

## Balanco hídrico climatológico da cultura da cana-de-açúcar via sensoriamento remoto em Santo Antônio de Goiás-Go

Dayanna Teodoro Quirino<sup>1</sup>  
José Alves Júnior<sup>1</sup>  
Derblai Casaroli<sup>1</sup>  
João Maurício Fernandes de Souza<sup>1</sup>  
Márcio Mesquita<sup>1</sup>  
Adão Wagner Pego Evangelista<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG  
Núcleo de Pesquisa em Clima e Recursos Hídricos do Cerrado (NUCLIRH)  
Caixa Postal 131 – CEP 74690-900 – Campus Samambaia – Rodovia Goiânia/Nova Veneza,  
Km 0 – Goiânia – GO – Brasil  
dayanna\_teodoro@hotmail.com  
jose.junior@pesquisador.cnpq.br  
derblai@ufg.br  
joaomfsouza@gmail.com  
marciomes@gmail.com  
awpego@bol.com

**Abstract:** The climatic water balance is an important tool for agricultural planning and can also be adjusted to monitor the deficit and surplus water for purposes of irrigation. For its preparation, there is need for input and output of water in the system, rainfall and evapotranspiration, respectively, as well as plant and soil data. This study aimed to compare the water balance of the culture of sugarcane cultivation in Santo Antônio de Goiás, using estimated rainfall data and evapotranspiration by remote sensing with the water balance made via automatic weather station data. The study was conducted in sugarcane ratoon cycle, 2014/2015 crop in rainfed crop. The rainfall data were obtained from satellite TRMM algorithm 3B42 Version 7, evapotranspiration was estimated by SAFER algorithm by means of the satellite Landsat 8 images and precipitation records were obtained from the meteorological station of EMBRAPA - Rice and Beans located in San Antonio municipality Goiás. To calculate the water balance was used the methodology proposed by Thornthwaite and Mather. Rainfall estimated by TRMM showed Pearson correlation of 0.96, concordance index of 0.91. In the rainy season the ET ranged from 2.07 to 4.41 mm and the dry period showed variability from 1.13 to 3.17 mm. The estimate of the actual daily evapotranspiration by SAFER algorithm and precipitation by satellite TRMM 3B42 Version 7 are promising tools for monitoring and timeline planning large areas of agricultural production.

**Key words:** Balanço hídrico, SAFER, satélite TRMM, Hydric balance, SAFER, satellite TRMM

### 1.Introdução

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com estimativa para a safra de 2016/2017 de 684,77 milhões de toneladas. O crescimento está previsto em 2,9% em relação à safra anterior CONAB (2016). Vários fatores têm interferência na produção da cana-de-açúcar, com destaque para as interações edafoclimáticas Maule et al. (2001). Os elementos climáticos afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas em todas as fases do ciclo fenológico.

A disponibilidade hídrica de uma região pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico (BHC), que evidencia as variações sazonais de excedentes e de déficits hídricos a partir de entradas e saídas de água em um volume de controle. Sendo a principal entrada de água no sistema a precipitação pluvial (P) e a principal saída a evapotranspiração potencial (ETP) Pereira et al. (2002).

A evapotranspiração pode ser obtida por método direto utilizando lisímetro ou indireto por modelos matemáticos que utilizam dados climatológicos registrados em estações

pluviométricas. Porém os valores obtidos são pontuais para um local. Essa limitação motivou o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto afim de estimar a evapotranspiração por meio de dados obtidos por imagens de satélite. Alguns algoritmos têm sido desenvolvidos nas ultimas década como Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL – Bastiaanssen et al. (1998a, 1998b), o Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration – METRIC – Allen et al. (2007a, 2007b) e o Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving – SAFER – Teixeira et al. (2013).

Assim como a evapotranspiração a precipitação é uma informação utilizada para o cálculo do balanço hídrico é obtida por equipamentos tais como pluviômetros e pluviógrafos que possui caráter pontual com cobertura espacial de 10 km de raio para aplicações locais na agricultura segundo a OMM (Organização Mundial de Meteorologia). Muitas estações pluviométricas por questões financeiras encontram-se desativadas ou com carência de pessoal qualificado para realizar as observações. Tornando os dados de precipitação indisponíveis em locais de interesse, ou ainda, um número grande de falhas ao longo do tempo.

As medições de precipitação de forma precisa fornecem informações importantes do potencial hídrico da região contribuindo para um eficiente manejo de atividades agrícolas e na classificação climática local. Diante disso, técnicas de sensoriamento remoto têm preenchido as lacunas existentes deixadas pelas estações meteorológicas, na estimativa de precipitação. Alguns trabalhos têm demonstrado sua eficiência na estimativa de chuvas pelo satélite TRMM Pereira et al. (2013); Mantas et al. (2014); Oliveira Júnior et al. (2014); Pombo e Oliveira (2015).

O presente trabalho objetivou comparar o balanço hídrico da cultura de um cultivo de cana-de-açúcar em Santo Antônio de Goiás, utilizando dados de chuva e evapotranspiração estimados via sensoriamento remoto, como balanço hídrico feito via dados de estação meteorológica automática.

## 2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi conduzido no município de Santo Antônio de Goiás - GO (16°28'50" S; 49°21'07" W; 760 m alt), na fazenda Louzandira. O plantio foi realizado em abril de 2013 e a colheita em setembro de 2014. A variedade plantada foi a CTC-4 de ciclo médio-tardio. O estudo foi realizado em ciclo de cana-soca em 193 ha. A safra de 2014/2015 é em cultivo de sequeiro, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (27% de argila, 13% de silte e 60% de areia). Segundo a classificação de Köppen, o município de Santo Antônio de Goiás - GO apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.498 mm Silva (2014).

Para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foram utilizados dados diários da estação pluviométrica situada na EMBRAPA- Arroz e feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, empregando o método de Penman-Monteith Monteith (1973) recomendado pelo FAO Smith (1991).

Para estimativa da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) estimada por sensoriamento remoto através do algoritmo SAFER foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8 (OLI/TIRS), órbita/ponto 222/71, adquiridas gratuitamente no banco de imagens do *United States Geological Survey* – USGS (2016). As imagens selecionadas para este estudo foram após a colheita em outubro, no dia 11/10/2014, 15/01/2015, 31/01/2015, 16/02/2015, 21/03/2015, 21/04/2015, 07/05/2015, 23/05/2015, 08/06/2015, 24/06/2015, 10/07/2015, 26/07/2015, 11/08/2015 e 27/08/2015.

Como ferramenta de programação e cálculo utilizou-se a função *raster calculator* disponível no software gerenciador de Sistema de Informações Geográficas (SIG) Arcgis 10.2 que permite o cálculo e aplicação da modelagem através de dados *raster*.

No SAFER, o albedo de superfície ( $\alpha_s$ ) foi estimado em função do albedo no topo da atmosfera ( $\alpha_0$ ) (Equação):

$$\alpha_s = a \cdot \alpha_0 + b \quad (1)$$

em que  $a$  e  $b$  são coeficientes de regressão, correspondentes aos valores 0,7 e 0,006, respectivamente Teixeira (2010).

A temperatura de superfície ( $T_0$ ) foi estimada pela equação 2 cuja equação é descrita por:

$$T_0 = a * \text{media TKelvin} + b \quad (2)$$

em que  $a$  e  $b$  são coeficientes de correção Teixeira (2010), cujo os valores são 1,11 e 31,89, respectivamente.

Em seguida estimou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pela (Equação3):

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (3)$$

Em que IVP é a reflectância da banda do infravermelho próximo e V a reflectância na banda do vermelho.

Posteriormente os dados de albedo de superfície ( $\alpha_0$ ), temperatura de superfície ( $T_0$ ) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foram utilizados para se calcular os valores instantâneos da relação  $ET/ET_0$  pela (Equação 4):

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_0 * NDVI} \right) \right] \quad (4)$$

Para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 Hernandez et al.(2012<sup>a</sup>) Teixeira et al.(2013a) determinado para o Noroeste Paulista, demonstrando ser bem adaptado às condições da região estudada. O coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) e corresponde ao valor de -0,008 e  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência, dada em milímetros por dia ( $\text{mm d}^{-1}$ ), método Penman-Monteith, conforme boletim FAO N° 56 Allen et al. (1998), pela (Equação 5):

$$ET_0 = \frac{0,408 X (Rn-G) + \left[ \gamma x \left( \frac{900}{T+273} \right) x u_2 x (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma x (1+0,34 x u_2)} \quad (5)$$

em que,  $Rn$  é o saldo de radiação à superfície da cultura ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $G$  é a densidade de fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $T$  é a média diária da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  é a velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação do ar (kPa),  $e_a$  é a pressão de vapor atual do ar (kPa),  $e_s - e_a$  é o déficit de pressão de vapor de saturação do ar (kPa),  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor do ar na atmosfera ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Em seguida os valores instantâneos da relação ( $ET/ET_0$ ) foram multiplicados pelos valores diários da  $ET_0$ , chegando assim à evapotranspiração atual ( $ET_a$ ), conforme (Equação 6):

$$ET_a = \frac{ET}{ET_0} \cdot ET_0 \quad (6)$$

sendo:  $P_i$  é o valor estimado;  $O_i$  é o valor observado;  $O$  é a média dos valores observados.

O cálculo do balanço hídrico da cultura seguiu a metodologia proposta por Thornthwaine e Mather (1955), para uma CAD (Capacidade de água disponível) de 126,40 mm calculada para área de estudo, considerando profundidade de raiz de 0.85 cm. Os valores de  $K_c$  para a cana-de-açúcar de acordo com Doorenbos e Kassam (1994), citados por Santos (2005), podem ser assim definidos na tabela 1.

Tabela 1: Valores de Kc para cana-soca nos diferentes estádios de desenvolvimento.

Desenvolvimento	Período	Kc
Do plantio até 25% de cobertura	0 a 1 mês	0,55
De 25% a 50% de cobertura	1 a 2 meses	0,80
De 50% a 75% de cobertura	2 a 2,5 meses	0,90
De 75% a cobertura completa	2,5 a 4 meses	1,00
Cobertura total do solo	4 a 10 meses	1,05
Início da maturação	10 a 11 meses	0,80
Maturação	11 a 12 meses	0,60

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

A planilha de cálculo do BHC utilizou dois dados de entrada de precipitação no sistema, a precipitação obtida por pluviômetros instalados no local e a precipitação estimada pelo TRMM. Os dados de estimativas de precipitação por satélite utilizadas foram provenientes do algoritmo 3B42 Versão 7 que são obtidas a partir da Técnica *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)* Huffman et al. (2007).

O desempenho do balanço hídrico da cultura obtido com dados por satélite foi avaliado correlacionando-se os dados medidos com os estimados, através de uma regressão linear em que se consideraram os indicadores estatísticos, coeficiente de correlação simples de Pearson “r”, índice de Willmott “d”. O índice de Willmott está relacionado ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, variando de zero para nenhuma concordância á 1 para a concordância perfeita.

### 3. Resultados e Discussão

A precipitação estimada pelo satélite TRMM algoritmo 3B42 Versão 7 comparada a precipitação registrada na estação pluviométrica apresentou um índice de correlação de 0,96, índice de concordância de Willmott 0,91, erro médio quadrático de 1,10 mm e r quadrado de 0,92 para a área de estudo analisada. Pereira et al. (2013) analisaram os dados de 183 estações meteorológicas distribuídas no país comparados com dados TRMM no período de 1998 a 2010, e chegaram a uma concordância de aproximadamente 97% dos dados, embora os dados TRMM superestimaram a precipitação mensal em 15%. Mesmo assim as estimativas de precipitação mostraram variação sazonal muito similar aos dados das estações meteorológicas.

Na figura 1 estão representadas as imagens da ETa estimadas pelo algoritmo SAFER para os dias com disponibilidade de imagens do satélite Landsat-8 sem a presença de nuvens. As áreas de cor vermelha representam os menores valores de ETa que correspondem a áreas de solo exposto ou vegetação muito rala. No período chuvoso da região que compreende de outubro a abril a evapotranspiração real estimada pelo algoritmo SAFER variou conforme o estágio fenológico da cultura de cana-de-açúcar. No dia 11/10/2014 o valor de ETa atingiu 98% abaixo da ETr observada na estação pluviométrica em razão da área de estudo estar com solo exposto, pois a safra anterior havia sido colhida.

No período de janeiro a abril a cana-de-açúcar estava no estágio de perfilhamento com variação de ETa de 1,89 a 2,69 mm estimados pelo algoritmo SAFER. Já a ETr observada neste período variou de 2,07 a 4,41 mm. Os valores de evapotranspiração estimados por técnicas de sensoriamento remoto no período chuvoso da região subestimaram os índices em 27%.

Em estudos com imagens de satélite, Moreira et al., (2010) encontraram variabilidade significativa da evapotranspiração em três regiões, atribuindo isso as condições do solo, clima e vegetação, que apresentaram grandes variações, resultando assim em grandes diferenças de ET<sub>0</sub> nas regiões estudadas. Em áreas de cana-de-açúcar, Mendonça (2007) observou grande variação anual de ET<sub>0</sub>, encontrando valores entre 2 e 7 mm.dia<sup>-1</sup>, com imagens de satélite.

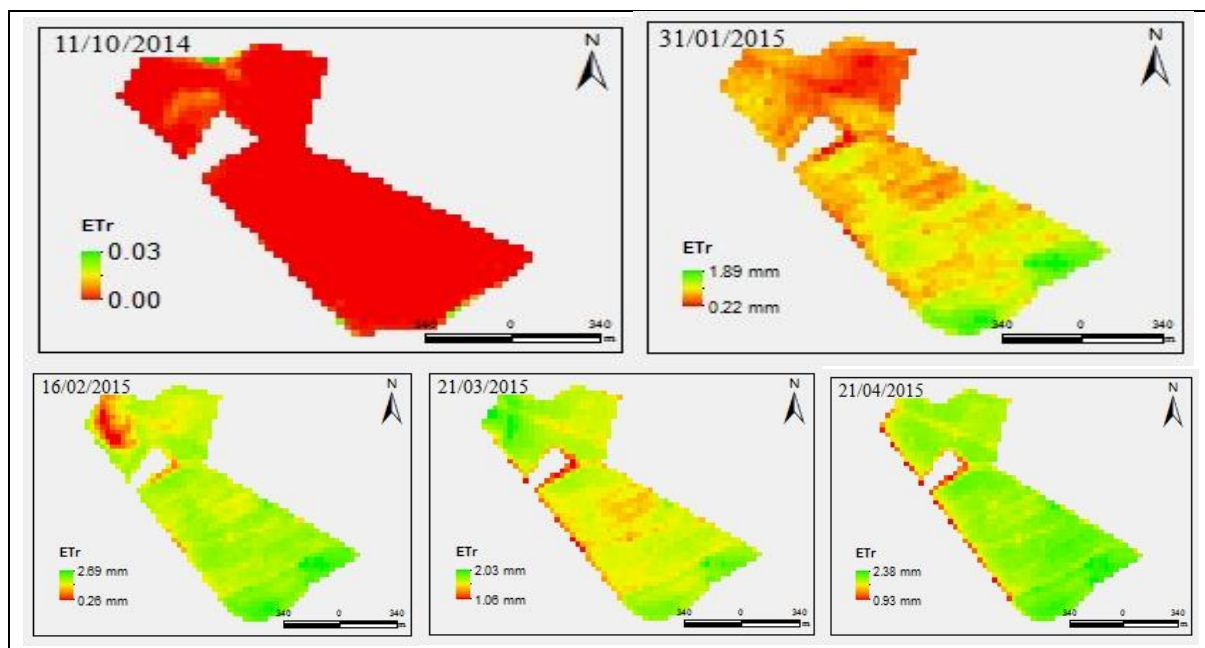


Figura 1. Imagens da evapotranspiração atual diária (ETA) na área de estudo referente ao período de janeiro a maio de 2015 na área delimitada do estudo.

A figura 2 apresenta a ETA estimada pelo algoritmo SAFER no período seco da região de estudo.

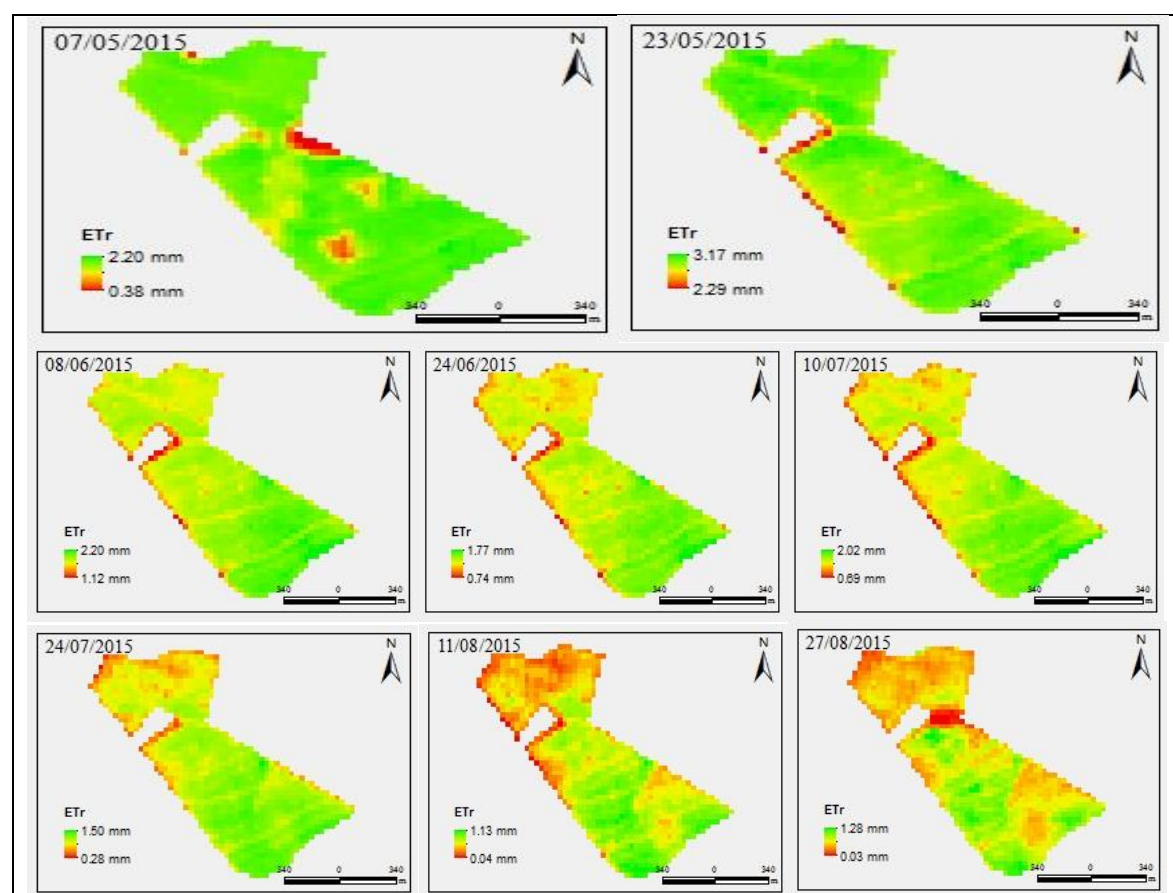


Figura 2. Imagens da evapotranspiração atual diária (ETA) na área de estudo referente ao período de maio a agosto de 2015 na área delimitada do estudo.

A ETa máxima estimada ocorreu no mês de maio com 3,17 mm e apresentou pouca variabilidade espacial na área de recorte com a cultura de cana-de-açúcar. No período seco a estimativa de evapotranspiração real pelo algoritmo SAFER comparado a evapotranspiração real obtida pelo método de Penman-Motheith superestimou os índices em 22%.

A tabela 2 apresenta os valores estatísticos obtidos da comparação da evapotranspiração estimada por satélite e a observada na estação pluviométrica. Os resultados indicam que o algoritmo SAFER apresentou melhor desempenho no período seco.

Tabela 2: Valores do coeficiente de correlação, erro médio quadrático e índice de concordância da evapotranspiração real diária estimada com dados de satélite comparada com evapotranspiração real diária com dados da estação pluviométrica.

Período	r	RMSE	d
Chuvoso	0,49	0,44	0,90
Seco	0,67	0,26	0,74

Sales et al., (2016) estimou os valores de ETa pelo algoritmo SAFER para a cultura do feijão irrigado no Distrito Federal e obteve correlação de Pearson e índice de concordância próximos de um indicando forte relação entre os valores de evapotranspiração real estimada pelo algoritmo SAFER e método de padrão (FAO-56).

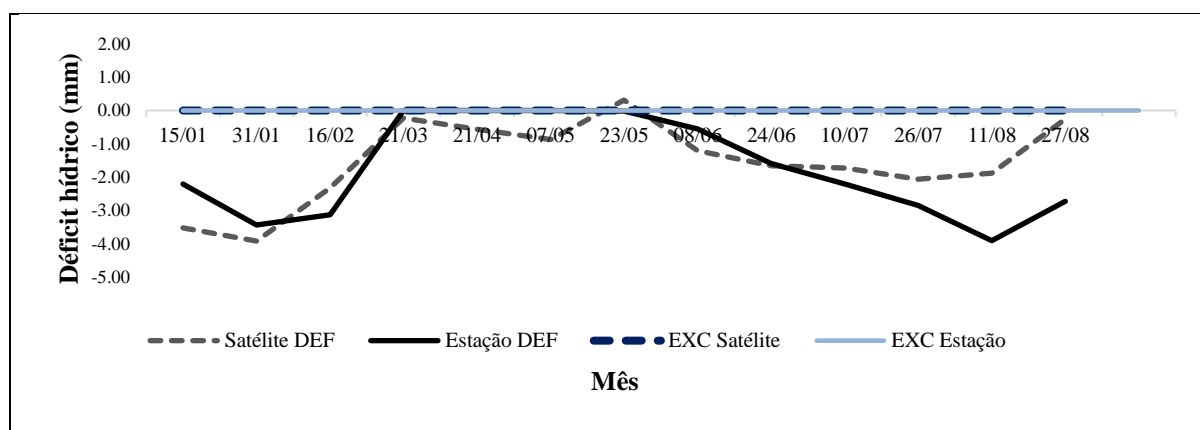


Figura 3 – Comparativo do déficit hídrico estimado via sensoriamento remoto com observado em estação pluviométrica.

O déficit hídrico do balanço hídrico da cultura de cana-de-açúcar na figura 3 mostra que as variáveis obtidas por sensoriamento remoto apresentaram uma subestimativa nos valores de 12%. A correlação de Pearson “r” apresentou um valor de  $r = 0,67$  e índice de concordância 0,97. O excedente hídrico obtido pelas duas fontes de dados apresentou valores idênticos.

#### 4. Conclusões

O balanço hídrico da cultura de cana-de-açúcar obtido com informações extraídas de imagens de satélite demonstrou resultados estatísticos satisfatórios, tornando-se uma ferramenta útil para fins de monitoramento de necessidade hídricas principalmente no período de deficiência hídrica. O algoritmo SAFER apresentou boa acuraria e a capacidade de mapear a variabilidade espacial da evapotranspiração real diária na cultura de cana-de-açúcar.

A estimativa da evapotranspiração real diária pelo algoritmo SAFER e a precipitação pelo satélite TRMM 3B42 Versão 7 são ferramentas promissoras para acompanhamento e planejamento espaço temporal de extensas áreas de produção agrícola.

## Referências Bibliográficas

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computation crop water requirements** - FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Rome, Italy, 1998.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007a.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Morse, A.; Trezza, R.; Wright, J. L.; Bastiaassen, W.; Kramber, W.; Lorite, I.; Robison, C. W. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.395-406, 2007b.

Bastiaassen, W.G. M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holtslang, A. A. M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL). Part 1, formulation. **Journal of Hydrology**, n.212-213, p.198-298, 1998a.

Bastiaassen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Ma, Y.; Moreno, J. F.; Roenink, G. J.; Van Der Wal, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – Validation. **Journal of Hydrology**, v.212–213, p.213-229, 1998b.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. 2016.

Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. Estudos FAO: **Irrigação e Drenagem**, 33.

Hernandez, F. B. T.; Teixeira, A. H. C; Neale, C. M. U.; Taghvaeian, S. Determining actual evapotranspiration on the large scale using agrometeorological and remote sensing data in the Northwest of the São Paulo State, Brazil. In: **International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 7<sup>o</sup>**, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.

Huffman, G. J; Adler, R. F; Bolvin, D. T; GU, G; Nelkin, E. J; Bowman, K. P. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. **Journal of Hydrometeorology** 2007; 8 (1): 38- 55

Mantas, V. M.; Liu, Z.; Caro, C.; Pereira, A. J. S. C. Validation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes. **Atmospheric Research**, v. 163, p. 132–145, 2014.

Mendonça, J. C. **Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense**. 2007. 145 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Monteith, J. L. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, 241p. 1973.

Moreira, L. C. J.; Durand, B. J.; Teixeira, A. S. dos; Andrade, E. M. Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmos sebal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.6, p.1148-1159, 2010.

Oliveira Júnior, J. F. et al. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014.

Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, p. 478, 2002.

Pereira, G. et al. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.18, n.3, p. 139-148, 2013.

Pombo, S.; Oliveira, R. P. de. Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. **Journal of hydrology**, v. 523, p. 663-679, 2015.

Silva, S. C. da; Heinemann, A. B.; Paz, R. L. F. da; Amorim, A. de O. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao Município de Santo Antônio de Goiás, GO, 2012.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 29 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 298).

Santos, M. A. L. dos. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o estado de Alagoas. **Tese** (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem), Piracicaba- SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ /USP, 2005, 100p.

Sales, D. L. A.; Alves Júnior, J.; Souza, J. M. F.; Casaroli, D.; Evangelista, A. W. P.; Pereira, R. M. Common bean evapotranspiration estimated by orbital images. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, pp. 867-872, 2016.

Smith, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. **Rome FAO.** 45p. 1991.

Teixeira, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287–1319, 2010.

Teixeira, A. H. de C. Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations. In: Neale, C. M. U.; Cosh, M. H. (Org.). **Remote Sensing and Hydrology**, Local?,v. 352, n.?, p. 154-157, 2012a

Teixeira, A. H. de C.; Hernandez, F. B. T.; Lopes, H. L.; Scherer-Warren, M.; Bassoi, L. H. Modelagem espaço temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. **Documentos: 99** - Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP. 2013. 32p.

Thorthwaite, C. W.; Mather, J. R. **The water balance.** Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Techonology, 1955. 104p.

Willmott, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich,v.2, n.2, p.184-194, 1981.