



I Workshop Internacional de Inovações
Tecnológicas na Irrigação
&
I Conferência sobre Recursos
Hídricos do Semi-Árido Brasileiro
26 a 28 de Setembro de 2007
Sobral - CE

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA UTILIZANDO OS ALGORITMOS SEBAL E S-SEBI

SANTOS, C. A. C. DOS¹; SILVA, B. B. DA²; RAO, T. V. R.² & BEZERRA, B. G.²

¹Doutorando em Meteorologia - Universidade Federal de Campina Grande, Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB, Brasil, CEP: 58.19-970 e-mail: carlostorm@gmail.com

²Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UFCG, Campina Grande – PB.

RESUMO: Essa pesquisa objetivou analisar o desempenho dos algoritmos SEBAL e S-SEBI na estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração diária (ET), utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat 5-TM. A principal diferença entre os algoritmos se apresenta no fato do S-SEBI não necessitar de informações da superfície para estimar os componentes do balanço de energia. Apresentando-se, assim, como um promissor algoritmo para ser utilizado em regiões onde existe escassez de estações meteorológicas. No entanto, a aplicação do algoritmo S-SEBI não é satisfatória para imagens que apresentam nuvens, mesmo que sejam ralas e de baixa densidade, uma vez que a presença das mesmas no interior da cena comprometeu substancialmente as estimativas dos fluxos H e LE, e por consequência, a obtenção da ET horária e diária.

Palavras – chave: Balanço de energia, sensoriamento remoto, fração evaporativa

ESTIMATE OF THE DAILY EVAPOTRANSPIRATION IN SEMI- ARID REGION USING THE ALGORITHMS SEBAL AND S-SEBI

ABSTRACT: The objective this paper is analyze the performance the algorithms SEBAL and S-SEBI in the estimating spatial distribution of the daily evapotranspiration (ET), using techniques of remote sensing and Landsat 5-TM images. To principal it differentiates among the algorithms comes in the fact of S-SEBI not to need of information of the surface to estimate the components of the energy balance. Coming as a promising algorithm to be used in areas where shortage of meteorological stations exists. However, the application of the algorithm S-SEBI is not satisfactory for images that present clouds, even if they are thin and of low density, once the presence of the same ones inside the scene committed the estimates of the flows substantially H and LE, and for consequence, the obtaining of hourly and daily ET.

Key-words: Energy balance, remote sensing, evaporative fraction



INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade por água doce pelos diferentes usuários, o monitoramento do uso da água, com técnicas de sensoriamento remoto, tem sido um tópico de interesse para o manejo e planejamento de recursos hídricos ao redor do mundo. Várias técnicas têm sido desenvolvidas com a finalidade de estimar a evapotranspiração (ET) através do sensoriamento remoto por satélite, a exemplo do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998a) e do S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index), proposto por Roerink *et al.* (2000).

O SEBAL é uma metodologia, destinada à estimativa da ET via o cômputo do balanço de energia à superfície (Tasumi & Allen, 2007; Bastiaanssen *et al.*, 1998a), e tem sido validado em várias localidades do mundo, incluindo áreas na Espanha, Turquia, Itália, Paquistão, Índia, Sri Lanka, Egito, Níger e China e Brasil (Silva & Bezerra, 2006).

O algoritmo S-SEBI representa uma metodologia mais simples para a obtenção da ET baseada no contraste da fração evaporativa entre áreas secas e úmidas, não sendo necessárias informações de estação meteorológica na área de estudo. O S-SEBI foi validado na Itália, na Espanha, na Holanda e na Península Ibérica (Sobrino *et al.*, 2007).

Assim, com intuito de contribuir para a compreensão das estimativas e análises espaciais da ET, este estudo tem como objetivo estimar a distribuição espacial da evapotranspiração real diária em áreas irrigadas e de vegetação nativa, usando dados de sensoriamento remoto orbital e de torres meteorológicas instaladas no interior da grande área de estudo. Como também, analisar a sensibilidade de ambos os métodos quando aplicados a cenas com presença de nuvens.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a fazenda Frutacor, situada a 5°08'44" S e 38°05'53" W, altitude de 147,22m na Chapada do Apodi, município de Quixeré – CE, com área de aproximadamente 250 ha de cultivo de bananeiras (*Musa* sp.). Utilizaram-se neste trabalho, imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5, dos dias 24/10/2005 (sem nuvem) e 23/06/2006 (com nuvem). Para a obtenção da evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método combinado FAO-Penman-Monteith, foram utilizados dados oriundos de uma estação meteorológica automática instalada no interior da cena estudada.

A estimativa do fluxo de calor latente instantâneo (LE), pelo algoritmo SEBAL, foi obtida através do método residual da equação do balanço de energia. Esse método possibilita assim, a obtenção do fluxo vertical de calor latente com imagens orbitais, através da diferença

dos fluxos, também verticais, de calor no solo (G), calor sensível (H) e o saldo de radiação (R_n), conforme mostrado a seguir:

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

Os componentes R_n e G ($W m^{-2}$), utilizados nos algoritmos SEBAL e S-SEBI, foram obtidos através das equações 2 e 3, apresentadas a seguir:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \cdot \alpha + 0,0074 \cdot \alpha^2) (1 - 0,98 \cdot IVDN^4) \right] \cdot R_n \quad (3)$$

em que α é albedo da superfície, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa (termal) emitida pela superfície, ε_0 é a emissividade da superfície, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente e $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa incidente, T_s é a temperatura da superfície e IVDN é o índice de vegetação da diferença normalizada (Trezza, 2002).

A principal diferença entre os algoritmos SEBAL e S-SEBI se encontra na obtenção dos parâmetros H e LE ($W m^{-2}$), uma vez que, a obtenção de H ($W m^{-2}$) pelo SEBAL foi feita a partir da velocidade do vento e da temperatura da superfície, através de um processo iterativo baseado na teoria da similaridade de Monin-Obukhov (L), como descrita por Bastiaanssen *et al.* (1998a) e Tasumi *et al.* (2007).

$$H = \frac{\rho_{ar} c_p (a + b T_s)}{r_{ah}} \quad (4)$$

em que ρ_{ar} é a densidade do ar úmido ($Kg m^{-3}$), c_p é o calor específico do ar à pressão constante ($J Kg^{-1} K^{-1}$), r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ($s m^{-1}$) e “a” e “b” são coeficientes de calibração empíricos obtidos para cada imagem.

No algoritmo S-SEBI os fluxos não foram calculados como parâmetros separados, mas como a *fração evaporativa* (A) (ver equação 5), conforme metodologia de Roerink *et al.* (2000). Na Figura 1 é possível reconhecer o limite inferior, onde o fluxo de calor latente máximo $LE_{max}(\alpha)$ é assumido ($T_H = a_H + b_H \alpha$) e, o limite superior, onde o fluxo de calor sensível máximo $H_{max}(\alpha)$ é assumido ($T_{LE} = a_{LE} + b_{LE} \alpha$) (Sobrino *et al.*, 2007).

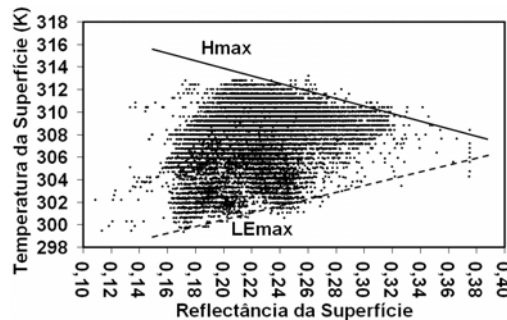


Figura 1: Representação esquemática da relação entre a temperatura da superfície e a reflectância da superfície junto com princípios básicos do S-SEBI.



$$\Lambda = \frac{T_H - T_s}{T_H - T_{LE}} \quad (5)$$

Substituindo T_H e T_{LE} na equação 5, a fração evaporativa pode ser escrita como:

$$\Lambda = \frac{a_H + b_H \alpha - T_s}{a_H - a_{LE} + (b_H - b_{LE}) \alpha} \quad (8)$$

Uma vez determinada Λ , foram calculados os fluxos H e LE , pelas equações seguintes:

$$H = (1 - \Lambda)(R_n - G) \quad (9)$$

$$LE = \Lambda(R_n - G) \quad (10)$$

A estimativa da ET diária, para ambos os métodos, foi feita a partir da fração de evapotranspiração real diária (FET_{0_24}) e da evapotranspiração de referência diária (ET_{0_24}) (mm dia^{-1}) (Trezza, 2002), pela equação seguinte:

$$ET = FET_{0_24} \cdot ET_{0_24} \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentadas as Figuras 2a e 2b, as mesmas representam as distribuições espaciais da ET (mm dia^{-1}) obtidas pelos algoritmos SEBAL (Figura 2a) e S-SEBI (Figura 2b) para o dia 24/10/2005, para toda a área estudada que envolve cultivos irrigados (Fazenda Frutacor), vegetação nativa e solo exposto. Observa-se das figuras a concordância dos dois métodos, para imagens sem nuvens. Os dois métodos representam bem as áreas irrigadas ou de vegetação densa (áreas claras), como também, de vegetação rala e esparsa ou de solo exposto (áreas escuras). No entanto, fica evidente nas Figuras 2a e 2b, a superestimativa do S-SEBI quando comparado ao SEBAL, pois existem áreas apresentadas pelo S-SEBI, com ET superior a $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 2b), que não são observadas claramente pelo SEBAL (Figura 2a). As Figuras 3a e 3b, também apresentadas a seguir e obtidas pelos dois métodos para o dia 23/07/2006, representam as distribuições espaciais da ET e mostram as discrepâncias entre os dois métodos quando aplicados a imagens que contém nuvens (identificadas no canto superior direito das figuras). Observa-se que apenas os valores inferiores da ET apresentaram concordância entre as duas figuras, no entanto, os valores superiores foram subestimados pelo S-SEBI.

A Figura 4a apresenta a correlação existente entre as estimativas da ET pelos algoritmos SEBAL e S-SEBI, para o dia 24/10/2005, juntamente com o seu referido coeficiente de determinação (R^2). Observa-se que o R^2 para este dia foi de 0,96, mostrando que apenas 4% da variabilidade da ET estimada pelo SEBAL não pode ser explicada pela obtida através do S-SEBI. No entanto, pode-se observar da Figura 4b, que apresenta a correlação existente entre as estimativas da ET pelos algoritmos SEBAL e S-SEBI, para o dia 23/07/2006, que o R^2 para esta

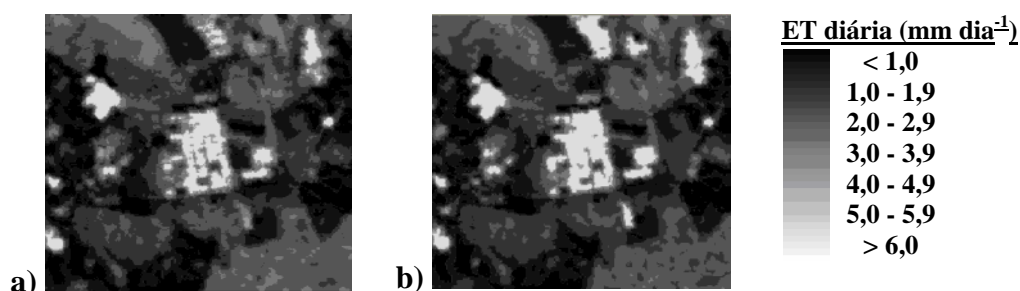


Figura 2: Distribuição espacial da ET diária para o dia 24/10/2005, obtida através do SEBAL (a) e através do S-SEBI (b).

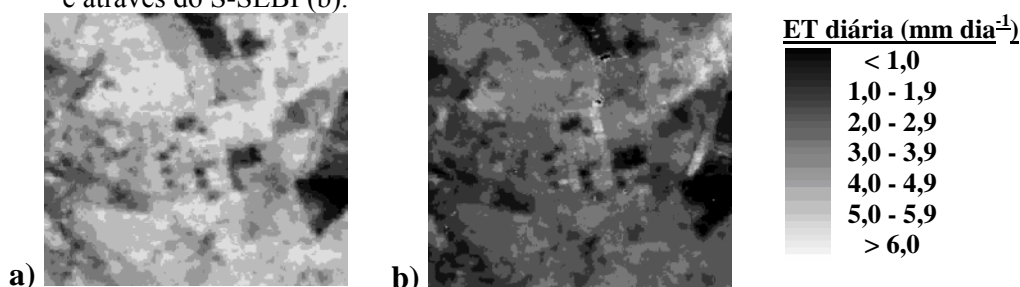


Figura 3: Distribuição espacial da ET diária para o dia 23/07/2006, obtida através do SEBAL (a) e através do S-SEBI (b).

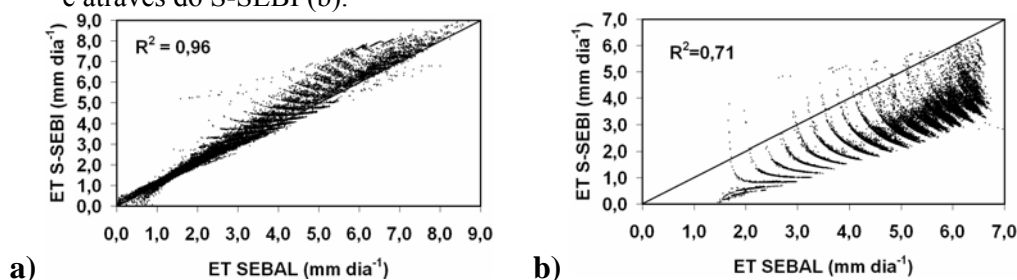


Figura 4: Correlação entre os valores da ET diária, para o dia 24/10/2005 a) e para o dia 23/07/2006 b), obtidos pelos algoritmos SEBAL e S-SEBI, juntamente com o coeficiente de determinação.

cena foi de 0,71, mostrando que 29% da variabilidade da ET estimada pelo SEBAL não pode ser explicada pela obtida através do S-SEBI. Observa-se também, uma subestimativa, por parte do S-SEBI, dos valores da ET. O que caracteriza a não aplicabilidade do S-SEBI quando há presença de nuvens na cena.

CONCLUSÕES

Dessa forma, pode-se afirmar categoricamente que a aplicação do algoritmo S-SEBI não é satisfatória para dias em que apresentam nuvens, mesmo que sejam ralas e de baixa densidade, pois a presença das mesmas no interior da cena comprometeu substancialmente as estimativas dos fluxos H e LE, e por consequência, a obtenção da ET horária e diária. No entanto, para dias



sem nuvens, o mesmo se apresenta como uma ferramenta promissora, uma vez que o fato de não necessitar de informações da superfície, pode ser aplicado para qualquer área mesmo que a mesma não disponha de uma estação meteorológica convencional. Outros métodos, como o SEBAL, mostram melhores resultados na determinação da evapotranspiração diária, no entanto requerem a determinação do comprimento de rugosidade da superfície, que é uma tarefa difícil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq por financiar o projeto e disponibilizar seus dados preliminares, a UFCG por disponibilizar sua infra-estrutura e a Fazenda Frutacor que gentilmente cedeu suas áreas de cultivos para realização do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome-Italy, 1998, 297 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, 198–212 p., 1998a.
- ROERINK, G.J.; SU, Z.; MENENTI, M. S-SEBI: a simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**. n. 25, 147-157 p., 2000.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, 1-10 p., 2006.
- SOBRINO, J. A.; GÓMEZ, M.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; OLIOSO, A. Application of a simple algorithm to estimate daily evapotranspiration from NOAA-AVHRR images for the Iberian Peninsula. **Remote Sensing of Environment**, 2007. doi:10.1016/j.rse.2007.02.017.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G. Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development. **Agricultural Water Management**, v. 88, 54-62 p., 2007.
- TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control**. 2002, 247 p., Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.