



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

COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA ESTIMADOS PELO SEBAL E MEDIDOS EM CAMPO

COSTA FILHO, J. F. DA¹; SILVA, B. B. DA²; AZEVEDO, P. V. DE²;
FRANCISCO, P. R. M.³ & SÁ, T. F. F. DE⁴

¹Prof. Assoc. I, Dr. Dep. de Solos e Eng. Rural/CCA/UFPB, Campus II, Areia-PB. CEP: 58.397-000, Tel. (83) 3362 2300, Ramal 255. costafi@cca.ufpb.br;

²Prof. Dr. Dep. Ciências Atmosf./CTRN/UFCG, Campina Grande-PB.

³Prof. Aux. Dep. Solos e Eng. Rural/CCA/UFPB, Areia-PB.

⁴Mestranda do Prog. Manejo e Conservação de Solo e Água/CCA/UFPB, Areia-PB.

RESUMO: Componentes do balanço de energia à superfície foram estimados usando-se o modelo SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Lands (Bastiaanssen, 1995) e imagens orbitais dos satélites Landsat-5 TM e Terra/Modis. Para avaliar a estimativa do modelo foram realizadas medidas de campo do saldo de radiação (R_n), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor latente (λE) e a evapotranspiração (ET). O estudo foi realizado no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho localizado em Petrolina-PE, Nordeste do Brasil. Foi utilizada a imagem de satélite do dia 12 de outubro de 2004 que cobre parte das áreas irrigadas do perímetro, o lago de Sobradinho, parte do rio São Francisco e áreas com vegetação nativa (caatinga). O saldo de radiação (R_n), o fluxo de calor sensível (H), o fluxo de calor do solo (G) e o fluxo de calor latente (λE) estimados pelo SEBAL sobreestimaram os valores medidos em campo; a ET média estimada pelo SEBAL foi de 2,5 mm com um valor máximo estimado de 5,1 mm; o valor médio medido em campo foi de 2,0 mm com um máximo de 4,7 mm.

Palavras Chave: balanço de energia; SEBAL; evapotranspiração

ENERGY BALANCE COMPONENTS ESTIMATED BY SEBAL AND MEASURED IN FIELD

SUMMARY Components of the surface energy balance were estimated using SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Lands (Bastiaanssen, 1995) – and orbital images from satellites Landsat-5 TM and Terra/Modis. In order to evaluate the estimate of the model measures in the field of the radiation balance (R_n), sensible heat flux (H), soil heat flux (G), latent heat flux (λE) and the evapotranspiration (ET) had been made. The study was carried out in the irrigated perimeter, Senator Nilo Coelho located in Petrolina-PE in Northeast of Brazil. In this sense, Landsat-5 TM and Terra/Modis satellite images were obtained in 2004. This image has covered part of the irrigated areas of the perimeter, the Sobradinho lake, part of the São Francisco river and areas with native vegetation (caatinga). According to the results the net radiation (R_n), the sensible heat flux (H), the soil heat flux (G) and the latent heat flux (λE) determined by the SEBAL overestimated the values measured in field; the average ET estimated by the SEBAL was 2,5 mm and a maximum value of 5,1 mm; the average value and the maximum value measured in field were 2,0 mm and 4,7 mm, respectively.

Key-words: energy balance; SEBAL; evapotranspiration



INTRODUÇÃO

Os processos de troca de calor e massa que ocorrem na superfície da terra são de fundamental importância para a redistribuição da umidade e calor no solo e atmosfera. Esses processos de troca no sistema solo-planta-atmosfera têm como principal força motriz a radiação solar.

Ao atingir a superfície da terra uma porção da radiação solar é refletida de volta para o espaço e o restante é absorvido pela própria superfície. Uma parte da energia absorvida é re-emitada como radiação termal, e o que resta desse balanço, conhecido como saldo de radiação, é usado para aquecer a superfície, o ar atmosférico e promover a evaporação da água. O equilíbrio termodinâmico entre os processos de transporte predominantemente turbulento na atmosfera e processos predominantemente laminar no solo, manifesta-se por si mesmo no balanço de energia, o qual para a superfície é expresso como:

$$R_n = G + H + \lambda E \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (1)$$

onde R_n é a densidade de fluxo do saldo de radiação, G a densidade de fluxo de calor do solo, H a densidade de fluxo de calor sensível e λE a densidade de fluxo de calor latente.

Na Equação 1, a energia requerida para a realização da fotossíntese e o calor armazenado pela vegetação, são ignorados. Considera-se R_n positivo quando a radiação é dirigida para a superfície da Terra, enquanto G , H e λE são considerados positivos quando direcionados da superfície para a atmosfera.

Vários estudos têm sido realizados para se calcular o balanço de radiação e energia a superfície, usando métodos convencionais e sensoriamento remoto, principalmente em áreas irrigadas (Lopes, 1999; Bastiaanssen, 2000; Silva et al., 2000; Moura, 2001).

A partir da década de oitenta inúmeros trabalhos foram realizados (Kustas et al., 1989; Menenti et al., 1989; Kustas et al., 1990; Olioso, 1995; Bastiaanssen, 2000), com dados espectrais de satélites para estimativa de fluxos de energia. Outras importantes variáveis como a temperatura da superfície e o albedo, por exemplo, são também determinadas a partir do uso de algoritmos (Bastiaanssen, 1995; Vázquez et al., 1997; Allen et al., 2000) desenvolvidos para aquela finalidade.

O principal objetivo deste trabalho foi estimar os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração através do modelo SEBAL e imagens dos satélites Landsat-5 TM e Terra/Modis.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da Área de Estudo. A área objeto deste estudo compreendeu uma parte do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, localizado à margem esquerda do Rio São Francisco, estendendo-se desde a Barragem de Sobradinho localizada no município de Casa Nova-BA, até o município de Petrolina-PE, bem como, uma parte do Projeto de Irrigação Mandacaru no município de Juazeiro-BA, totalizando aproximadamente 23.000 hectares.

Imagens de Satélite. Utilizou-se um par de imagens de satélite, sendo uma delas do Mapeador Temático do Landsat-5, obtida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de Cachoeira Paulista-SP, contendo sete bandas espectrais e a outra do satélite Terra/Modis, com 36 bandas espectrais obtidas junto à NASA/EUA. As imagens dos respectivos satélites da área de estudo foram obtidas no dia 12 de outubro de 2004 (Dia Juliano 285), órbita/ponto 217/66 e tile h14v09, respectivamente. Nas Tabelas 1 e 2, encontram-se os coeficientes de calibração do satélite Landsat-5 TM e Terra/Modis.

Métodos: Para atender aos objetivos do trabalho, foi aplicado o algoritmo SEBAL, um modelo de processamento de imagens de satélite que calcula os fluxos de energia à superfície e consequentemente cartas de evapotranspiração para grandes áreas. É composto de 25 passos computacionais que estimam um completo balanço de radiação e energia juntamente com as resistências para o transporte de momentum, calor e vapor d'água.

Calibração radiométrica – Passo 1. Para se estimar as densidades de fluxo, primeiro se converte os números digitais de cada pixel em radiâncias espectrais de cada banda ($L_{\lambda i}$), isto porque os satélites medem as radiâncias espectrais emitidas e refletidas pelos alvos e armazenam os em formato digital. Portanto, para converter os números digitais (DN) de cada pixel em radiância espectral, usam-se os correspondentes coeficientes de calibração para cada banda (Tabela 3.1). Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida no sensor TM do satélite Landsat 5 nos canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7. O valor de $L_{\lambda i}$ foi obtido pela Equação 2, seguindo proposta de Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) DN + a_i \quad (2)$$

A partir do cálculo da radiância espectral de cada banda foram estimadas as outras variáveis necessárias para o cálculo do balanço de radiação e energia. Em relação ao

Tabela 1. Bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiância espectral no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância espectral no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)
		a_2	b_2	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,14	365,0	1829
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1557
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,90	-1,51	221,0	1047
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	219,3
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	74,52

Fonte: Allen et al. (2002)



Tabela 2. Bandas espectrais do produto MOD09A1, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, tipo de dados, valor completo, intervalo de validade e fator multiplicador de escala.

Conjunto científico de dados	Unidades	Tipo de dados (bit)	Valor nulo	Intervalo válido	Fator de conversão
Refletância da superfície para a banda 1 (620 – 670 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 2 (841 – 876 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 3 (459 – 479 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 4 (545 – 565 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 5 (1230 – 1250 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 6 (1628 – 1652 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001
Refletância da superfície para a banda 7 (2105 – 2155 nm)	refletância	inteiro negativo 16-bit	-28672	-100 a 16000	0,0001

Terra/Modis foram utilizados os produtos MOD09A1 para o cálculo da refletância, o MOD13A1 para a determinação do NDVI, MOD11A1 para a determinação da temperatura da superfície e o MOD15A2 para o índice de área foliar.

Saldo de Radiação à Superfície (R_n). As Figuras 1 e 2 representam os valores instantâneos do saldo de radiação à superfície (R_n) do Landsat-5 para o dia 12/10/2004. As áreas com tonalidade em vermelho, em ambas as cartas, representam valores de R_n inferiores a 385 W m^{-2} , que correspondem às áreas sem vegetação, que se concentram em sua maioria às margens do rio São Francisco. As tonalidades azul-claro e marron, representam áreas com baixa cobertura vegetativa e áreas de caatinga densa, respectivamente. Já as áreas de cor azul, que apresentam valores de R_n superiores a 670 W m^{-2} e 650 W m^{-2} para os anos de 2003 e 2004, respectivamente, correspondem ao Lago de Sobradinho, trecho do rio São Francisco e alguns pequenos reservatórios de água.

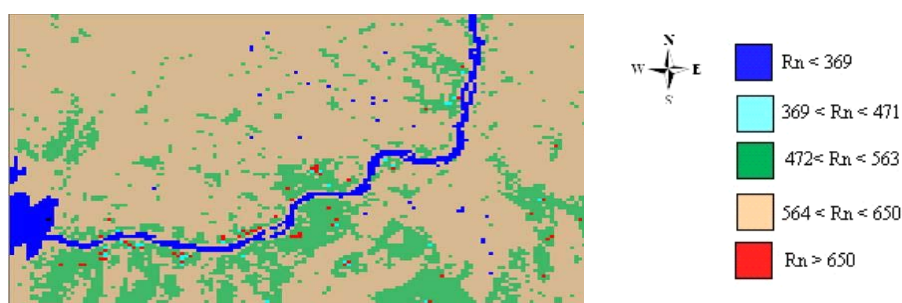


Figura 1. Saldo de radiação (R_n) em W m^{-2} obtido pelo Landsat-5 TM, para o dia 12/10/2004. Resolução 250m.

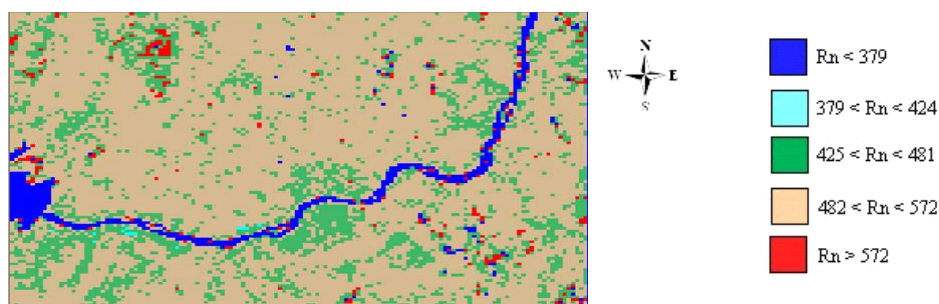


Figura 2. Saldo de radiação (R_n) em $W\ m^{-2}$ obtido pelo satélite Terra/Modis, para o dia 12/10/2004. Resolução 250 m.

Análise comparativa entre os fluxos estimados pelo SEBAL e os fluxos medidos na Estação Meteorológica.

Com o objetivo de analisar o comportamento do modelo SEBAL na estimativa das variáveis envolvidas no cálculo dos fluxos de energia usando-se o sensor TM do Landsat-5, se fez uma análise comparativa dos resultados obtidos. Na Figura 3 visualizam-se os valores instantâneos das densidades de fluxos do balanço de energia (R_n , G , H e LE), estimados pelo algoritmo SEBAL na hora da passagem do satélite (9:30h), do dia 12 de outubro de 2004 e os valores desses mesmos fluxos (dados de alta frequência), medidos na Estação Meteorológica do CPATSA, Embrapa-Semiárido em Petrolina-PE.

O saldo de radiação (R_n), o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE), sobreestimaram os valores medidos em 7%, 4% e 23%, respectivamente. Um destaque se faz para o fluxo de calor do solo que apresentou a pior estimativa, isto é, sobreestimou o valor medido em 27%. Feitosa (2005) aplicando o SEBAL nessa mesma área encontrou um valor médio de R_n igual a $401,2\ W\ m^{-2}$ e um valor de $372,6\ W\ m^{-2}$ medido em campo. Segundo o referido autor, dentre os componentes do balanço de energia estimados pelo SEBAL, R_n foi a que apresentou a melhor estimativa.

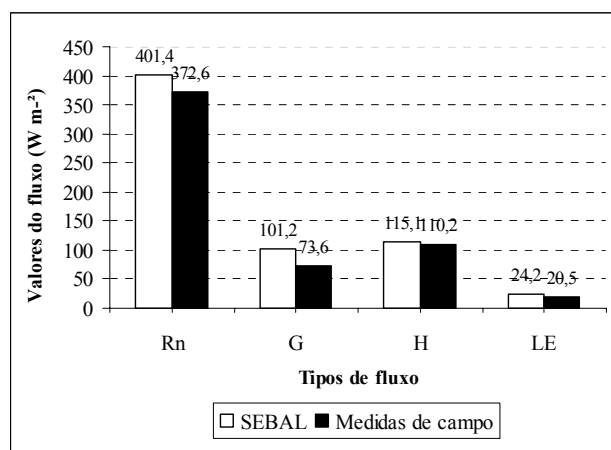


Figura 3 – Densidade de fluxos instantâneos ($W\ m^{-2}$), medidos em campo e estimados pelo SEBAL (12/10/2004)

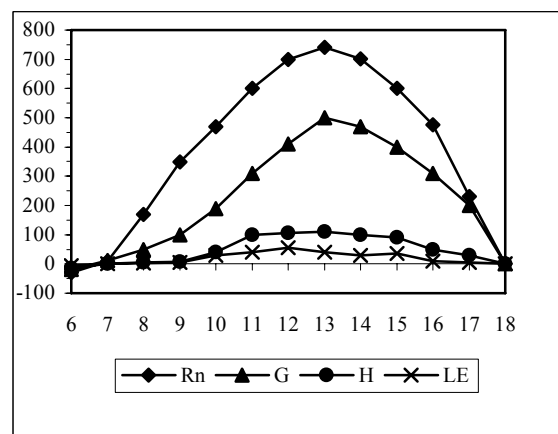


Figura 4 – Comportamento dos fluxos do balanço de energia ($W\ m^{-2}$) medidos em campo em 12/10/2004.



CONCLUSÕES

De uma maneira geral pode-se concluir que, de acordo com os resultados alcançados o algoritmo SEBAL associado às imagens do satélite Landsat-5 e Terra/Modis, pode ser aplicado com um bom grau de confiabilidade na estimativa dos fluxos de energia à superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. Surface Energy Balance Algorithm for Lands (SEBAL). **Advanced Training and users Manual**, Kimberly, Idaho, v.1.0, 97p. 2002.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Ph.D. Thesis, 1995, 237p., Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1995.

FEITOSA, J. R. P. **Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat-TM e NOAA/AVHRR na Estimativa do Balanço de Energia à Superfície**. 2005. 163f. Tese (Programa Institucional de Doutorado Temático-Curso de Doutorado em Recursos Naturais-CCT), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2005.