis de temperatura e umidade. Todos estes parâmetros são produzidos para o período diurno e noturno em resolução espacial de 5 km por 5 km. A nomenclatura dos produtos de perfil atmosférico do MODIS/Terra e MODIS/Aqua é MOD07\_L2 e MYD07\_L2, respectivamente (MODIS Website).

#### 4. Resultados e discussões

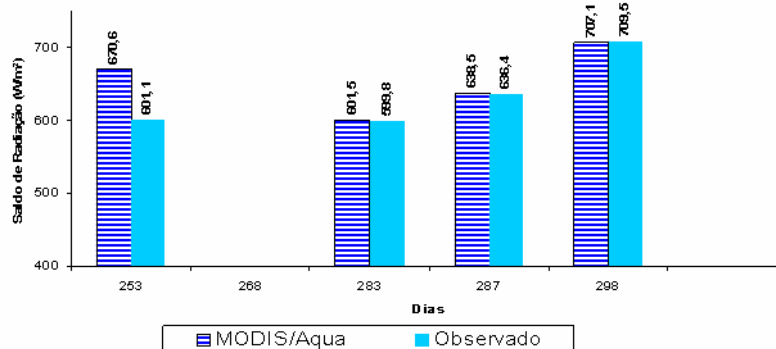
Os valores de saldo de radiação calculados pelo MODIS/Terra no instante de sua passagem para a fazenda Frutacor, localizada em Quixeré no Estado do Ceará, variaram entre 719,1  $\text{W m}^{-2}$  e 822,1  $\text{W m}^{-2}$ , apresentando resultados satisfatórios com porcentagem absoluta de aproximação entre 85,7% (10/set) e 99,4%(25/set), significando diferenças de 96,7  $\text{W m}^{-2}$  e 4,1  $\text{W m}^{-2}$ , respectivamente. Os resultados obtidos pelo MODIS/Aqua para o  $R_n$  foram entre 601,5 e 707,1

$W m^{-2}$ , com porcentagem absoluta entre 88,4% (10/set) e 99,7% (10, 14 e 25/out), significando diferenças de  $69,6 W m^{-2}$  e  $1,7 W m^{-2}$ , respectivamente.

As representações gráficas do comportamento do Rni estimado e o observado na fazenda estão nas Figuras 36 e 37, respectivamente, nas quais se observa as proximidades entre medidas e estimativas e os valores em  $W m^{-2}$  indicados sobre cada barra do gráfico.



**Figura 1** – Valores de saldo de radiação observados e estimados pelo MODIS/Terra



**Figura 2** - Valores de saldo de radiação observados e estimados pelo MODIS/Aqua

De forma geral, os resultados gerados pelo MODIS/Terra e pelo MODIS/Aqua superestimaram o saldo de radiação em superfície, mas, contudo, a metodologia utilizada neste estudo apresentou resultados satisfatórios de saldo de radiação instantâneo para a fazenda Frutacor durante os dias de estudo, tanto para o MODIS/Terra quanto para o MODIS/Aqua, mostrando ser capaz de estimar com boa precisão para grandes áreas heterogêneas sem necessidade de dados coletados em superfície para entrada no modelo.

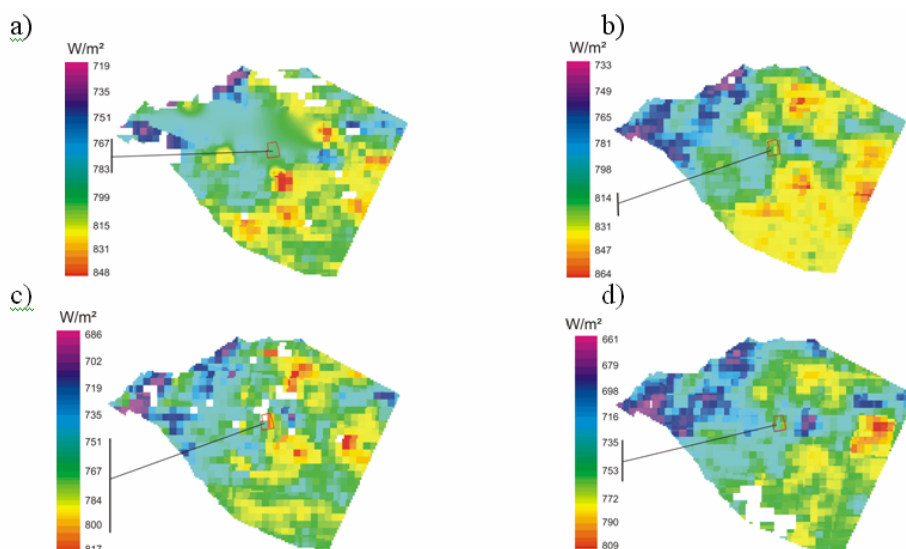
**Tabela 1** – Valores estimados, diferenças em  $W\ m^{-2}$  e percentagem absoluta entre valores estimados e observados na Fazenda Frutacor em Quixeré

Saldo de Radiação Instantâneo ( $W.m^{-2}$ )									
MODIS / Terra					MODIS / Aqua				
10/set	25/set	10/out	14/out	25/out	10/set	10/out	14/out	25/out	
772,8	719,1	822,1	755,1	739,8	670,6	601,5	638,5	707,1	
diferenças absolutas ( $W.m^{-2}$ )									
MODIS / Terra					MODIS / Aqua				
10/set	25/set	10/out	14/out	25/out	10/set	10/out	14/out	25/out	
96,7	4,07	81,1	9,36	37,4	69,6	1,7	2,16	2,4	
Percentagem absoluta (%)									
10/set	25/set	10/out	14/out	25/out	10/set	10/out	14/out	25/out	
85,7	99,4	89,1	98,7	94,7	88,4	99,7	99,7	99,7	

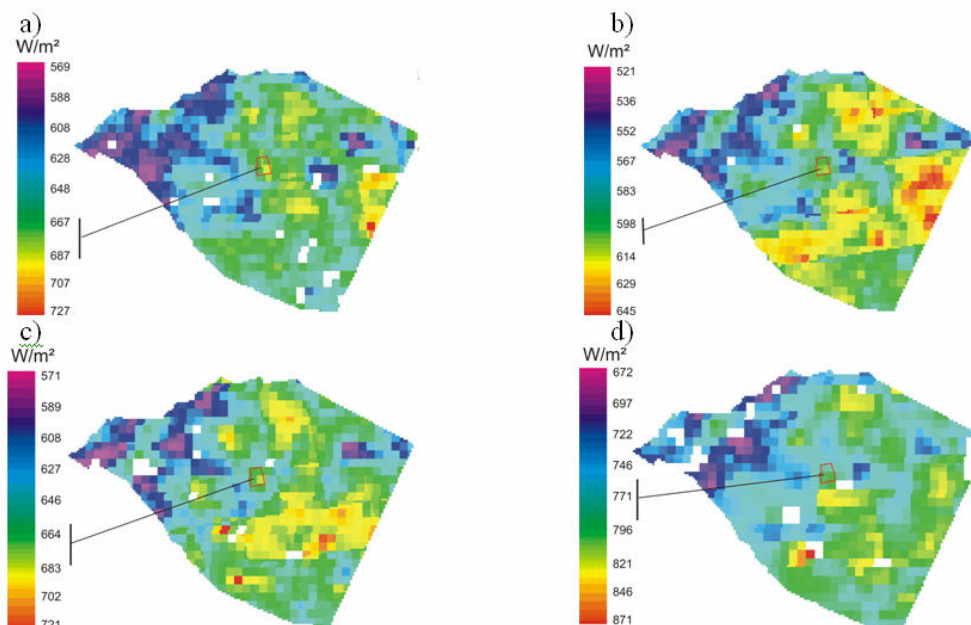
Foram obtidas cartas de saldo de radiação após o processamento dos produtos MODIS/Terra e MODIS/Aqua, as quais resultaram da interação de imagens com resoluções espaciais de 1 km por 1 km e de 5 km por 5 km, tendo assim, a identificação dos alvos em superfície prejudicada, como por exemplo, a própria Fazenda Frutacor, a qual é coberta por poucos pixels na imagem.

Então, o que se observa é um valor médio para áreas homogêneas de  $1\ km^2$ , em que os valores médios dessas áreas maiores representam os valores observados em superfície com boa aproximação.

A distribuição espacial do saldo de radiação ( $W\ m^{-2}$ ), obtida para o município de Quixeré com imagens do MODIS/Terra (Figura 3) e MODIS/Aqua (Figura 4), é apresentada a seguir para cada dia estudado, identificadas pelo seu dia de ordem do ano, em que os valores podem ser observados na barra de escala à esquerda e as áreas brancas significam cobertura de nuvens.



**Figura 3** – Cartas de saldo de radiação durante a passagem do MODIS/Terra para Quixeré-CE: a) 10/09/05, b) 10/10/05, c) 14/10/05, d) 25/10/05



**Figura 4** - Cartas de saldo de radiação durante a passagem do MODIS/Aqua para Quixerê-CE: a) 10/09/05, b)10/10/05, c)14/10/05, d)25/10/05

A área em destaque nos mapas representa os limites da fazenda Frutacor, onde foram coletados os componentes do balanço de radiação para validar os resultados obtidos pelos satélites Terra e Aqua.

A técnica aplicada conseguiu estimar valores coerentes para a fazenda Frutacor. Com imagens dos produtos MODIS (Terra e Aqua) é possível supor que as estimativas feitas para todo o município e até mesmo para grandes áreas heterogêneas tenham resultados satisfatórios.

A partir das imagens de  $R_n$  em áreas de céu claro, é possível estimar este parâmetro, por interpolação, para as áreas próximas que possuem cobertura de nuvens ou até mesmo falhas de imagem no momento da passagem do satélite, apresentando resultados mais próximos do que os obtidos por técnicas de interpolação baseada em apenas alguns pontos de observação dispersos na superfície ou por equações empíricas.

## 5. Conclusão

A grande vantagem do método empregado é a sua simplicidade e a necessidade de apenas produtos do sensor MODIS (Terra/Aqua) disponíveis gratuitamente na internet e sua aplicabilidade para estimativas em grandes áreas heterogêneas representando grande importância para as regiões com clima árido e sem-árido, nas quais, a água é um fator limitante para produção agrícola, onde a evaporação e a evapotranspiração dos seres vivos está diretamente relacionada à energia disponível em superfície. Para estudos posteriores é interessante que sejam aplicados estudos que estimem a evapotranspiração em grandes áreas também utilizando produtos MODIS.

## 6. Bibliografia

- Barker, J. L., Herden, M. K., Anuta, e. A., Smid, J. E., Hought, d. (1992). **MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization**, October, 84p.
- Bisht, G.; Venturini, V.; Islam, S., Jiang, Le, **Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days**, Remote Sensing of Environment, v.97, p.52-67, 2005.
- Justice, C. O. Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Salous, N., Roy, d. P., Morisette, J. T. (2002a). **An overview of MODIS Land data processing and product status. Remote Sens. Environ.** 83: 3 – 15.
- Klein, S. A. **Calculation of Monthly Average Insolation on titled surfaces**. Solar energy, v.9, p.325-329, 1977.
- Menzel, W. P.; Seemann, S. W.; Li, J.; Gumley, L. E. **MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document**, Version 6, Reference Number: ATBD-MOD-07, 2002. Disponível em: [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod07.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod07.pdf). Acessado em 20 Out. 2005.
- Solomonson, V. V., E Toll, D. L. (1991). **Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS moderate resolution imaging spectrometer-nadir (MODIS-N) facility instrument**. Advances in Space Research, 11(3), 231-236.
- Vianello, Rubens L.; Alves, Adilson R. **Meteorologia básica e aplicação**. Universidade Federal de Viçosa, p.449, 1987.
- Weligepolage, K. **Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration bay satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek**, The Netherlands, p.114, 2005.
- Zillman, J. W. **A study of some aspects of the radiation and heat budgets of the southern hemisphere oceans**, Meteorology Study 26, Bur. Of Meteorology Canberra, Australia Dept. of the Inter, 1972.

### Referências de internet:

**MODIS Website**, disponível em <<http://www.modis.gsfc.nasa.gov>>, acesso em: 10 jan. 2006.



Nome do arquivo: Trabalho\_SBSR  
Pasta: E:  
Modelo: C:\Documents and Settings\User\Dados de aplicativos\Microsoft Modelos\Normal.dot  
Título: DETERMINAÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO COM PRODUTOS DO SENSOR MODIS TERRA  
Assunto:  
Autor: sepra  
Palavras-chave:  
Comentários:  
Data de criação: 31/10/2006 14:18:00  
Número de alterações: 56  
Última gravação: 15/11/2006 11:13:00  
Salvo por: user  
Tempo total de edição: 311 Minutos  
Última impressão: 15/11/2006 11:21:00  
Como a última impressão  
Número de páginas: 8  
Número de palavras: 2.405 (aprox.)  
Número de caracteres: 12.992 (aprox.)