

# VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DO BALANÇO DE RADIAÇÃO PARA A ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE COM BASE EM IMAGENS DO MODIS/TERRA

MADSON T. SILVA<sup>1</sup>, DANIELSON J. D. NEVES<sup>2</sup>,  
ARGEMIRO L. ARAUJO<sup>3</sup> & AYOBAMI I. Z. BADIRU<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Meteorologista, Doutorando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. Fone: (0 xx 83) 3310 1031 Ramal: 35, madson\_tavares@hotmail.com,

<sup>2</sup>Graduando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil,

<sup>3</sup>Químico Industrial, Doutorando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil,

<sup>4</sup>Tecnóloga em Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, IFPB, João Pessoa – PB, Brasil.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**Resumo:** Santiago é uma das ilhas que compõem o arquipélago de Cabo Verde, localizada na zona subsaariana de clima semi-árido, apresentando uma composição rochosa vulcânica e uma acentuada variação espacial das condições climáticas. O presente trabalho teve por objetivo a obtenção do saldo de radiação da superfície da ilha de Santiago, por meio das refletâncias obtidas como produto gerado a partir do Terra – MODIS (MOD09). Para isso foram utilizados os Softwares Erdas 9.2 e o ArcGis 9.3, para além das imagens Terra-MODIS referentes aos dias 15 de Julho (DAS= Dia Sequencial do Ano 196), 15 de Agosto (DAS 227), 15 de Setembro (DSA 258) e 15 de Outubro (DSA 288) do ano de 2010 para obtenção de mapas temáticos do saldo de radiação à superfície usando um algoritmo simplificado para cômputo do balanço de radiação. Observou-se valores médios do saldo de radiação na faixa de 770 a 820 Wm<sup>-2</sup> para a região de estudo, que corroboram com valores encontrados na literatura.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, África, produto MOD09, SEBAL.

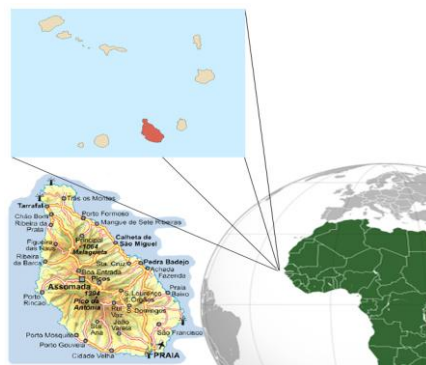
## SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF NET RADIATION ISLAND OF SANTIAGO – CAPE VERDE BASED SPECTRAL IMAGES OF MODIS/TERRA

**Abstract:** Santiago is one of the islands that form the archipelago of Cape Verde, located in the Sub – Saharan Zone in semi-arid climate, featuring a volcanic rock composition and a sharp spatial variation of climatic conditions. This study aimed to obtain the net radiation from the surface of the island of Santiago, through the reflectance obtained as a product generated from the Earth – MODIS (MOD09). Thereunto it was used the softwares Erdas 9.2 and ArcGis 9.3, in addition to the Images Earth-MODIS that were acquired referring to the days July 15<sup>th</sup> (YSD = Year Sequential Day's 196), August 15<sup>th</sup> (YSD 227), September 15<sup>th</sup> (YSD 258) and October 15<sup>th</sup> (YSD 288) in the year 2010, to obtain thematic maps of net radiation at the surface using a simplified algorithm for computation of the radiation balance. We observed that mean values of net radiation in the range from 770 to 820 Wm<sup>-2</sup> for the study area, corroborated with value's literature.

**Keywords:** remote sensing, Africa, product MOD09, SEBAL

**Introdução:** Nas últimas décadas o Sensoriamento Remoto tem assumido grande importância no monitoramento dos recursos naturais terrestres e nos diversos fenômenos meteorológicos em que o mesmo se encontra envolvido, oferecendo grande suporte às previsões de tempo e melhor gerenciamento dos recursos hídricos. Através do sensoriamento remoto é possível obter valores do saldo de radiação espacializados para amplas áreas e calibrar modelos hidrológicos que venham a colaborar com um melhor gerenciamento de recursos hídricos. (Oliveira et al., 2009). Com o cômputo dos componentes do balanço de radiação, obtém-se o saldo de radiação (Rn), ou seja, a energia restante na superfície que é utilizada principalmente nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e do solo. Nos últimos anos têm sido propostos alguns algoritmos para a análise da cobertura do solo e cálculo do balanço de energia à superfície. O modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) tem sido bastante aplicado em diversos agrossistemas porque leva em consideração a variabilidade espacial de muitos elementos micrometeorológicos (Bastiaanssen et al., 1998). Nesse particular, considerando a importância do conhecimento dos fluxos de energia sobre superfícies vegetadas, este trabalho objetivou estimar o balanço de radiação usando imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA para a ilha de Santiago situada a sudeste do arquipélago de Cabo Verde.

**Material e Métodos:** A região de estudo contemplou a ilha de Santiago situada (entre os paralelos 14°54'N e 15°20'N e entre os meridianos 23°54'W e 23°46') a sudeste do arquipélago de Cabo Verde, sendo este um pequeno país insular africano de origem vulcânica localizado na costa ocidental Africana a 640 km a oeste de Dakar, Senegal. O arquipélago de Cabo Verde, representado na Figura 1, localiza-se na zona sub-saheliana, de clima árido ou semi-árido. Duas estações principais caracterizam o clima da ilha de Santiago: a estação seca ou “Tempo das brisas”, que vai de Dezembro a Junho, e a estação úmida ou “Tempo das águas” que vai Agosto a Outubro. Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição. A estação das águas, a mais quente, está intimamente ligada à deslocação para norte da zona de convergência intertropical, enquanto que na estação das brisas, mais fresca e seca, predomina a ação dos Alísios. (Victória et al., 2008). Utilizou-se imagens do produto MODIS/TERRA MOD09 com resolução espacial de 500 metros foram adquiridas no site Primary Data Search - WIST - NASA no endereço <<https://wist.echo.nasa.gov/api>> visando observar a variação do saldo de radiação à superfície para o período de julho a outubro de 2010. Para a obtenção do saldo de radiação à superfície (Rn) foi utilizado o software ERDAS 9.1, bem como na construção do banco de dados geográfico e na integração de todas as informações disponíveis da área de estudo.



**Figura 1.** Localização da área de estudo

De modo geral o  $R_n$  representa a contabilização dos fluxos radiativos à superfície, foi obtido através do cômputo dos fluxos ascendentes e descendentes das radiações de onda longa e curta na atmosfera a partir da Equação 1 proposta por (Bastiaanssen, 1998):

$$R_n = R_{S\downarrow} - \alpha R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que:  $R_{S\downarrow}$  = radiação de onda curta incidente ( $Wm^{-2}$ );  $\alpha$  = albedo da superfície (adimensional);  $R_{L\downarrow}$  = radiação de onda longa incidente ( $Wm^{-2}$ );  $R_{L\uparrow}$  = radiação de onda longa emitida ( $Wm^{-2}$ ) e  $\varepsilon_0$  = emissividade termal à superfície (adimensional). O termo  $(1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow}$  = representa a fração da radiação de onda longa incidente que é refletida pela superfície.

Para obtenção das componentes de  $R_n$ , foi usado parte do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) proposto por (Bastiaanssen et al., 1998), onde a radiação solar de onda curta incidente ( $R_{S\downarrow}$ ) foi determinada segundo a Equação 2:

$$R_{S\downarrow} = \frac{G_{sc} \cdot \cos\theta_{hor} \cdot \tau_{sw}}{d^2} \quad (2)$$

em que:  $G_{sc}$  = constante solar ( $1367 Wm^{-2}$ );  $\theta_{hor}$  = ângulo zenital solar;  $d^2$  = quadrado da distância relativa Terra-Sol e  $\tau_{sw}$  = transmissividade atmosférica (adimensional). O valor de  $\theta_{hor}$  foi obtido por meio do produto de geolocalização MOD03.

A transmissividade  $\tau_{sw}$  pode ser calculada de forma simples com auxílio do modelo do produto de geolocalização MOD03 e segundo (Allen et al., 2007) utilizando a Equação 3:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5}z \quad (3)$$

em que:  $z$  = elevação do pixel (m).

O albedo ( $\alpha$ ) foi calculado a partir da integração das reflectâncias das bandas utilizando uma função de ponderação. As reflectâncias foram obtidas por meio do produto MOD09, utilizando a Equação 4 proposta por (Allen et al., 2007):

$$\alpha = \sum_{b=1}^n [\rho_{s,b} W_b] \quad (4)$$

em que:  $W_b$  = coeficiente de ponderação (Tasumi et al., 2007), que representa a fração da radiação solar que ocorre na faixa espectral da referida banda  $b$ .

A radiação de onda longa emitida por cada pixel ( $R_{L\uparrow}$ ) e a radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície ( $R_{L\downarrow}$ ), foram obtidas com base nas equações (5) e (6) respectivamente:

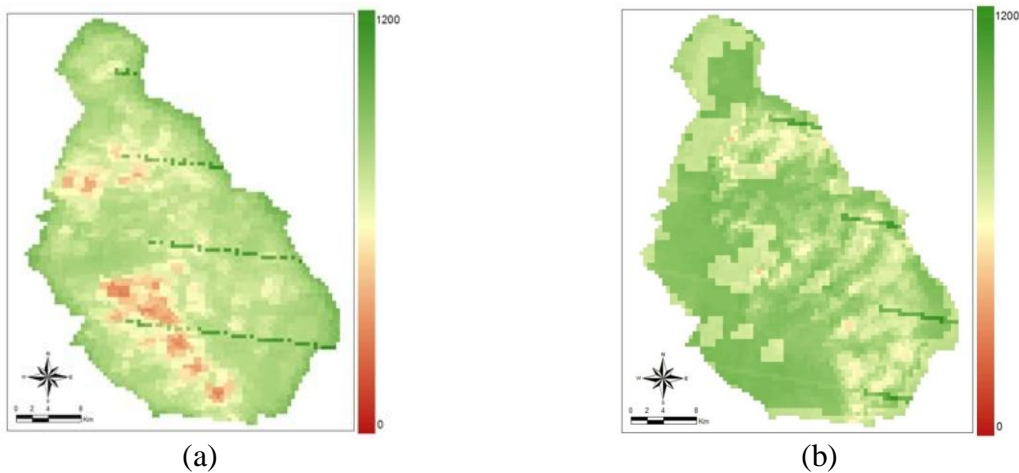
$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (5)$$

em que  $\varepsilon_0$  é a emissividade de cada pixel,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67.10^{-8} W.m^{-2} K^{-4}$ ),  $T_s$  = temperatura da superfície (K). A temperatura e emissividade da superfície foram obtidos por meio do produto MOD11.

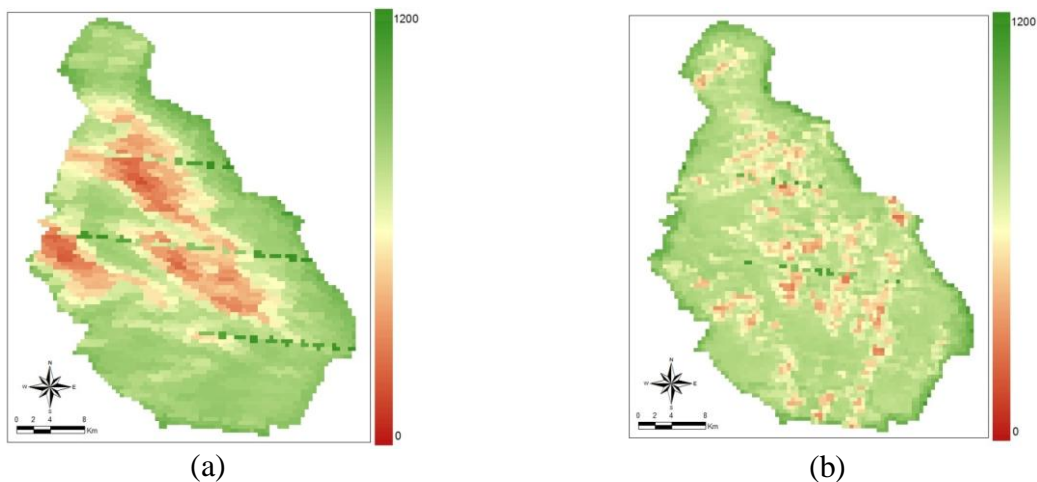
$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (6)$$

em que:  $\varepsilon_a$  = emissividade da atmosfera (adimensional) obtida pela seguinte equação  $\varepsilon_a = 0,85(-\ln\tau_{sw})^{0,09}$ ;  $T_a$  = temperatura do ar próximo à superfície (K). O valor de  $T_a$  foi obtido por meio da média climatológica das estações da ilha obtidas junto ao INMG (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica) e considerado constante para toda a cena.

**Resultados e Discussão:** A distribuição espacial do Rn para os dias 15 de julho e 15 de agosto de 2010 estão representadas nas Figuras 2a e 2b, respectivamente. Observa-se que os valores do Rn (Figura 2a) tendem a ser superiores a  $600 \text{ Wm}^{-2}$ , todavia são detectados núcleos ao sul onde os valores são inferiores a média, fator esse que pode ser explicado pelo recente período de estiagem. Os valores em verde representam maior saldo de radiação, enquanto os níveis próximos ao vermelho representam valores próximos a zero. Os valores baixos correspondem aos alvos urbanos como área construída ou solo exposto. Para os dias 15 de setembro e 15 de outubro de 2010, Figuras 3a e 3b, respectivamente, verifica-se incidência regiões com baixo saldo de radiação no centro-norte da ilha, a influência de sistemas dinâmicos pode ser o fato da geração desses núcleos, tendo em vista que no entorno os valores tendem a permanecer acima da média, outro fator é a proximidade com o oceano, onde as brisas são forçantes importantes no transporte de umidade para a ilha.



**Figura 2.** Espacialização do saldo de radiação (Rn) para os dias 15 de julho (a) e 15 de agosto de 2010 (b).



**Figura 3.** Espacialização do saldo de radiação (Rn) para os 15 de setembro (a) e 15 de outubro de 2010 (b).

A Tabela 1 apresenta os valores de alguns alvos escolhidos para comparação dos dados climatológicos de temperatura e evaporação média a fim de constatar alguma relação entre estas variáveis. De acordo com os dados da tabela evidencia-se que o Rn tende a seguir o comportamento da temperatura do ar observada. Apesar do valor mais baixo de Rn ter se situado em julho, a evaporação média da bacia é superior aos demais meses devido ao período chuvoso da região. Os valores de Ts, em média, seguem o comportamento do Rn e da Ta para a maioria dos casos.

**Tabela 1.** Valores de temperatura média do ar (Ta), evaporação média da bacia (Ev), temperatura da superfície (Ts) e saldo de radiação (Rn) para um alvo da região.

	<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>
<b>Ta</b>	25,33	26,17	26,43	26,11
<b>Ev</b>	152,21	123,08	117,75	136,60
<b>Ts</b>	23,05	32,61	23,33	26,53
<b>Rn</b>	<b>774,34</b>	<b>820,45</b>	<b>811,26</b>	<b>808,90</b>

**Conclusões:** Os valores de Rn se encontraram coerentes com os valores observados na literatura para esta faixa de latitude. O método se mostrou bastante simples, necessitando apenas de dados de temperatura do ar para execução do mesmo. Todos os outros parâmetros são obtidos a partir de produtos MODIS. A evaporação da bacia se mostrou de acordo com os valores de Rn encontrados. Sugere-se um estudo mais aprofundado e com mais detalhes para explorar melhor o computo do Rn e outros parâmetros na região de estudo, se possível comparando-se com outros sensores.

**Agradecimentos:** Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

### **Referências Bibliográficas**

Allen, R. G.; M. Tasumi R. Trezza. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. J. Irrig. Drain. Engr. v.133, n.4, p.380-394, 2007.

Bastiaanssen, W. G. M.; M. Menenti, R. A.; Feddes, A. A. M. Holtslag. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL):1. Formulation. J. Hydrol. v.212-213, p.198-212, 1998.

Oliveira, G. M. de.; Leitão, M. de. M. V. B. R. Estimativas de Evapotranspiração e as Conseqüências Devido aos Erros na Determinação de Saldo de Radiação e Efeitos Advectivos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.343-347. 2009

Victória, S. D. M. S.; Neves, L. J. P. F.; Pereira, A. J. S. C. Modelação da susceptibilidade a cheias através de Sistemas de Informação Geográfica: um caso de aplicação à região da Praia (Cabo Verde). 2008.