

## ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO

**DANIELA ARAÚJO DE OLIVEIRA<sup>1</sup>; FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ<sup>2</sup>; REGIANE DE CARVALHO BISPO<sup>3</sup>; RICARDO NOGUEIRA GOMES<sup>4</sup> E ANTONIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UNESP, Rua José Barbosa de Barros, 1780, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: da.oliveira@unesp.br.*

<sup>2</sup> *Professor Titular, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos - DEFERS, UNESP, Avenida Brasil Sul, n° 56, Centro, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. E-mail: fernando.braz@unesp.br.*

<sup>3</sup> *Professora Doutora, Colegiado de Engenharia Agrônômica, UNIVASF, Rodovia BR 407, 12 Lote 543, 56300-000, Petrolina, Pernambuco, Brasil. E-mail: regianecarvalhoks@gmail.com.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Agrônomo, Usina Ipê - Pedra Agroindustrial, Rod. General Euclides de Oliveira Figueredo, Km 167 + 871,35 m, 16940-000, Nova Independência, São Paulo, Brasil. E-mail: ricardo.gomes@uspedra.com.br.*

<sup>5</sup> *Professor Externo, Departamento de Recursos Hídricos (PRORH), UFS, Av. Marechal Rondon, s/n, Jd. Rosa Elze, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil. E-mail: heribert@globomail.com.*

### 1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estimar as demandas hídricas da cultura da cana-de-açúcar irrigada pelo sistema pivô central, por meio da aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*). O estudo foi realizado em área comercial, no município de Nova Independência - SP, compreendendo a safra de 2020/21. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e Sentinel 2 e dados agrometeorológicos na estimativa da relação ETa/ETo e evapotranspiração atual (ETa). Os maiores valores de ETa observados foram entre 3,4 e 4,4 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto os maiores valores da relação ETa/ETo foram de 0,7 e 0,8 e, apesar de comportamento similar a trabalhos semelhantes, são menores que os indicados em literatura.

**Palavras-chave:** SAFER, evapotranspiração, pivô central.

**OLIVEIRA, D. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; GOMES, R. N.; TEIXEIRA, A. H. C.**

**ESTIMATION OF THE WATER DEMAND OF THE IRRIGATED SUGARCANE USING REMOTE SENSING**

### 2 ABSTRACT

This work aimed to estimate the water demands of the sugarcane crop irrigated by the central pivot system, through the application of the SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) algorithm. The study was conducted in a commercial area, in the city of Nova Independência, SP, comprising the 2020/21 harvest. Images from the Landsat 8 and Sentinel 2 satellites and agrometeorological data were used to estimate the ETa/ETo ratio and actual evapotranspiration (ETa). The highest values of ETa observed were between 3.4 and 4.4 mm day<sup>-1</sup>, while the highest values of the ETa/ETo ratio were 0.7 and 0.8, and

despite similar behavior to similar works, they are smaller than those indicated in the literature.

**Keywords:** SAFER, evapotranspiration, central pivot.

### 3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem como seus principais derivados o açúcar e o etanol, sendo uma cultura de grande importância para a socioeconomia brasileira, visto que o país é o maior produtor mundial. A estimativa de produção do Brasil para a safra 2021/2022 é de 628,1 milhões de toneladas, tendo a região Sudeste como a principal produtora do país, com cerca de 5,2 milhões de hectares cultivados (CONAB, 2021).

Segundo Avilez et al. (2018a), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar pode chegar em até 1595 mm por safra na região Noroeste do Estado de São Paulo, a depender da variedade, do seu ciclo total e da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) do local a qual está inserida. O conhecimento da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) é indispensável no cultivo irrigado, pois essa variável representa a demanda hídrica da cultura e, a realização de um manejo de irrigação correto evita desperdícios de água, de energia e quedas de produtividade (SALES et al., 2017).

A evapotranspiração de cultura consiste no produto da ET<sub>o</sub> por um coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), o qual varia conforme a fase de crescimento do cultivo, levando em consideração condições ideais para seu desenvolvimento em campo (ALLEN et al., 1998). Entretanto, quando uma cultura é instalada em campo, ela está sujeita a pragas e doenças, déficit ou excesso hídrico, baixa fertilidade do solo, entre outros contratempos que a impedem de atingir seu potencial máximo evapotranspirativo. Nessas condições, ao estimar a evapotranspiração de uma cultura,

esta é chamada de evapotranspiração real ou evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>).

A quantificação da evapotranspiração atual e a relação ET<sub>a</sub>/ET<sub>o</sub> pode ser realizada por meio do sensoriamento remoto com a aplicação de algoritmos em imagens de satélite e dentre esses algoritmos, o SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) (TEIXEIRA, 2010) é destaque por ser um algoritmo simplificado e por apresentar bons resultados em larga escala (SALES et al., 2017). De acordo com Teixeira, Hernandez e Lopes (2012) o modelo tem a vantagem da simplicidade de aplicação, não há necessidade da classificação das culturas e tampouco das condições extremas, além de utilizar variáveis agrometeorológicas diárias de estações agrometeorológicas convencionais ou automáticas. O SAFER tem como variáveis de entrada a radiação global, a temperatura média do ar com base diária obtida em estações agrometeorológicas e a evapotranspiração de referência, que juntamente aos dados obtidos por sensoriamento remoto se estima a relação ET<sub>a</sub>/ET<sub>o</sub> (coeficiente de cultivo atual) e posteriormente a ET<sub>a</sub>.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estimar as demandas hídricas da cultura da cana-de-açúcar irrigada pelo sistema pivô central ao longo do seu ciclo produtivo, representadas pela evapotranspiração atual e a relação ET<sub>a</sub>/ET<sub>o</sub>, por meio da aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) em imagens de satélite.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em área comercial de cana-de-açúcar, localizada no município de Nova Independência - SP, tendo como coordenadas geográficas: latitude 21° 01' 29" S, longitude 51° 23' 52" O e altitude 338 m. No período entre 02/08/2020 e 01/08/2021 a área foi cultivada com cana-de-açúcar variedade RB 985476, terceira safra e a irrigação foi realizada de forma plena através de um sistema pivô central totalizando 84 hectares.

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas gratuitamente do banco de imagens do *United States Geological Survey*, tendo como critério imagens da região totalmente livres de nuvens ao longo da safra. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 (31/08/2020, 25/09/2020, 02/10/2020, 21/12/2020, 07/02/2021, 23/02/2021, 05/04/2021,

28/04/2021, 15/06/2021 e 26/07/2021) e Sentinel 2 (23/11/2020, 17/05/2021 e 06/07/2021).

As variáveis agrometeorológicas diárias utilizadas para a aplicação do algoritmo SAFER foram obtidas nas estações que compõem a Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista e divulgadas no Canal CLIMA da UNESP (UNESP, 2021), incluindo a ETo calculada pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e para a modelagem dos componentes obtidos por sensoriamento remoto, foi aplicada a metodologia descrita por Teixeira (2010) e Teixeira et al. (2013) e os parâmetros obtidos foram utilizados na Equação 1 para o cálculo da relação ETa/ETo pelo SAFER, que se baseia na modelagem da razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência.

$$ETa/ETo = \exp [a + b (T0 / (\alpha_0 \times NDVI))] \quad (1)$$

Em que,

T<sub>0</sub> = Temperatura de superfície (K);

α<sub>0</sub> = Albedo;

NDVI = Índice de vegetação de diferença normalizada;

Coefficiente "a" = Ajustado como 1,0 para o Noroeste Paulista (HERNANDEZ et al., 2014); e

Coefficiente "b" = Ajustado para -0,008 (TEIXEIRA, 2010).

A evapotranspiração atual (mm dia<sup>-1</sup>) foi obtida por meio da multiplicação dos valores instantâneos da relação ETa/ETo, pelos valores diários de ETo, conforme a Equação 2:

$$ETa = ETo \times (ETa/ETo) \quad (2)$$

Em que,

ETo = Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>).

Os graus-dia acumulados foram calculados com temperatura basal de 10°C e juntamente do *Enhanced Vegetation Index* (EVI) - Índice de Vegetação Aprimorado - ao longo do ciclo do cultivo da cana-de-açúcar, tiveram seus dados provenientes da plataforma de manejo de irrigação do pivô central "*FieldNET Advisor by Lindsay*"

#### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

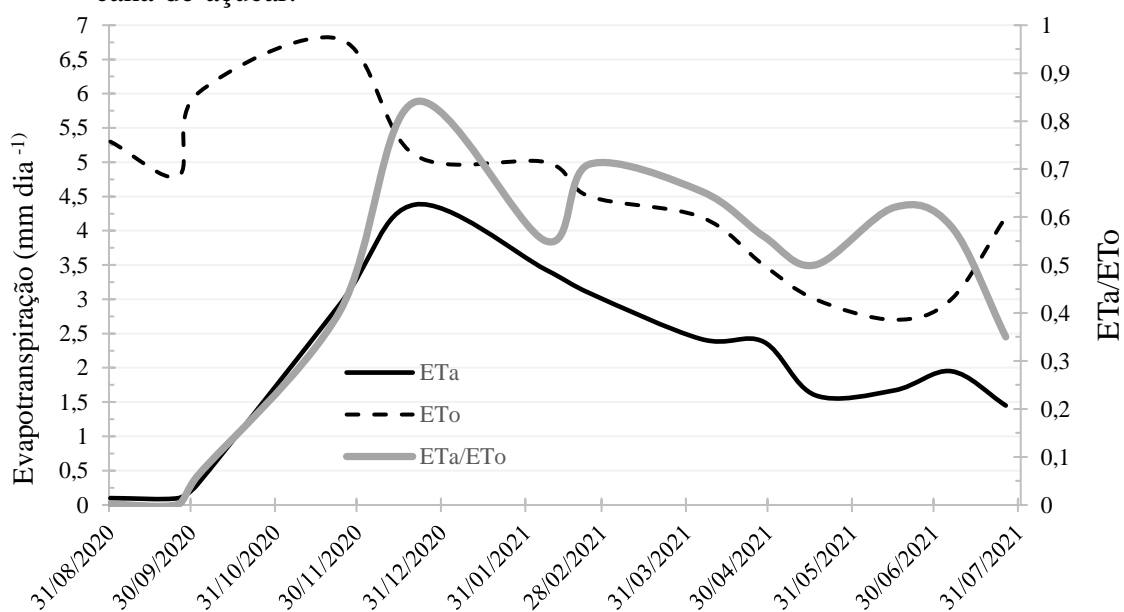
Os resultados da estimativa da evapotranspiração atual da cana-de-açúcar, da relação ETa/ETo utilizando o algoritmo SAFER e da evapotranspiração de referência estão apresentados na Figura 1. Nota-se que os menores valores de ETa se dão no início da safra, por ser o período de menor demanda hídrica da cultura e ainda contar com espessa camada de palha sobre o solo, enquanto que os maiores valores são observados no meio do ciclo produtivo,

sendo o maior valor de  $ETa$  de  $4,4 \text{ mm dia}^{-1}$  em 21/12/2020, como resposta à demanda da fase chamada de grande crescimento da cultura e a um maior volume de água no solo, pelo adequado suprimento de água pela irrigação e alto índice pluviométrico neste mês de dezembro (327 mm).

Esses dados corroboram com Mussi et al. (2020), que encontraram essa mesma tendência de variação no estágio de desenvolvimento da cultura e evapotranspiração ao trabalhar com o SAFER na determinação da  $ETa$  em cana-de-açúcar. Visto que, em situação oposta, com valores baixos de  $ETa$ , podem indicar uma baixa no armazenamento de água no

solo ou fase inicial ou final da cultura (OLIVEIRA et al., 2019a). Para fins de manejo da irrigação e estimativa da  $ETc$  foi considerado o período de grande crescimento com um ciclo de 90 dias a partir de 15 de janeiro de 2021, portanto, os dados obtidos mostram uma antecipação do ciclo da cultura e permite ajustes no coeficiente de cultura para a safra 2021/22. Nos últimos 15 dias de dezembro de 2021 foi estimada a  $ETc$  (ALLEN et al, 1998) média em  $3,2 \text{ mm dia}^{-1}$ , então classificado como período de perfilhamento, enquanto que o ciclo de grande crescimento teve  $ETc$  média estimada em  $5,1 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 1.** Evapotranspiração atual,  $ETa/ETo$  e evapotranspiração de referência no cultivo da cana-de-açúcar.



No início do ciclo, logo após o corte, nota-se que a  $ETa$  se manteve bem próxima de zero, possivelmente pelo fato da palhada do corte anterior ainda estar sobre a área, cobrindo o solo e evitando o processo de evaporação da água. À medida em que a soqueira foi rebrotando e se estabelecendo na área, os valores de  $ETa$  foram subindo, até atingir o máximo e depois voltaram a cair. Como o SAFER obtém a  $ETa$  pela multiplicação da relação  $ETa/ETo$  pela  $ETo$ , observa-se a mesma tendência entre as

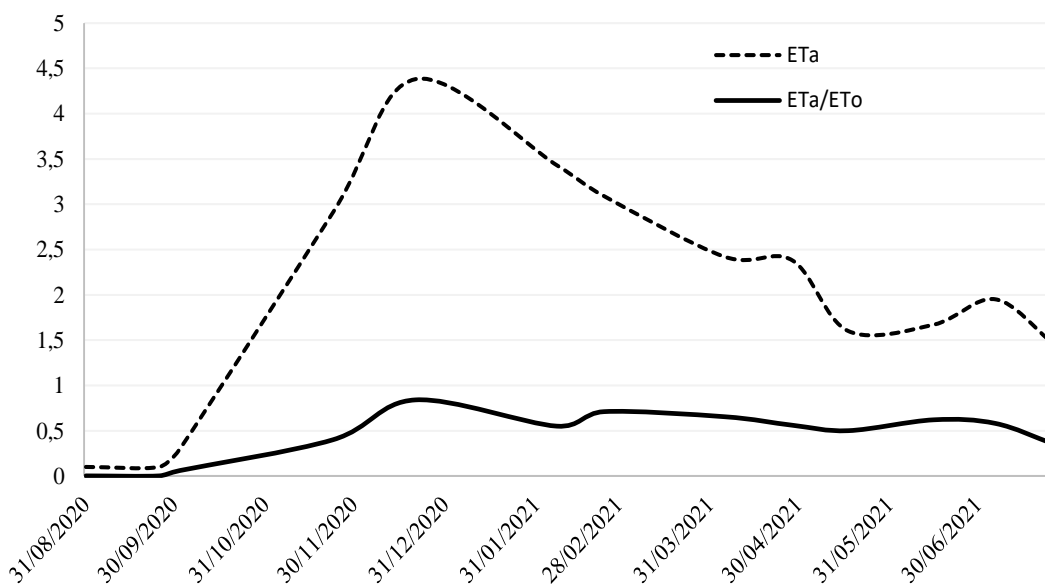
linhas nas fases em que a cultura está bem estabelecida e com demanda evapotranspirativa maior, se distanciando no início e final do ciclo, pela baixa demanda. A elevação dos valores de  $ETa/ETo$  ao final do ciclo pode ser creditada à chuva de 30 mm ocorrida em 11 de junho de 2021 que permitiu condições retorno à condição vegetativa da cultura, fato que a irrigação estava cortada desde 6 de junho, iniciando o processo de *dry-off*, retomado após as chuvas.

Os maiores valores de  $E_{To}$  foram observados nos meses de setembro a novembro, corroborando com os dados de Silva Júnior et al. (2018), que classifica os meses de setembro e outubro entre os três mais críticos para a agricultura irrigada na região Noroeste Paulista. Santos, Hernandez e Rossetti (2010) descrevem o Noroeste Paulista com oito meses de deficiência hídrica anual no solo, em consequência disso, os produtores da região tem investido cada vez mais em sistemas de irrigação para garantir a produtividade das culturas, uma vez que a área irrigada por pivô central no Noroeste Paulista vem crescendo cerca de 611 hectares por ano (OLIVEIRA; HERNANDEZ, 2019).

A distribuição da relação  $E_{Ta}/E_{To}$  ao longo das imagens analisadas é

apresentada na Figura 2 e na Figura 3 são apresentados os dados de  $E_{Ta}/E_{To}$  e  $EVI$  em relação aos graus-dia acumulados para o cultivo da cana-de-açúcar. O maior valor da relação  $E_{Ta}/E_{To}$  foi de 0,84, próximo ao encontrado por Mussi et al. (2020), que foi de 1,02 em cana-de-açúcar irrigada por pivô central no estado de Goiás e, similar na evolução do ciclo encontrada por Avilez et al. (2020) no Noroeste Paulista. Esses valores são considerados baixos em comparação ao  $K_c$  de Allen et al. (1998) e o mesmo também foi observado por Avilez (2018b) e Oliveira et al. (2019), ao determinar a relação  $E_{Ta}/E_{To}$  através do SAFER na cana-de-açúcar em áreas do Noroeste Paulista.

**Figura 2.** Relação  $E_{Ta}/E_{To}$  e a  $E_{Ta}$  ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) no cultivo da cana-de-açúcar.



Por estes dados se percebe uma antecipação das demandas máximas projetadas no plano de manejo que devem ser consideradas nas safras subsequentes, ou seja, ao invés da fase de grande crescimento se iniciar aos 158 dias após a colheita, é razoável sugerir que de fato estaria começando aos 130 dias após o corte, contudo, não foi possível identificar

com segurança, a extensão deste ciclo vegetativo.

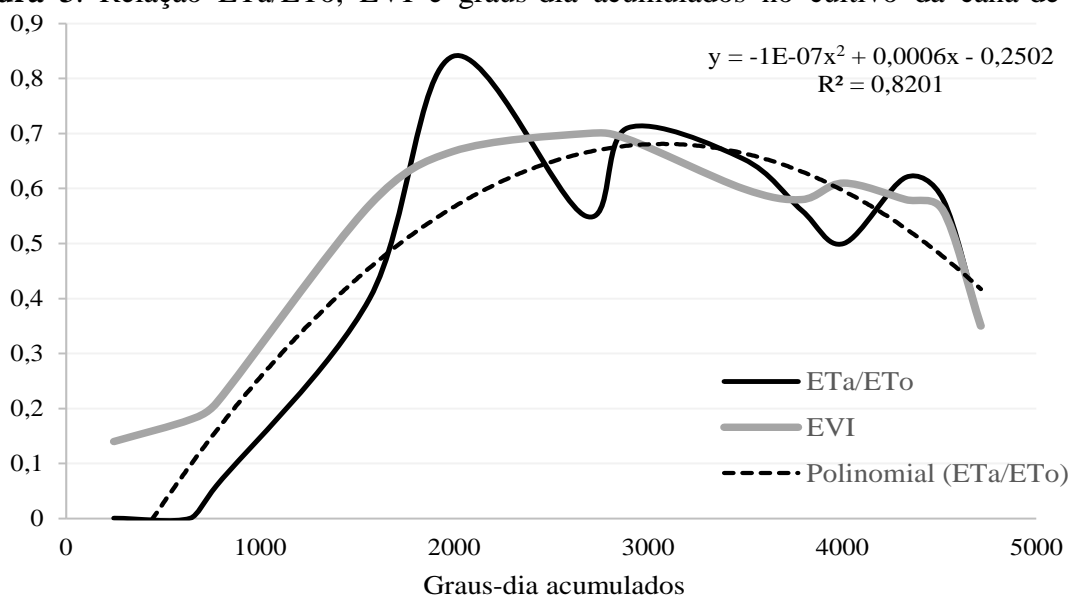
Além das condições edafoclimáticas e sanitárias de campo serem diferentes de ótimas e puderem interferir nos seus resultados, Avilez et al. (2020) sugerem uma calibração dos coeficientes (Equação 1) do algoritmo SAFER para obtenção de melhores resultados, visto que estes coeficientes sofrem alteração de acordo

com a região, como no Nordeste brasileiro em que são utilizados os do artigo original de Teixeira (2010).

Na Figura 3 se evidencia um adequado ajuste entre os graus-dia acumulados e a relação  $ETa/ETo$  corroborados pelo EVI, que seria um bom indicador de atividade fotossintética, importante porque trazendo para o eixo das abscissas um parâmetro climático, o

empirismo utilizado na determinação das fases fenológicas por dias após o corte é minimizado. Neste trabalho, 2000 graus-dia acumulados representam o início da fase de maior coeficiente de cultura - fase de grande crescimento – começando então aos 135 dias após o corte, levando à conclusão de que de fato, houve uma antecipação das fases fenológicas em relação ao plano de manejo da irrigação previsto.

**Figura 3.** Relação  $ETa/ETo$ , EVI e graus-dia acumulados no cultivo da cana-de-açúcar.



De acordo com Bispo, Hernandez e Teixeira (2017) ao realizar estudo sobre a estimativa do consumo relativo de água da cana-de-açúcar, essa cultura apresenta maior risco de perda de produtividade se houver deficiência hídrica nas fases de perfilhamento e crescimento dos colmos. Na área de estudo, foi constatado que na fase de grande crescimento, que teve duração de 90 dias (15/01/2021 a 14/04/2021), houve 24 dias em que o solo desceu a reserva de água, entrando em déficit hídrico, o que pode ter resultado também na diminuição da relação  $ETa/ETo$  nesse período.

Os dados de EVI variam de 0 a 1 e são utilizados para observar o vigor da vegetação ao longo do ciclo produtivo, pois minimiza os efeitos de resposta do solo e

atmosfera e, apresenta alto retorno às variações das fases fenológicas e cobertura verde (JUSTICE et al., 1998). Pode ser observado na Figura 3 que os valores de EVI vão de 0,14 no início do ciclo, tendo pico na fase de grande crescimento da cultura, chegando até 0,7 (período de maior vegetação), finalizando o ciclo produtivo com 0,35.

Um dos grandes, senão um dos maiores desafios da agropecuária irrigada é o estabelecimento e aplicação de coeficientes que expressam o real consumo de água das culturas, portanto, a correta estimativa da evapotranspiração das culturas depende de adequadas estimativas da evapotranspiração de referência, representada pelos investimentos em estações agrometeorológicas devidamente

instaladas em locais representativos e a escolha representativa de coeficientes de cultura, que juntos com balanço hídrico diário e o cálculo do armazenamento de água no solo, devem subsidiar a decisão de qual lâmina de irrigação praticar, para que a planta não sofra estresse hídrico e comprometa o seu potencial produtivo. Este correto monitoramento, quando combinado com a previsão do tempo, permite o melhor aproveitamento da água das chuvas e com isso, o menor uso dos sistemas de irrigação, minimizando custos e aumentando a produtividade da água, com ganhos econômicos e ambientais, daí a importância da análise do comportamento das plantas, como o realizado neste trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

Os valores de evapotranspiração atual e da relação  $ET_a/ET_o$  no ciclo da

cana-de-açúcar estimados pelo algoritmo SAFER, se mostraram similares em valores aos de trabalhos realizados na região e com coerência com as fases fenológicas encontradas na literatura, contudo são de valores inferiores aos indicados para manejo na literatura clássica de referência, mas permitem subsidiar ajustes nos planos de manejo da irrigação subsequentes, seja em base nos dias após ao corte, ou pelos graus-dia acumulados.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor e à FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 2009/52467-4) que permitiu a instalação da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AVILEZ, A. M. A. **Determinação do coeficiente de cultura “Kc” na cultura da cana de açúcar com imagens Landsat utilizando o modelo SAFER no Noroeste Paulista**. 2018. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018b.
- AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **Irriga**, Botucatu, v.1, p.171-188, 2018a. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>.
- AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; GALVÃO, I. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Determinação dos coeficientes de cultivo e a evapotranspiração real da cana-de-açúcar com o uso do modelo SAFER. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026831, 2020.
- BISPO, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região noroeste paulista. **Irriga**, Botucatu, p. 94-101, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p94-101>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Safra de cana-de-açúcar no país aponta produção menor para o ciclo 2021/22**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3998-safra-de-cana-de-acucar-no-pais-aponta-producao-menor-para-o-ciclo-2021-22>. Acesso em: 24 out. 2021.

HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H. C.; TAGHVAEIAN, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the Northwest of Sao Paulo State, Brazil. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v.1038, p.263-270, 2014.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; ZHENGMING, W.; HUETE, A. R.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

MUSSI, R. F.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Evapotranspiração da cana-de-açúcar estimada pelo algoritmo SAFER. **Irriga**, Botucatu, v.25, n.2, p.263-278, abril-junho, 2020. DOI:<https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p263-278>.

OLIVEIRA, D. A.; HERNANDEZ, F. B. T. Evolução da área irrigada por pivô central no Noroeste Paulista. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5, 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2019.

OLIVEIRA, D. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C. Aplicação do algoritmo SAFER para determinação da evapotranspiração em canaviais irrigados por diferentes sistemas. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p.1-7, outubro, 2019. DOI:<https://doi.org/10.15809/irriga.2019v1n1p1-7>.

SALES, D. L. A.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; SOUZA, J. M. F. Estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial utilizando o algoritmo SAFER. **Irriga**, Botucatu, v.22, n.3, p.629-640, julho-setembro, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p629-640>.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2010.

SILVA JUNIOR, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, I. P. F.; REIS, L. S.; TEIXEIRA, A. H. C. Estabelecimento dos meses críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 12, n. 2, p. 122-131, 2018.



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**, New York, v.2, n.5, p.1287-1319, 2010.  
DOI:10.3390/rs0251287.

TEIXEIRA, A. H. 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**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. 32 p. (Documentos, 99).

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of land use changes in the semi-arid region of Brazil. **Proceedings** [...]. SPIE - International Society for Optical Engineering, v.8531, p.85310P-1-85310P-9, 2012.

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Canal Clima UNESP Ilha Solteira**. Ilha Solteira - SP, 2021. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br>. Acesso em: 19 out. 2021.