

## ANÁLISE DO MODELO METRIC NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA

Nildson Rodrigues de França e Silva<sup>1</sup>, Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>, Magna Soelma Beserra de Moura<sup>2</sup>, Gabriel de Oliveira<sup>3</sup>, Herica Fernanda de Sousa Carvalho<sup>2</sup> e Bruno Silva Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil  
nildson.silva@inpe.br; bete@dsr.inpe.br; bruno.so@dsr.inpe.br;

<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23 – 56302-970 – Petrolina – PE, Brasil  
magna.moura@embrapa.br; herica.fernanda@colaborador.embrapa.br

<sup>3</sup>Universidade do Kansas – Dep. de Geografia e Ciências Atmosféricas, 66045 - Lawrence – Kansas, EUA  
gabrieloliveira@ku.edu

### RESUMO

O município de Juazeiro (BA), em pleno semiárido, apresenta uma extensa área de cana-de-açúcar totalmente irrigada. Nesse contexto é importante o conhecimento da evapotranspiração (ET), a fim de se conhecer a demanda hídrica da cultura. Dentre os métodos para estimativa da ET, o sensoriamento remoto permite de forma eficiente e econômica estimar a ET em larga escala. O objetivo deste estudo foi avaliar a ET real (ETa) estimada pelo modelo METRIC em uma área irrigada de cana-de-açúcar em Juazeiro, Bahia. O modelo foi implementado na linguagem R e alimentado com dados de superfície e orbitais. Foi observado que o modelo pode ser utilizado na estimativa da ET, porém é necessário melhorá-lo e atentar-se para seu processo de calibração, visto que existe dificuldade em encontrar *pixels* de condições extremas de referência para o modelo. Mesmo apresentando valores poucos elevados, a ET estimada pode ser utilizada para avaliar o comportamento do cultivo.

**Palavras-chave** — evapotranspiração, agricultura, irrigação, METRIC.

### ABSTRACT

*The municipality of Juazeiro (BA), in the semiarid, presents a large completely irrigated sugarcane area. In this context, it is important to obtain evapotranspiration (ET) data in order to understand the crop water requirements. Remote sensing allows to obtain ET with high spatial and temporal resolutions. The aim of this study was to evaluate the real ET (ETa) estimated by METRIC model in a sugarcane irrigated area in Juazeiro, Bahia. The model was implemented in the R language and was used surface data and orbital. The model can be used for ET estimates, but it is necessary to improve the model calibration. One of the major difficulties is to obtain the pixels representing the extreme conditions in the study area. Our results show that the method was useful to obtain ET over the study area, with the ET values presenting small deviations from the field observations.*

**Key words** — evapotranspiration, agriculture, irrigation, METRIC.

### 1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é de grande importância para o agronegócio do Brasil, principalmente devido a produção de açúcar e do etanol. Na região Nordeste as maiores produções encontram-se no litoral dos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte. É importante destacar o município de Juazeiro (BA), que devido aos avanços das fronteiras agrícolas do País, apresenta extensas áreas de cultivo da cana-de-açúcar totalmente irrigadas, com 63% de sua área irrigada por sulcos, 31% por gotejamento e 6% irrigados por pivô central; e produtividade média estimada em 101.300 kg/ha para 2017 [1].

O município de Juazeiro esta contido na região semiárida do Brasil, sendo uma das regiões mais povoadas do mundo, mesmo apresentando escassez e irregularidades de chuvas. Nesta região há áreas com precipitação em torno de 800 mm/ano e outras em que a precipitação é menor do que 200 mm/ano. Além disso, apresenta médias anuais de temperatura na faixa de 23 °C a 27 °C; insolação média de 2.800 horas por ano; umidade relativa do ar em torno de 50% e taxa de evaporação de 2.000 milímetros por ano [2, 3].

Nesse contexto é de grande importância se conhecer os dados de ET, visto que por meio destes se pode conhecer a demanda hídrica dos cultivos, como também fazer a seleção de cultivares mais adaptadas à região e, conseqüentemente, fazer um melhor uso dos recursos hídricos. Além disso a ET tem grande destaque nos processos de transferência de energia e massa na superfície-atmosfera [4]. A ET pode ser classificada como evapotranspiração de referência (ETr) e real (ETa). Diante disto, a evapotranspiração real (ETa) é a transferência de água para atmosfera, por evaporação e transpiração, em condições reais de demanda atmosférica e umidade do solo.

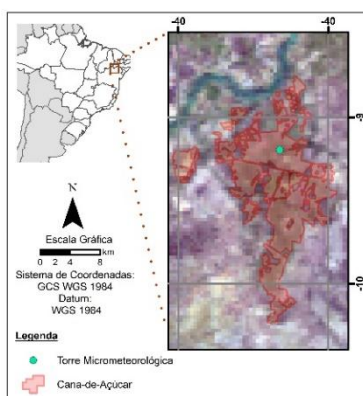
Entre os diferentes métodos utilizados para estimar a ET, apenas o sensoriamento remoto permite conhecer seu valor

em escala regional e global de forma eficiente e econômica. Dentre os diferentes modelos podem-se citar os algoritmos (1) *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL [5], (2) *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* - SAFER [6] e (3) *Mapping Evapotranspiration at High Resolution* - METRIC [7].

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do modelo METRIC na estimativa da ETa em área irrigada de cana-de-açúcar localizada no município de Juazeiro, BA, utilizando dados do sensor MODIS.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo (Figura 1) localiza-se na região do Submédio do Vale do São Francisco em uma área de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp.) irrigada pertencente à Empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco (Agrovale) (40° 20' W, 9° 26' S, 401 m) em Juazeiro na Bahia. A variedade utilizada no experimento foi a VAT 90-212, irrigada por gotejamento subsuperficial, em Vertissolo [8]. O ciclo total da cultura no campo foi de aproximadamente 371 dias, sendo o experimento feito entre maio/2015 e junho/2016. As fases de desenvolvimento da cultura em campo durante o período foram divididas em: Fase 1 – brotação e estabelecimento da cultura (13/06/2015 à 13/07/2015); Fase 2 – perfilhamento (14/07/2015 à 01/12/2015); Fase 3 – máximo crescimento (02/12/2015 à 24/04/2016); e Fase 4 – maturação (25/04/2016 à 17/06/2016).



**Figura 1. Localização da área de estudo: canavial irrigado no município de Juazeiro, Bahia.**

Os dados de superfície para entrada no modelo foram obtidos de uma estação meteorológica (40° 33' W, 9° 19' S, 393 m) de responsabilidade do Laboratório de Meteorologia – LABMET da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Para o modelo se utilizou dados de velocidade do vento (m/s), temperatura do ar (°C), e evapotranspiração de referência – ETo (mm/h).

Quanto aos dados orbitais foram utilizados os produtos MODIS: MCD43A4 (reflectância de superfície ao nadir diário), MCD43A3 (albedo diário), e MOD11A1

(temperatura de superfície diária) extraídos da página do AppEARS [9]. Além dos dados MODIS foi utilizado o produto *Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010* (GMTED2010) com resolução de 500 m, obtido na página do *EarthExplorer* [10].

O modelo METRIC foi implementado na linguagem R e alimentado com os dados de superfície e orbitais. A condição de umidade do solo foi avaliada por meio de um balanço hídrico simplificado, conforme proposto por Allen [11] com o objetivo de verificar a umidade residual no solo na área de estudo, uma vez que isso influencia na escolha dos *pixels* âncoras [12].

Inicialmente foi gerado o balanço de radiação ( $R_n$ ) na superfície, obtido partir da diferença entre o saldo de radiação solar (irradiância solar incidente menos a irradiância solar refletida pela superfície) e o saldo de radiação infravermelha distante ou termal na superfície (radiação termal emitida pela superfície menos a radiação termal emitida pela atmosfera em direção a superfície mais a radiação termal refletida pela superfície), expressado pela Equação 1:

$$R_n = K \downarrow (1 - \alpha) + Lw \downarrow - Lw \uparrow - (1 - \epsilon_s)Lw \downarrow \quad (1)$$

sendo  $K \downarrow$  a irradiância solar incidente na superfície ( $W/m^2$ ),  $\epsilon_s$  é a emissividade de superfície,  $Lw \downarrow$  e  $Lw \uparrow$  são, respectivamente, a radiação infravermelha termal emitida pela atmosfera e pela superfície ( $W/m^2$ ). O  $\alpha$  é o albedo da superfície (adimensional) que para este estudo foi obtido utilizando-se a Equação do *blue-sky* albedo [13]:

$$\alpha = \{1 - S(\theta, \tau(\lambda))\} \alpha_{bs}(\theta, \lambda) + S(\theta, \tau(\lambda)) \alpha_{ws}(\theta, \lambda) \quad (2)$$

em que  $\alpha_{bs}$  e  $\alpha_{ws}$ , são respectivamente, o *black-sky* e o *white-sky* albedo provenientes do produto MCD43A3 do MODIS,  $S(\theta, \tau(\lambda))$  é a fração de luz difusa obtida por uma *look-up table* [14] considerando a banda que corresponde a toda faixa de ondas curtas e o tipo de aerosol continental,  $\theta$  é o ângulo solar zenital do centroide da área de estudo, e  $\lambda$  é a profundidade óptica oriunda do centroide da área de estudo, sendo este proveniente do produto MOD08 AOD 550nm do MODIS. Mais informações do *blue-sky* albedo são descritas em [13].

No METRIC o fluxo de calor no solo ( $G$ ) é obtido por meio de uma equação empírica desenvolvida por [15], sendo definido como a quantidade de energia transferida ao solo por condução.

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

em que  $T_s$  é a temperatura de superfície (°C) proveniente do MOD11A1, e o  $NDVI$  é o índice de vegetação por diferença normalizada.

O fluxo de calor sensível ( $H$ ) é a quantidade de calor transferida para o ar por condução e convecção devido à

diferença de temperatura. No METRIC o H é estimado utilizando uma calibração interna que se baseia na diferença de temperatura próxima a superfície em dois níveis.

$$H = (\rho \times c_p \times dT) / r_{ah} \quad (4)$$

sendo  $\rho$  a densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ ),  $c_p$  a constante de calor específico do ar ( $1.004 \text{ J/kg/K}$ ),  $dT$  (K) é a diferença de temperatura entre duas alturas, e  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica de transporte de calor (s/m).

A obtenção do H é a parte mais importante da modelagem, visto que na etapa de calibração interna são definidos dois *pixels* âncora (quente e frio), que baseiam-se em duas condições extremas, conforme mostrado por [7]. Para este estudo foram necessárias fazer algumas modificações para escolha dos *pixels* âncoras, pois alguns dos limiares propostos pelo METRIC não eram adequados para área de estudo, por exemplo: a faixa de NDVI e albedo.

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido como termo residual do balanço de energia na superfície (Equação 5):

$$LE = Rn - G - H \quad (5)$$

LE é o fluxo de calor latente ( $\text{W/m}^2$ ), Rn é o balanço de radiação ( $\text{W/m}^2$ ), G representa o fluxo de calor no solo ( $\text{W/m}^2$ ) e H ( $\text{W/m}^2$ ) é o fluxo de calor sensível.

Após obtenção do Rn, G, H, LE, a ETa foi calculada considerando a fração da ETo (EToF ou Kc) constante ao longo do dia e extrapolando a ET no horário da imagem para 24 horas.

Para o processo de validação dos dados, considerou-se o período diário a soma da ET das 07:30 até às 16:30 na torre micrometeorológica localizada na área de estudo. Para preenchimento das falhas na série aplicou-se o método de interpolação linear nas datas que faltavam até 5 dados, mais do que isso o dia era descartado.

Após obtenção das imagens da ETa para o dia, foi feita a análise da acurácia dos produtos gerados com dados de ETa provenientes da torre micrometeorológica. Foram utilizados os índices *bias*, coeficiente de correlação ( $r$ ), raiz do erro médio quadrático (RMSE), e erro relativo médio (MRE).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ETa estimada pelo modelo METRIC apresentou um MRE de 11% com relação aos dados medidos em campo, além disso o *bias* e o RMSE foram respectivamente 0,51 mm/dia e 0,90 mm/dia (Tabela 1). Com relação ao  $r$ , observou-se que os dados modelados seguiram a mesma tendência das medidas de campo. Deve-se ressaltar a dificuldade de seleção de *pixels* âncoras representativos em algumas datas do período chuvoso, o que acabou influenciando no aumento dos desvios e logo nas estimativas da ETa.

No *pixel* que abrange a torre micrometeorológica os valores da ETa estimada pelo METRIC ficaram entre 4,77 mm/dia e 7,41 mm/dia, na torre para as mesmas datas a ETa

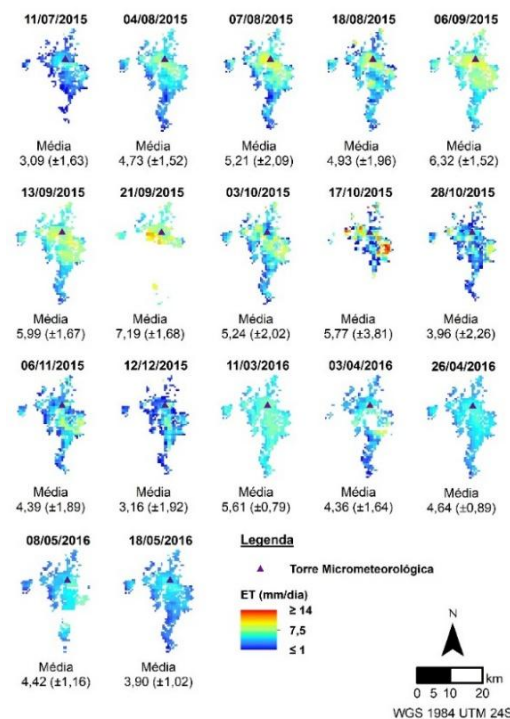
estava entre 3,51 mm/dia e 6,99 mm/dia. No entanto, o valor médio (VM) da ETa estimada pelo modelo é 6,17 mm/dia, havendo uma superestimativa de 9% do VM da torre para o mesmo conjunto de datas, que é de 5,67 mm/dia.

**Tabela 1.** Avaliação da ETa estimada pelo METRIC e medida na Torre. MRE é o erro relativo médio, RMSE é a raiz do erro médio quadrático,  $r$  é o coeficiente de correlação.

	Bias	MRE (%)	RMSE	$r$
ETa METRIC x	0,51	11	0,90	0,54
ETa Torre				

Como observado na Figura 2, os valores médios da ETa na área de estudo variaram entre 3,09 mm/dia até 7,19 mm/dia, apresentando um valor VM diário de 4,88 mm/dia ao longo do período, valor próximo ao obtido por [16], que foi de 4,7 mm/dia e [8] que encontrou VM de ETa de 5 mm/dia para o período de maio/2015 e junho/2016 na mesma Usina utilizando dados de torre micrometeorológica.

Ainda na Figura 2 foi observado que os maiores valores de ETa foram encontrados no período seco (maio – outubro) com média de 5,24 mm/dia, e no período chuvoso (novembro – abril) os valores estavam na faixa de 4,35 mm/dia. Ressalta-se que no período chuvoso a ETa é mais uniforme, tendo valores médios de desvio padrão (DP) de  $\pm 1,33$  mm/dia diferindo do período seco que apresenta DP de  $\pm 2$  mm/dia. O menor DP do período chuvoso pode ser explicado pelo fato de que nesta época do ano a grande maioria das áreas o cultivo está em pleno desenvolvimento.



**Figura 2.** Dinâmica espaço-temporal da ETa na área de estudo.

De acordo com a Figura 3, a ETa variou ao longo de todo o ciclo da cultura, principalmente, na Fase 2, onde se observa uma acentuada variação na ETa, porém nota-se que a partir de novembro a demanda hídrica da cultura pouco se alterou, porém o índice de área foliar (IAF) se elevou marcando a Fase 3 do cultivo que vai até o final de abril de 2016. Notou-se na Figura 3 uma queda no IAF, como também na ETa, no final do mês de abril e início de maio, isso ocorre porque na fase de maturação da cultura há a suspensão da irrigação.

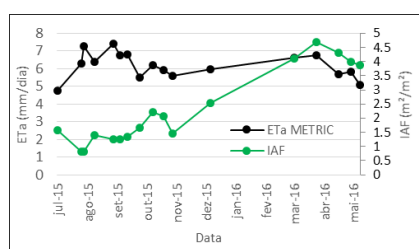


Figura 3. Perfil temporal da ETa e do IAF para cana-de-açúcar estimados pelo METRIC na área da torre.

## 5. CONCLUSÕES

O modelo METRIC mostrou-se eficaz na estimativa da ETa da cana-de-açúcar na região, porém existe a necessidade de melhorar o processo de calibração do modelo para que se obtenha resultados coerentes. Isso se relaciona diretamente a escolha dos *pixels* âncoras. Por tal motivo, propõe-se automatizar o modelo na etapa de seleção dos *pixels* âncoras. Mesmo apresentando valores mais elevados que os medidos em campo, o modelo foi essencial na estimativa da ETa em escala regional, permitindo avaliar o comportamento da cultura no período.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.

[2] Brito, L.T. de L.; Moura, M.S.B. de e Gama, G.F.B. “Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro”, Embrapa Semiárido, Petrolina, 181 p., 2007.

[3] Lima, J.P.R. “A Economia do Semiárido Nordeste: Desenvolvimento Recente e Transformações em Curos”, In: Nascimento, A. e Lima, M.C. O Nordeste Brasileiro em Questão: uma Agenda para Reflexão. Editora UFPE, Recife, v. 1, 2014.

[4] Silva, T.G.F. da; Zolnier, S.; Moura, M.S.B. de e Souza, L.S.B. de. “Sazonalidade do controle de evapotranspiração pela cana-de-açúcar irrigada e características aerodinâmicas da cultura no

Semiárido brasileiro”, *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 4, pp. 621-634, 2013.

[5] Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A. e Holtslag, A.A.M. “A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation”, *Journal of Hydrology*, v. 212-213, pp. 198-212, 1998.

[6] Teixeira, A.H. de C.; Leivas, J.F.; Andrade, R.G. e Hernandez, F.B.T. “Water productivity assessments with Landsat 8 images in the Nilo Coelho irrigation scheme”, *Irriga*, v.1, pp. 1-10, 2015.

[7] Allen, R.G.; Tasumi, M. e Trezza, R. “Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model”, *Journal of Irrigation and Drainage*, v.133, n. 4, pp. 380-394, 2007.

[8] Carvalho, H.F. de S.; Moura, M.S.B. de; Silva, T.G.F. da e Rodrigues, T.A. “Controlling factors of ‘Caatinga’ and sugarcane evapotranspiration in the Sub-middle São Francisco Valley”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n. 4, pp. 225-230, 2018.

[9] *Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples – AppEARS*, 2018. Disponível em: <<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.

[10] *EarthExplorer*, 2018. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.

[11] Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. e Smith, M. “Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 p., 1998.

[12] Tasumi, M. “Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery”, 2003, 357 p., Tese (PhD. *Biological and Agricultural Engineering*). University of Idaho, Idaho, 2003.

[13] Schaaf, C.B.; Gao, F.; Strahler, A.H.; Lucht, W.; Li, X.; Tsang, T.; Strugnell, N.C.; Zhang, X.; Jin, Y.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M.; Hobson, P.; Disney, M.; Roberts, G.; Dunderdale, M.; Doll, C.; D’Entremont, R.; Hu, B.; Liang, S.; Privette, J.L. e Roy, D. “First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS”, *Remote Sensing of Enviro.*, v.83, 2002.

[14] University of Massachusetts Boston, 2018. Disponível em: <[https://www.umb.edu/spectralmass/terra\\_aqua\\_modis/modis\\_user\\_tools/](https://www.umb.edu/spectralmass/terra_aqua_modis/modis_user_tools/)>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.

[15] Bastiaanssen, W.G.M. “SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey”, *Journal of Hydrology*, v. 229, n. 1-2, pp. 87-100, 2000.

[16] Silva, T.G.F. da; Moura, M.S.B. de; Zolnier, S.; Soares, J.M.; Vieira, V.J. de S. e Junior, W.G.F. “Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 1, 2012.