

## Estimativa da necessidade hídrica do algodoeiro irrigado usando imagens de satélite

Ziany Neiva Brandão<sup>1</sup>  
Valdinei Sofiatti<sup>1</sup>  
Bergson Guedes Bezerra<sup>2</sup>  
José Renato Cortez Bezerra<sup>1</sup>  
José da Cunha Medeiros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/ CNPA  
Caixa Postal 171 - Rua Oswaldo Cruz, 1143 – 58.428-095 – Campina Grande - PB, Brasil  
ziany@cnpa.embrapa.br; vsofiatti@cnpa.embrapa.br; renato@cnpa.embrapa.br;  
medeiros@cnpa.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG// Deptº de Meteorologia  
Av Aprígio Veloso, 882 – 58.429-900 – Campina Grande - PB, Brasil  
bergson\_bezerra@yahoo.com.br

**ABSTRACT:** Remote sensing data in the thermal infrared part of the spectrum provides indirect estimates of water stress for vegetated surfaces that is defined as a function of the ratio between actual and potential evapotranspiration rates. Methods to estimate the actual evapotranspiration (ET<sub>r</sub>) from satellite images with thermal bands are very useful, because they can provide an accurate estimate for large areas. In this context, in 2008 an experiment was carried out in Apodi, RN, in order to estimate the ET<sub>r</sub> for irrigated cotton. It was used the Bowen ratio obtained with field data to validate data obtained by satellite images through the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land methodology) algorithm. The cotton was seeded in 3.6 ha with 0.9 m between rows. The crop actual evapotranspiration was estimated using three images from Landsat 5, obtained at the 34DAE, 50DAE and 82DAE. The Bowen ratio and reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) were determined using meteorological data and also from equipments installed in the experimental area. After the estimation of ET obtained under field conditions and the estimation of ET<sub>r</sub> by satellite, results were analyzed to evaluate the comparative error. It was observed that the ET<sub>r</sub> estimated from the algorithm SEBAL shows similar results to those obtained by Bowen ratio and can be used to assess the water requirement of cotton.

**Palavras-chave:** Evapotranspiration, Bowen ratio, cotton yield, evapotranspiração, razão de Bowen, produtividade.

### 1. Introdução

A cultura do algodão é bastante exigente com relação a nutrientes e água desde a semeadura até a frutificação completa. O déficit hídrico ou excesso de umidade durante a formação das estruturas reprodutivas da planta podem comprometer a produtividade da cultura uma vez que leva a abscisão dos botões florais e de maçãs jovens.

Para um adequado manejo hídrico da cultura, o conhecimento da evapotranspiração real - ET<sub>r</sub> é de fundamental importância no algodoeiro irrigado. Neste contexto, os métodos que calculam a evapotranspiração a partir de imagens de satélites se mostram muito úteis, pois são capazes de estimar com boa precisão a ET<sub>r</sub> em grandes áreas, mesmo que essa possua grande heterogeneidade (Brandão, 2009).

Métodos micrometeorológicos como o das correlações turbulentas, da razão de Bowen e de medidas diretas com lisímetros são geralmente usados. Entretanto, apesar de precisos, esses métodos dependem dos sensores ou da quantidade e distribuição de lisímetros, podendo se tornar trabalhosos, especialmente para áreas com configurações de plantio e hídricas distintas.

As técnicas de sensoriamento remoto permitem boa estimativa da ET, com a vantagem de que o consumo de água no sistema solo-planta-atmosfera pode ser estimado por meio de imagens de satélite sem a necessidade de quantificação de complexos processos hidrológicos (Bastiaanssen, 2000).

Algoritmos como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), têm sido aplicados com êxito em diversos ecossistemas para estimativa da ETr (Bezerra et al., 2008; Bastiaanssen, 2000). Nesse algoritmo a ETr é estimada a partir da quantificação da densidade de fluxo de calor latente - LE, obtido como resíduo da equação do balanço de energia - BE.

Assim, o objetivo desse trabalho foi a estimativa da ETr no algodoeiro irrigado, em experimento instalado no município de Apodi, RN, para fazer a validação do SEBAL com dados obtidos em campo através da Razão de Bowen.

## 2. Metodologia de Trabalho:

O experimento foi conduzido em condições de campo e instalado no município de Apodi, Rio Grande do Norte. A altitude média da área experimental é de 129 m. Sua localização é apresentada na Figura 1, cujas coordenadas centrais são 5°37'21" S e 37°48'57" W.

O clima da região é caracterizado como tropical quente e semi-árido com predominância do tipo BSw<sub>h</sub>, da classificação climática de Köppen. Foi plantado o cultivar BRS 187 8H, numa área de 4,6 ha, com espaçamento de 0,9m entre linhas.

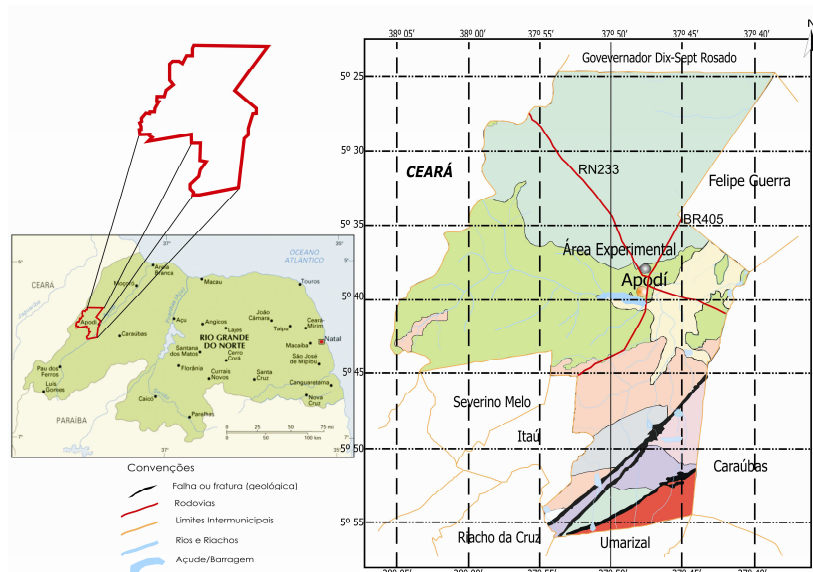


Figura 1: Localização geográfica da área experimental e do município de Apodi, RN.

Os solos da área experimental foram classificados como Cambissolo Eutrófico e os resultados da análise química antes da correção e instalação do experimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas do solo, coletado em três profundidades, no campo experimental, localizado em Apodi, RN.

Profundidade (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
0-20	6,20	3,92	23,69	0,83	0,69	5,00	2,40	2,47	8,92	11,40
20-40	6,10	2,40	20,92	0,63	0,54	5,80	2,90	2,14	9,87	12,01
40-60	6,20	2,40	20,92	0,53	0,40	6,50	2,50	1,82	9,93	11,74

A evapotranspiração real da cultura foi obtida através de 3 imagens do satélite Landsat 5 dos dias 01 de novembro (34DAE), 17 de novembro (50DAE) e 19 de dezembro (82DAE) do ano de 2008.

O suprimento de água às plantas e o manejo da irrigação foi baseado na demanda hídrica local com ênfase na evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) medida pela estação meteorológica instalada no campo. Para estimativa da evapotranspiração da cultura, foi utilizado o método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi calculada utilizando os dados coletados na estação meteorológica de Apodi-RN, localizada na área experimental. Foram consideradas três fases fenológicas, coincidindo com as imagens obtidas, assim identificadas: Fase 1: botões florais (01/11/2008); Fase 2: floração (17/11/2008); Fase 3: frutificação (19/12/2008). Foram determinados o saldo de radiação –  $R_n$ , medido com saldo radiômetro NR-LITE (Campbell Sci., Logan-UT, USA) e o fluxo de calor no solo –  $G$ , medido através de placas HFP01SC-L Hukseflux Self-Calibrating Soil Heat Flux Plate (Campbell Sci., Logan-UT, USA).

Os dados foram obtidos a cada 5 segundos e as médias de 20 minutos armazenadas num datalogger CR1000 (Campbell Sci., Logan-UT, USA). Também foram coletados dados da constante psicrométrica  $\gamma$  ( $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ), temperaturas máxima e mínima diárias e determinados os gradientes de temperatura,  $\Delta T$  ( $^\circ C$ ) e de pressão de vapor,  $\Delta e$  ( $kPa$ ) acima do dossel vegetativo, obtidos através das temperaturas seca e úmida em dois níveis (0,5 m e 1,5 m) acima do dossel.

Foram determinadas a evapotranspiração real e de referência. Para determinação da evapotranspiração real usando o método da Razão de Bowen o fluxo de calor latente (LE) foi usada a seguinte equação:

$$LE = (R_n - G) / (1 + \beta) \quad (1)$$

Em que:

$\beta$  é a razão de Bowen.

A evapotranspiração real da cultura foi então calculada dividindo a Equação (1) por  $L$ , que é o calor latente de vaporização ( $2,5 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). Considerado apenas o período diurno, quando  $R_n - G > 0$  (PEREZ et al., 1999). A razão de Bowen ( $\beta$ ) foi calculada pela seguinte equação:

$$\beta = \gamma (\Delta T / \Delta e) \quad (2)$$

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi calculada utilizando os dados coletados na estação meteorológica, sendo obtida pelo método de Penman-Monteith da FAO (Allen et al., 1998).

Utilizando-se as imagens de satélite, a evapotranspiração real foi estimada através da seguinte equação (em  $mm \text{ dia}^{-1}$ ):

$$ET_r = FET_{0,24} ET_{0,24} \quad (3)$$

Em que:

$FET_{0,24}$  é a fração da evapotranspiração de referência diária

A  $FET_{0,24}$  pode ser considerada igual à fração da evapotranspiração de referência horária (Trezza, 2002), dada por:

$$FET_{0,h} = ET_{r,h} / ET_{0,h} \quad (4)$$

Em que:

$ET_{r_h}$  é a evapotranspiração real horária;  
 $ET_{0_h}$  é a evapotranspiração de referência horária.

Tanto a  $ET_{0_{24}}$  como a  $ET_{0_h}$  foram calculadas pelo método da FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998), com dados como: radiação global, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, coletados na estação meteorológica local. A  $ET_{r_h}$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ) foi obtida, em cada pixel da imagem, como:

$$ET_{r_h} = 3600 LE / L \quad (5)$$

Em que:

$LE$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) é a densidade de fluxo de calor latente, estimado como ( $LE = R_n - G - H$ );  
 $L$  ( $\text{J kg}^{-1}$ ) é o calor latente de vaporização da água.

A densidade de fluxo de calor no solo ( $\text{W m}^{-2}$ ) foi estimada segundo Bastiaanssen, 2000, como:

$$G = [Ts (0,0038 + 0,0074 \alpha)(1 - 0,98 NDVI^4)] R_n \quad (6)$$

Em que:

$T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $\alpha$  é o albedo da superfície;  
 $NDVI$  – (*Normalized Difference Vegetation Index*).

O saldo de radiação ( $\text{W m}^{-2}$ ) foi obtido segundo critérios do SEBAL (Silva et al., 2005). A densidade de fluxo de calor sensível  $H$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) foi obtida através de processo iterativo, usando a metodologia descrita por Allen et al. (2002), sendo dado por:

$$H = \rho \cdot c_p \cdot dT / r_{ah} \quad (7)$$

Em que:

$\rho$  é a densidade do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );  
 $c_p$  é o calor específico do ar ( $1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}$ );  
 $dT$  ( $\text{K}$ ) é a diferença de temperatura entre a superfície e um nível de referência;  
 $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $\text{seg m}^{-1}$ ).

A  $r_{ah}$  depende da velocidade de fricção ( $u^*$ ), que é estimada para a condição de atmosfera neutra dada como sendo (Allen et al., 2002):

$$u^* = \left( (k \cdot u_z) / \ln \left( \frac{z_x}{z_{0m}} \right) \right) \quad (8)$$

Em que:

$k$  é constante de von Karman;  
 $u_x$  é a velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) na altura  $z_x$ ;  
 $z_{0m}$  é o coeficiente de rugosidade ( $\text{m}$ ) - estimado através da altura média da vegetação.

Assim, a resistência aerodinâmica corrigida aos efeitos de turbulência de origem térmica, será dada por:

$$r_{ah} = \left[ \left( \ln(z_2/z_1) - \psi_{h(z_2)} + \psi_{h(z_{0,1})} \right) / (k \cdot u^*) \right] \quad (7)$$

Em que:

$z_1$  e  $z_2$  são as alturas, em metros, acima do dossel da cultura e

$\psi_{h(z_2)}$  e  $\psi_{h(z_{0,1})}$  são as funções adimensionais para correções da estabilidade para o transporte de calor a 2,0 m e 0,1 m, respectivamente, calculadas em função do comprimento de Monin-Obukhov, pixel a pixel de acordo com Allen et al. (2002).

Os dados foram submetidos à análise comparativa para avaliação do erro nos dados estimados e validação da ETr obtida pelo SEBAL como preditiva da demanda hídrica do algodoeiro.

### 3. Resultados e Discussão:

A grande variabilidade do consumo hídrico da cultura pode ser observada na Figura 2. Durante seu ciclo o algodoeiro consumiu desde 4,2 mm dia<sup>-1</sup>, logo após a semeadura até 9,3 mm dia<sup>-1</sup>, no período de máximo NDVI. Devido a dependência das condições climáticas, nos dias em que ocorreram altos valores da evapotranspiração, o coeficiente de cultivo ficou próximo a 1,0 (Tabela 2), correspondente a fase de desenvolvimento da cultura, segundo metodologia da FAO (Allen et al., 1998). Os mais altos valores para a ET foram observados após evento de irrigação, predominando assim, a evaporação do solo em relação a transpiração da cultura. Esse fato evidencia a limitação da técnica de razão de Bowen relatada por Perez et al. (1999) para dias que sucedem eventos de irrigação ou precipitação.

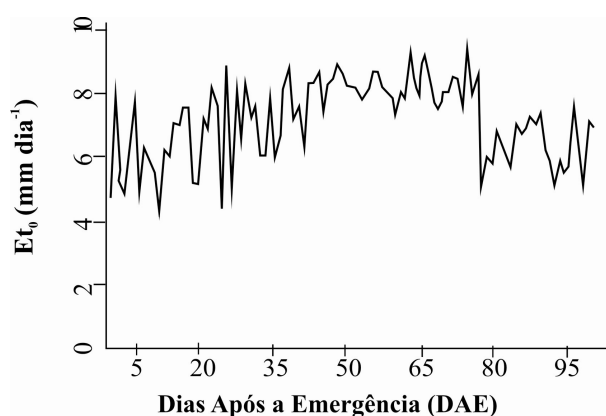


Figura 2: Evolução temporal da evapotranspiração de referência para o algodoeiro irrigado.

Tabela 2. Consumo hídrico em cada fase fenológica do algodoeiro irrigado, onde são apresentados a média do consumo num período de 16 dias dentro de cada fase, a Et medida, a razão de Bowen, o Kc e a ETr estimada pelo SEBAL, obtidos na data de passagem do satélite.

Data/Fase	ET (média) (mm dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	Razão de Bowen	Kc	ETr SEBAL (mm dia <sup>-1</sup> )
Fase 1	7,3	7,5	8,2	1,09	8,5
Fase 2	8,0	8,0	7,2	0,9	8,0
Fase 3	7,8	7,9	8,5	1,08	8,8

Na Tabela 2, quando avaliados os valores médios por cada fase, considerando-se um período de 16 dias, pode-se observar que os valores não diferiram muito do consumo diário, apresentando um erro máximo de 2,66%. Já com relação a ET observada e a ETr estimada através da imagem de satélite pudemos verificar que pode-se incorrer em erros maiores, chegando até a 13,3%, mostrando a necessidade de ajuste dos valores para as condições climáticas locais.

#### **4. Conclusões:**

Observou-se que a ETr estimada a partir do algoritmo SEBAL apresenta resultados semelhantes àqueles obtidos através da razão de Bowen, podendo ser utilizado na avaliação da necessidade hídrica do algodoeiro.

#### **Agradecimentos:**

A FINEP pelo suporte financeiro dessa pesquisa e a Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa.

#### **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.

Allen, R., Bastiaanssen, W., Waters, R., Tasumi, M., Trezza R. **Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advanced Training and Users Manual**, Idaho. 2002.

Bastiaanssen, W. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p. 87-100. 2000.

Bezerra, B. G. Silva, B. B. Da, Ferreira, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária usando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 3, p.305-317, 2008.

Brandão, Z. N. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009. 152 p. (UFCG-CDU-528.835:633.51(043)/B817e). Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

Perez, P. J.; Castellvi, F.; Ibáñez, M.; Rosell, J. L. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, n.3, p.141-150, 1999.

Silva, B. B. da.; Lopes, G. M.; Azevedo P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 20, n. 2, p. 243 – 252, 2005.

Trezza, R. Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.