



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Aplicação do Modelo SEBAL na Estimativa de Componentes do Balanço de Energia em Área de Caatinga: Um Estudo na Região do Açude Epitácio Pessoa/Boqueirão**



*Fellipe Pereira da Silva<sup>1</sup>; Magaly de Fatima Correia<sup>2</sup>; Gabrielle Bezerra Oliveira<sup>3</sup>;*

<sup>1</sup> Bacharel em Meteorologia, Mestrando em Meteorologia, Depto. de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB, Fone: (83)96362216, fellipeh\_maya@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutora em Meteorologia, Prof. Associada, UFCG, Campina Grande – PB

<sup>3</sup> Bacharela em Meteorologia, Mestrando em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB

**RESUMO:** O mapeamento da cobertura e uso da terra (CUT) em escala regional é essencial para uma vasta gama de aplicações incluindo gestão de recursos hídricos e atividades agrícolas. Mudanças no uso da terra resultante de ações antrópicas podem alterar a troca de água e energia entre a superfície e atmosfera e afetar negativamente o clima local. No presente estudo alterações na CUT no entorno do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) situado na porção semiárida da bacia hidrográfica do Rio Paraíba são investigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Componentes importantes do balanço de energia, incluindo temperatura da superfície (T), albedo ( $\alpha$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ) foram estimados a partir de imagens do sensor TM Landsat-5 e aplicação do algoritmo SEBAL. Os resultados obtidos indicam contrastes significantes nos valores destes parâmetros não apenas entre áreas urbanas e fluviais, mas também na cobertura vegetal indicando claramente a expansão da agricultura em áreas do bioma Caatinga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo SEBAL, açude Epitácio Pessoa, sensoriamento remoto

### **Application of SEBAL Model in the Energy Balance Components Estimate in Caatinga area: A study in the region of Epitácio Pessoa Weir/Boqueirão**

**ABSTRACT:** The mapping of the cover and land use (CLU) at the regional level is essential for a wide range of applications including water management and agricultural activities. Changes in land use resulting from human interventions can modify the water and energy exchange between the surface and atmosphere and adversely affect the local climate. In this study changes in the CLU in the surroundings of the Epitácio Pessoa Weir (Boqueirão) located in semi-arid portion of the catchment area of the Paraíba River are investigated using remote sensing techniques. Important components of energy balance, including surface temperature (T), albedo ( $\alpha$ ) and net radiation ( $R_n$ ) were estimated from images of the Landsat-5 TM sensor and application of the SEBAL algorithm. The results indicate significant contrasts in the values of these parameters not only between urban and river areas, but also in vegetation cover clearly indicating the expansion of agriculture in the Caatinga biome areas.

**KEY WORDS:** SEBAL model, Epitácio Pessoa weir, remote sensing

## **INTRODUÇÃO**

Nas regiões de climas áridos e semiáridos, com baixa disponibilidade hídrica, é bastante comum a construção de reservatórios de água como medida preventiva para atender a demanda em períodos de seca (Lanna, 2002). O reservatório Epitácio Pessoa, foco central do presente estudo, está localizado no município de Boqueirão – PB (07°29'27"S 36°08'09"W) e representa o principal reservatório da bacia hidrográfica do rio Paraíba. É responsável pelo abastecimento de mais de 15 municípios, entre eles Campina Grande, Boqueirão e Queimadas.

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

A bacia hidrográfica do rio Paraíba, também denominado de Rio Paraíba do Norte, é a maior e mais importante do Estado da Paraíba, englobando uma área de cerca de 20 mil km<sup>2</sup>, equivalente a 32% da área do estado (Andrade, 1997). Do ponto de vista ambiental trata-se de uma área vulnerável decorrente de fortes pressões antrópicas. O uso prioritário da água está relacionado com o abastecimento humano, e atividades agropecuárias.

Estudos diversos evidenciam que a conversão de vegetação natural em áreas agrícolas ou de pastagens, geralmente observada no entorno de reservatórios afetam fortemente o balanço de energia em superfície e estrutura da camada limite, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície (Correia, et. al., 2006; Melo, et. al., 2014).

Fluxos de energia na interface superfície-atmosfera caracterizam as trocas energéticas que determinam os regimes térmicos do solo, da vegetação e do ar atmosférico e evidenciam a importância de monitoramento e análises que permitam quantificar o grau de variabilidade nos parâmetros que determinam o balanço de energia. Esses componentes podem ser estimados por meio do sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite em alta resolução, considerada atualmente como uma das tecnologias importantes em estudos desta natureza, principalmente por possibilitar análises em escala regional.

Neste contexto, a estimativa do saldo de radiação ( $R_n$ ) destaca-se entre os métodos essenciais para o entendimento dos processos de troca de calor e massa na baixa troposfera. Visto que efetivamente representa a energia disponível para os processos de evapotranspiração, aquecimento da atmosfera e do solo (Lima et al., 2009).

No presente estudo, componentes importantes do balanço de energia, incluindo temperatura da superfície ( $T_s$ ), albedo ( $\alpha$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ) foram estimados a partir de imagens do sensor TM Landsat-5 e aplicação do algoritmo SEBAL. A quantificação destas variáveis permitiu detectar como alterações na cobertura e uso da terra podem afetar o balanço de energia em superfície e consequentemente a transferência de água e calor para atmosfera.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

No desenvolvimento do trabalho utilizou-se uma imagem do satélite Landsat 5 TM, do dia 14/04/2011, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No tratamento da imagem foi utilizado o software *Erdas*, através da ferramenta *Model Maker*, com a aplicação do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*). O recorte da imagem foi feito com limites de longitude em 36,21°W e 36,06°W e de latitude em 7,21°S e 7,37°S

O processamento digital requer inicialmente a calibração radiométrica que consiste na conversão de cada pixel em radiância espectral monocromática a partir da Equação 1, proposta por Markham & Baker (1987).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Em que  $a_i$  e  $b_i$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $Wm^2sr^{-1}\mu m^{-1}$ ) e ND é a intensidade do pixel, cujos valores variam entre 0 e 255, no caso do satélite Landsat, e  $i$  corresponde às bandas (1, 2, ... e 7). Os coeficientes de calibração utilizados para o Landsat foram aqueles propostos por Chander & Markham (2003). A reflectância de cada banda ( $\rho_{\lambda i}$ ) foi obtida aplicando a Equação 2, segundo Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{L_{\lambda i} \pi}{K_{\lambda i} \cdot \cos \theta \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda i}$  é a constante monocromática solar associada à cada banda do sensor,  $\theta$  é o ângulo zenital do Sol e  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol. O cálculo de  $d_r$  foi obtido de acordo com a Equação 3:

**O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros**

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(DJ \frac{2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Onde DJ é o dia de ordem do ano em que foram obtidos os dados radiométricos (imagens de satélite). O albedo no topo da atmosfera foi determinado através de combinação linear das reflectâncias monocromáticas, conforme expresso pela Equação 4:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

Em que,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_4$ ,  $\rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente. O albedo da superfície foi computado através da Equação 5:

$$r_0 = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Onde  $\alpha_{toa}$  é o albedo planetário,  $\alpha_{path\_radiance} = 0,03$  é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera (Bastiaanssen, 2000) e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica (Allen et al., 2002). A transmissividade atmosférica foi computada em função da altitude local (z), conforme a Equação 6:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z \quad (6)$$

No cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 7, descrita em Allen et al., (2002):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (7)$$

O índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI), proposto por Huete (1988), foi obtido pela Equação 8:

$$SAVI = \frac{0,5(\rho_4 - \rho_3)}{(0,5 + \rho_4 + \rho_3)} \quad (8)$$

O índice de área foliar (IAF) foi calculado por expressão empírica proposta por Allen et al. (2002) aplicando a Equação 9:

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

No cálculo da temperatura da superfície  $T_s$ , foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro para o qual a emissividade é igual a 1. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, é necessário introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$ . Nesse caso considerada a emissividade da banda larga  $\epsilon_0$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ). A temperatura da superfície ( $T_s$ ) é determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e da emissividade termal conforme expresso na Equação 12. Uma descrição mais detalhada do método pode ser vista em, Allen et al., (2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (12)$$

A Equação 16 foi utilizada para o cálculo do saldo de radiação ( $R_n$ ):

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\uparrow} \quad (16)$$

Em que,  $R_{S\downarrow}$  é a radiação de ondas curtas incidente,  $\alpha$  é o albedo,  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera na direção do pixel,  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de ondas longas emitida e  $\epsilon_0$  é a emissividade. O fluxo de calor no solo (G) pode ser obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \cdot \alpha + 0,0074 \cdot \alpha^2) \cdot (1 - 0,98)NDVI^4\right] R_n \quad (17)$$

Onde  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$  é o albedo da superfície e NDVI e  $R_n$  representam respectivamente, o índice de vegetação da diferença normalizada e o saldo de radiação, todos computados pixel a pixel. O fluxo de calor sensível H ( $\text{Wm}^{-2}$ ) foi estimado por:

$$H = \rho c_p \frac{(b + aT_s)}{r_{ah}} \quad (18)$$

Onde  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a$  e  $b$  são constantes de calibração da diferença da temperatura entre dois níveis e  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor em  $\text{ms}^{-1}$ . O fluxo de calor latente (LE) é definido como a taxa de calor cedido à água da superfície (solo e/ou planta) para que a mesma evapore ou transpire, e foi obtido pela seguinte equação:

$$LE = R_n - G - H \quad (19)$$

Onde,  $R_n$  é saldo de radiação,  $G$  o fluxo de calor no solo e  $H$  o fluxo de calor sensível obtidos no instante da passagem do satélite.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade espacial do NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) tem associação com descontinuidades na cobertura e uso da terra. No mapa temático apresentado na Figura 1.a, observa-se que os valores oscilam entre -2,18 e 0,84, em que os valores mais altos indicam áreas vegetadas.

Áreas classificadas com valores entre 0,52 e 0,63 e entre -0,03 e 0,25 representam claramente um diferencial na análise apresentada por indicar regiões de ocupação de solo bastante diversificada evidenciando áreas com vegetação densa, e vegetação esparsa (predominante na região) incluindo características que sugerem a presença da agropecuária. Essas distinções são mais evidentes em áreas situadas no setor ao sul do reservatório, destacadas com círculos nas imagens apresentadas na Figura 1. No entanto, é importante ressaltar que embora o NDVI se mostre eficaz na caracterização da cobertura vegetal o grau de eficácia varia muito com as condições do dossel.

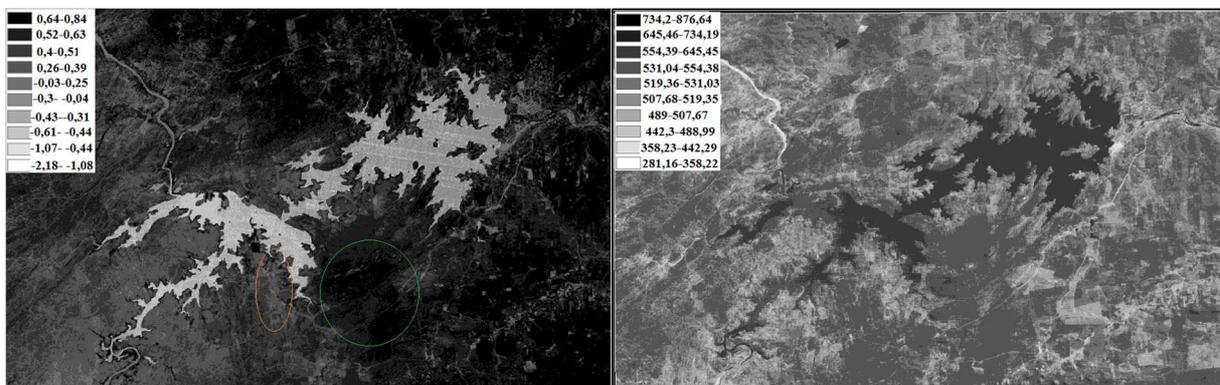


Figura 1 - Mapa temático do albedo (a) e do saldo de radiação à superfície (b), na cidade de Boqueirão-PB.

Entretanto, é possível constatar que as informações obtidas com a análise do NDVI estão coerentes com os resultados encontrados com a estimativa do Saldo de radiação ( $R_n$ ). O mapa temático ilustrando a variabilidade espacial de  $R_n$  é apresentado na Figura 1.b.

Observa-se nitidamente valores relativamente altos de  $R_n$  em áreas cobertas com vegetação densa (realçada, na imagem, por círculos na cor verde). Comportamento inverso é verificado em áreas caracterizadas pela presença da agropecuária (círculo na cor laranja). No entanto, os valores mais baixos de  $R_n$  foram encontrados nas áreas de solo exposto e regiões pavimentadas situadas em áreas urbanas.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Morais, et. al. (2014) em um estudo sobre ocupação do solo no entorno do reservatório Eptácio Pessoa.

Os valores do albedo da superfície da cidade de Boqueirão-PB, em 14/04/2011, variaram de -0,06 a 0,35. Os valores mais baixos do albedo de superfície correspondem a corpos d'água. Valores mais

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

altos foram encontrados nas áreas urbanas, entre 0,12 e 0,18. Vários fatores, como o tipo de cobertura vegetal, época do ano e cor da superfície são responsáveis por essas variações no albedo da superfície.

Na análise da variação espacial da temperatura da superfície no local e dia já mencionados observou-se uma pequena variação em torno de 298 K e uma amplitude térmica de aproximadamente 1 K. Os corpos d'água apresentaram os menores valores.

Os resultados indicaram emissão de onda longa substancialmente mais alta em áreas urbanas. Esse resultado é coerente, visto que uma parte menor da energia foi utilizada em processos de evapotranspiração.

Observou-se que a incidência de radiação de onda curta variou de 690 a 700 W.m<sup>-2</sup>. Maior incidência de radiação de onda longa foi detectada em áreas com maior elevação.

Os maiores valores de saldo de radiação (R<sub>n</sub>) encontrados na área de estudo foram identificados como sendo corpos d'água ou áreas com maiores teores de água no solo (>640 W.m<sup>-2</sup>).

A Figura 1.b mostra que o R<sub>n</sub> variou de 281,16 até 876,64 W.m<sup>-2</sup>. Os maiores valores estão representados em tons mais escuros, e diminui gradualmente com a escala. Logo, tais valores estão de acordo com os parâmetros até aqui estudados, pois as áreas de menor saldo de radiação são as mesmas que apresentam os maiores valores do albedo e os menores índices de vegetação.

## **CONCLUSÕES**

As análises apresentadas neste trabalho permitem concluir que:

Os resultados obtidos por meio de aplicações do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5 para a obtenção do saldo de radiação, estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.

Na análise de classes representativas da ocupação do solo (mudanças na cobertura e uso da terra) foram identificados diferentes padrões de comportamento do Saldo de Radiação. Áreas com maior influência antrópica (solo exposto e áreas urbanas) correspondem aos valores mais baixos.

Valores mais altos de R<sub>n</sub> foram verificados em áreas com menor influência antrópica (água e vegetação densa).

As menores taxas de evapotranspiração diária foram registradas em áreas de pouca vegetação nativa e/ou solos expostos, e as maiores nas áreas com boa disponibilidade hídrica, expressando a sensibilidade do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração em escala de bacias hidrográficas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALLEN, M. R.: **Quantifying anthropogenic influence on recent near-surface temperature change.** Surv. Geophys., in press, 2002.

ATAÍDE, K. R. P.: **Determinação do Saldo de Radiação em Superfície com Produtos do Sensor MODIS.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9.,2007, Florianópolis. Anais... Brasília-DF, INPE, p.5569-5577, 2007.

BASTIAANSSEN, W. G. M.: **SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey.** Journal of Hydrology, v. 229, p. 87-100, 2000.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.: **Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 2674–2677, 2003.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

CORREIA, M.F.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA ARAGÃO, M.R. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho lake área. Part Two: **A regional modeling study. Meteorology and Atmospheric Physics**, v.94, p.115-128, 2006b.

HUETE, A. R.: **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sens. Environ. 25:295-309, 1988.

INPE. Disponível em <http://tempo.cptec.inpe.br/>. Acesso em 09 do 02 de 2015.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; GLERIANI, J. M.; SOARES, V. P.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G.: **Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14.,2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, p.255- 262, 2009.

LANNA, A. E.: **Elementos de Estatística e Probabilidades**. Hidrologia: ciência e aplicação. Org. Tucci, C. E. M. 3<sup>a</sup>. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 79-176, 200.

MARKHAM, B. L., BAKER, J. L.: **Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3, p.517-523, 1987.

MELO, E. C. S.; CORREIA, M. F.; SILVA ARAGÃO, M. R.: **Expansão da Agricultura Irrigada e Mudanças nos Processos de Interação Superfície-Atmosfera: Um Estudo Numérico de Impacto Ambiental em Áreas de Caatinga**. Revista Brasileira de Geografia Física, 2014.

MORAES, R. D.; SILVA, J. B.; ARAUJO, A. R.: **Análise Espacial das Margens do Reservatório de Água Eptácio Pessoa – PB: Reflexões sobre a Capacidade de Armazenamento**. Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v. 16, n. 1, p. 6-15, 2014.